

The background of the cover is a collage of several photographs. Top left: A man in a dark shirt and light trousers is working with a piece of equipment. Top center: A long, straight concrete road or canal stretches into the distance. Top right: A bridge structure over a body of water. Middle left: A worker in a red shirt and white hard hat is operating a machine. Middle center: A large construction site with scaffolding and workers. Middle right: A worker in a light blue shirt and white trousers is working on a large, flat concrete surface. Bottom left: Two large, cylindrical concrete test specimens. Bottom center: An aerial view of a construction site near a body of water. Bottom right: A close-up of a concrete structure with vertical reinforcement bars.

INSPEÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO

FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO
BENTO CARLOS SGARBOZA

INSPEÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO

*Do curso anual Andriolo
com um ano de Bento
11/11/53.*

Francisco Rodrigues Andriolo
Bento Carlos Sgarboza



© COPYRIGHT Francisco Rodrigues Andriolo

Todos os direitos de reprodução ou tradução reservados a Francisco Rodrigues Andriolo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Andriolo, Francisco Rodrigues, 1945 —
Inspeção e controle de qualidade do concreto /
Francisco Rodrigues Andriolo e Bento Carlos Sgarboza.
— São Paulo: NEWSWORK, 1993.

1. Concreto 2. Concreto — Controle de qualidade —
Testes 3. Resistência dos materiais I. Sgarboza,
Bento Carlos, 1943 — II. Título.

93-2679

CDD-620.136

Índices para catálogo sistemático:

1. Concreto : Materiais Engenharia 620.136

Edição e Produção: NEWSWORK
Rua Venâncio Ayres, 931
05024-030 São Paulo - SP
Fone: (011) 263.6433

Impressão: Edições Loyola

As Figuras, Fotos, Tabelas, Gráficos, e dados citados nesta edição, fazem parte do acervo técnico dos autores.

AGRADECIMENTOS

Os autores, através destas anotações, procuram transmitir parte da experiência desenvolvida ao longo de um farto período de construção de obras no país, do qual participaram.

O Tema - CONTROLE DE QUALIDADE - é atual e necessário, sendo abordado com característica própria, com a intenção de fazer que o CONTROLE DE QUALIDADE seja uma ação para minimizar erros e melhorar a qualidade, segurança e resultados, e não para punir pelos erros;

A realização desta empreitada não seria possível sem a inestimável colaboração da **COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E OBRAS - CBPO**, para a publicação destas anotações, a quem os autores manifestam sua profunda gratidão.

Agradecemos as colaborações dos profissionais: Sérgio Gehre, José Renato Arantes de Andrade, Paulo Arantes de Carvalho, Maria Eliza Cazol Rodrigues, Madeleine Colussi, Eduardo Aceto, Glauco Bruni Andriolo;

Agradecemos, em particular, às esposas Fátima Holanda de Souza Sgarboza e Sandra Favoretto Andriolo, bem como aos nossos filhos, pelo apoio e incentivo para concluirmos este livro.

HOMENAGEM

Nossa sincera e profunda homenagem ao PROF. ROY W. CARLSÖN, falecido em Novembro de 1990.



Prof. Roy Carlson em reuniões e encontros com brasileiros

Nossos agradecimentos pelas orientações, ensinamentos, conquistas e independência tecnológica na área do CONCRETO.

Nossos agradecimentos, também e principalmente, pela amizade e convívio durante aproximadamente vinte anos.

A seguir as palavras do Gal. Costa Cavalcanti (Presidente da Eletrobrás) durante as solenidades de outorga da "ORDEM NACIONAL DO CRUZEIRO DO SUL" ao Prof. Roy Carlson - XV Seminário Nacional de Grandes Barragens - Rio de Janeiro - Novembro de 1983 [0.1]:

"Meu prezado Prof. Roy Washington Carlson, vou falar em português, mas minhas palavras estão traduzidas para o inglês e o senhor pode acompanhá-las. Não poderia deixar, antes de proceder à entrega desta Comenda, de dizer algumas palavras sobre o Prof. Roy Carlson, conhecido de todos, mas talvez não no grau que se torna necessário. Hoje, ao se iniciarem os trabalhos desse Seminário Nacional de Grandes Barragens, reunindo a comunidade técnica brasileira, interessada no campo da engenharia de barragens, temos a feliz oportunidade de prestar uma justa homenagem ao eminente professor Roy Washington Carlson, da Universidade da Califórnia-Berkeley, Estados Unidos da América, inestimável colaborador técnico do Brasil e cuja presença entre nós tem contribuído de forma decisiva para o desenvolvimento da tecnologia

do concreto, aplicado em nossas grandes obras hidrelétricas, nos últimos vinte anos. O Prof. Carlson tem se dedicado aos estudos da tecnologia do concreto desde 1925, quando iniciou trabalho de inspeção e ensaios do concreto para a barragem de Florence Lake, na Southern California Edison Company. No período de 1926/1927, realizou estudos para a medição do comportamento do concreto massa, tendo projetado o extensômetro, instrumento que trouxe grande desenvolvimento aos estudos sobre o comportamento das estruturas de concreto das barragens.

Em 1931, o Prof. Carlson foi para a Universidade da Califórnia, em Berkeley, como engenheiro de pesquisas, tendo desenvolvido o calorímetro de condução, amplamente utilizado na determinação do calor de hidratação do cimento. Em 1933 recebeu o título de Grão Mestre de Ciências. Em 1934 foi contratado como professor associado pelo Massachusetts Institute of Technology, o célebre M.I.T., onde ficou num laboratório de concreto, lecionando cursos de tecnologia de concreto e mecânica de materiais. No ano seguinte, retornou à Universidade da Califórnia como Professor Associado. Em 1936 voltou novamente ao M.I.T., onde recebeu o Grau de Doutor na especialidade de Materiais. Em 1943 transferiu-se novamente para a Universidade da Califórnia, onde trabalhou como engenheiro no Projeto Manhattan, primeiramente no Laboratório de radiação em Berkeley e posteriormente em Los Alamos, Estado do Novo México, até o ano de 1945.

Desde 1945 o Prof. Carlson trabalha independentemente no desenvolvimento e fabricação de instrumentos e como Consultor em Engenharia Civil, na área de construção de concreto, inclusive ele faz parte dos panelistas consultores de Itaipu.

Membro permanente do Conselho de Consultores da Southern California Edison Company, responsável pela segurança de 37 barragens, o Dr. Carlson tem participado de muitos outros Conselhos de Consultores e tem atuado ativamente em comitês de várias sociedades técnicas, tendo contribuído com mais de 60 trabalhos na literatura de concreto e instrumentação de barragens.

Os trabalhos do Prof. Carlson foram pioneiros em muitos campos da tecnologia do concreto massa, disciplina que foi praticamente criada em torno de sua obra.

A colaboração técnica do Prof. Carlson no Brasil iniciou-se em 1965 e desde então, tem se relacionado a estudos de tecnologia do concreto.

Inúmeras empresas e projetistas do Brasil têm contado com os seus valiosos ensinamentos, resultando em apreciáveis melhorias técnicas, aumento de segurança e sensível economia nas grandes obras de concreto, tais como Jupia, Ilha Solteira, Marimbondo, Salto, Osório, São Simão, Água Vermelha, Itumbiara, Salto Santiago, Itaipu, Tucuruí, e outras obras em andamento no presente momento.

Não obstante à enorme colaboração prestada, a atuação do Prof. Carlson no Brasil transcende em muito os limites da consultoria técnica - isso é que eu gostaria de chamar a atenção - na medida em que não se restringe apenas a resolver eventuais problemas, ou fornecer diretrizes e orientar procedimentos. Na verdade, a dedicação com que tem procurado transmitir seus conhecimentos técnicos e o seu empenho em promover o mais amplo intercâmbio com instituições estrangeiras e técnicos capacitados do exterior, contribui de forma extremamente valiosa na formação de uma geração de engenheiros brasileiros atuantes em obras de concreto, resultando de todo esse seu trabalho a atualização na elevação do nível de conhecimento tecnológico de nossos profissionais e, em decorrência, o reconhecimento internacional do alto grau de desenvolvimento da tecnologia de concreto no Brasil.

Recentemente - isso é importante - o Prof. Carlson cedeu gratuitamente os direitos autorais de suas publicações, permitindo desse modo que o Brasil traduza e publique pioneiramente no mundo o conjunto de todos os seus trabalhos sobre tecnologia de concreto.

Por tudo que vem realizando em prol do progresso da Engenharia Brasileira e, do nosso país, o Prof. Roy Washington Carlson é por nós homenageado, nesta data, com o recebimento

da Ordem Nacional do Cruzeiro do Sul no Grau de Comendador, que tenho a honra de entregar nesta solenidade. E aos nossos maiores desejos de reconhecimento e gratidão, meu prezado Prof. Carlson, une-se a certeza de que o seu trabalho no Brasil permanecerá como um marco na tecnologia do concreto massa das grandes barragens brasileiras.

Eu pediria ao Prof. Carlson que viesse até aqui. Vou passar à leitura do diploma.

- O PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, GRÃO MESTRE DA ORDEM NACIONAL DO CRUZEIRO DO SUL, HOVE POR BEM OUTORGAR A S. EXCIA. O SR. ROY WASHINGTON CARLSON, DE NACIONALIDADE NORTE-AMERICANA, O GRAU DE COMENDADOR DA MESMA ORDEM, POR DECRETO DE 08 DE AGOSTO DE 1983. E PARA CONSTAR MANDOU EXPEDIR-LHE O PRESENTE DIPLOMA, QUE VAI POR MIM ASSINADO E SELADO COM O SELO DA ORDEM. BRASILIA, 09 DE AGOSTO DE 1983. 162 DA INDEPENDÊNCIA, E 95 DA REPÚBLICA. RAMIRO SARAIVA GUERREIRO, MINISTRO DAS RELAÇÕES EXTERIORES, CHANCELER DA ORDEM."

Citamos, também, as palavras de agradecimentos do Prof. Carlson durante o evento:

"I feel like I did when I was in the fourth grade in a spelling contest, and I competing against a 9 years old girl and I was overmet then as I am today.

First let me pay tribute to the concrete technologists of Brazil. I think they are the best in the world. Of course I haven't been to all countries in the world but, in the several countries where I have been the Brazilian concrete technologists come out on top.

Due to my advanced age I think you won't mind if I read a few paragraphs here.

In cases like just now when I don't know what to say I sometimes think of CHRIST and try to guess what HE would say.

Here I am receiving an award I do not deserve and feeling a twinge of conscience. CHRIST might say, accept the award humbly and try from now on to live up to it. That will be tough for me as I approach within 17 years, of being 100 years old I reminisce a lot. I think of great men I have known. One of such man is Karl Terzagui, often called the Father of Soil Mechanics. Before Terzagui there was no science of soil mechanics in the U.S.A. It seemed to me that Terzagui knew all there was to know about soil mechanics. Strange as it may be, until his young wife Ruth became an expert in concrete, Terzagui gave concrete a low...

One day at lunch in the Harvard Berkeley Club, Terzagui said: - Roy how much more permeable is concrete than clay? I had to tell him that good concrete was less permeable than clay even fine clay. This was B.R. before Ruth...-

There is much more I would like to say but a small voice in me says - sit down, you dope -, so I obey and thank you very much."

ÍNDICE

Agradecimentos - pg. 3

Homenagem - pg. 5

1 - Apresentação - pg. 19

2 - Finalidade do Controle - pg. 21

2.1-Objetivo do Controle

2.2-O Que é Controle

2.3-Organização

3 - O Fiscal - pg. 24

3.1-Importância do Fiscal

3.2-Qualificação

3.3-Responsabilidade

3.4-Autoridade

3.5-Relação com o Construtor

3.6-Fontes de Referência e Informações

3.7-Medições e Tolerâncias

3.8-Segurança

3.9-Relatórios

4 - Laboratório - pg. 28

4.1 - Instalações de Laboratórios para Obras do Grupo A

4.1.1 - Agregados

4.1.2 - Aços e Emendas

4.1.3 - Aditivos

4.1.4 - Água

4.1.5 - Cimento

4.1.6 - Material Pozolânico

4.1.7 - Elastômeros

4.1.8 - Concreto

4.2 - Instalações de Laboratório para Obras do Grupo B

4.3 - Instalações de Laboratório para Obras do Grupo C

4.4 - Instalações de Laboratório para Obras do Grupo D

4.5 - Equipamentos Necessários

5 - Fundamentos e Propriedades do Concreto - pg. 70

5.1 - Conceitos Básicos sobre o Concreto

5.1.1 - Composição do Concreto

5.1.2 - Influência da Pasta e do Agregado

5.1.3 - Proporções dos Componentes do Concreto

5.1.4 - Influência da Qualidade da Pasta nas Propriedades do Concreto

- 5.1.5 - Fabricação do Concreto
- 5.2 - Conceitos Básicos dos Materiais
 - 5.2.1 - Cimento Portland
 - 5.2.2 - Agregados
 - 5.2.2.1 - Conceitos Básicos
 - 5.2.2.2 - Características Gerais
 - 5.2.3 - Água
 - 5.2.3.1 - Água de Mistura
 - 5.2.3.2 - Água para Lavagem de Agregados
 - 5.2.3.3 - Água para Cura do Concreto
 - 5.2.4 - Aditivos
 - 5.2.4.1 - Aditivos Redutores de Água e Retardadores de Pega
 - 5.2.4.2 - Aditivos Incorporadores de Ar
 - 5.2.4.3 - Outros Aditivos
 - 5.2.5 - Material Pozolânico

5.3 - Propriedades Básicas

- 5.3.1 - Concreto Fresco
 - 5.3.1.1 - Conceito de Trabalhabilidade
 - 5.3.1.2 - Consistência
 - 5.3.1.3 - Exsudação
 - 5.3.1.4 - Retração Plástica e Acomodação
 - 5.3.1.5 - Endurecimento e Pega
 - 5.3.1.6 - Ar Incorporado
- 5.3.2 - Concreto Endurecido
 - 5.3.2.1 - Resistência à Compressão
 - 5.3.2.2 - Resistência à Tração
 - 5.3.2.3 - Módulo de (Elasticidade) Deformação
 - 5.3.2.4 - Coeficiente de Poisson
 - 5.3.2.5 - Fluência
 - 5.3.2.6 - Variações de Volume e Retração por Secagem
 - 5.3.2.7 - Massa Específica do Concreto Endurecido
 - 5.3.2.8 - Propriedades Térmicas
 - 5.3.2.9 - Permeabilidade e Absorção do Concreto
 - 5.3.2.10 - Durabilidade

6 - Especificação Técnica (Recomendada) - pg. 131

- 6.1 - Objeto dos Serviços
- 6.2 - Publicações e Normas Aplicáveis
- 6.3 - Definições e Termos Técnicos
- 6.4 - Composição

- 6.5 - Cimento
 - 6.5.1 - Características Gerais
 - 6.5.2 - Temperatura do Cimento
 - 6.5.3 - Transporte
 - 6.5.4 - Armazenamento
- 6.6 - Material Pozolânico
 - 6.6.1 - Características Gerais
 - 6.6.2 - Transporte
 - 6.6.3 - Armazenamento
- 6.7 - Aditivos
 - 6.7.1 - Generalidades
 - 6.7.2 - Características
 - 6.7.3 - Armazenamento
- 6.8 - Água
 - 6.8.1 - Água para Mistura
 - 6.8.2 - Água de Beneficiamento de Agregados
 - 6.8.3 - Água para a Cura do Concreto
- 6.9 - Agregados
 - 6.9.1 - Origem e Beneficiamento dos Agregados
 - 6.9.2 - Agregado Miúdo
 - 6.9.2.1 - Generalidades
 - 6.9.2.2 - Características
 - 6.9.2.3 - Transporte
 - 6.9.2.4 - Armazenamento
 - 6.9.3 - Agregado Graúdo
 - 6.9.3.1 - Generalidades
 - 6.9.3.2 - Características
 - 6.9.3.3 - Transporte
 - 6.9.3.4 - Armazenamento
- 6.10 - Dosagem do Concreto
 - 6.10.1 - Generalidades
 - 6.10.2 - Classes e Propriedades dos Concretos
 - 6.10.3 - Dosagem do Concreto
- 6.11 - Mistura do Concreto
- 6.12 - Preparo para Colocação do Concreto
 - 6.12.1 - Plano de Concretagem
 - 6.12.2 - Preparo de Fundações em Terra
 - 6.12.3 - Preparo de Fundações em Rocha
 - 6.12.4 - Preparo de Juntas de Construção

- 6.12.5 - Preparo das Juntas de Dilatação e de Contração
- 6.12.6 - Preparo de Fôrmas
- 6.12.7 - Preparo da Armadura
- 6.12.8 - Preparo dos Embutidos
- 6.13 - Transporte do Concreto
- 6.14 - Lançamento do Concreto
 - 6.14.1 - Generalidades
 - 6.14.2 - Equipamentos de Lançamento
 - 6.14.3 - Camadas de Concretagem
 - 6.14.4 - Intervalo de Lançamento entre Camadas
 - 6.14.5 - Temperatura de Lançamento do Concreto
- 6.15 - Adensamento do Concreto
- 6.16 - Proteção e Cura do Concreto
- 6.17 - Fôrmas e Escoramentos
 - 6.17.1 - Generalidades
 - 6.17.2 - Irregularidades e Classificação das Fôrmas
 - 6.17.2.1 - Irregularidades
 - 6.17.2.2 - Classificação
 - 6.17.3 - Escoramentos
 - 6.17.4 - Desforma e Retirada do Escoramento
- 6.18 - Acabamentos e Tolerâncias
 - 6.18.1 - Acabamentos
 - 6.18.2 - Tolerâncias
- 6.19 - Armaduras e Embutidos
 - 6.19.1 - Armaduras
 - 6.19.1.1 - Generalidades
 - 6.19.1.2 - Armazenamento e Beneficiamento
 - 6.19.1.3 - Aplicação
 - 6.19.1.4 - Tolerâncias
 - 6.19.2 - Embutidos
 - 6.19.2.1 - Generalidades
- 6.20 - Reparos
 - 6.20.1 - Generalidades
 - 6.20.2 - Preparo
 - 6.20.3 - Reconstituição
 - 6.20.4 - Cura
- 6.21 - Concretos e Serviços Especiais
- 6.22 - Controle de Qualidade

7 - Estudos e Dosagem do Concreto - pg. 163

7.1 - Investigações dos Materiais e Estudos Preliminares

7.1.1 - Cimento

7.1.2 - Material Pozolânico

7.1.3 - Agregados

7.1.4 - Água

7.2 - Dosagem das Misturas

7.2.1 - Generalidades

7.2.2 - Evolução Histórica

7.2.3 - Conceito

7.2.4 - Método das Tentativas (Do Volume Absoluto)

7.2.4.1 - Definição dos Parâmetros Iniciais

7.2.4.2 - Aglomerantes

7.2.4.3 - Agregados

7.2.4.4 - Aditivos

7.2.4.5 - Combinação do Agregado Graúdo

7.2.4.6 - Adoção da Quantidade de Água

7.2.4.7 - Adoção do Teor de Areia e Volume de Argamassa

7.2.4.8 - Determinação da Mistura Inicial e do Traço Base

7.3 - Propriedades do Concreto

8 - Inspeção e Controle dos Materiais - pg. 190

8.1 - Objetivos

8.2 - Controle do Cimento

8.2.1 - Ensaios de Controle na Fonte de Produção

8.2.2 - Recebimento na Obra

8.2.2.1 - Controle Expedito

8.2.2.2 - Controle de Recepção

8.2.3 - Controle na Aplicação

8.2.4 - Identificação dos Lotes

8.2.5 - Inspeção e Reensaios

8.3 - Controle do Material Pozolânico

8.3.1 - Ensaios de Controle na Fonte de Produção

8.3.2 - Recebimento na Obra

8.3.2.1 - Controle Expedito

8.3.2.2 - Controle de Recepção

8.3.3 - Controle na Aplicação

8.3.4 - Identificação dos Lotes

8.3.5 - Inspeção e Reensaios

8.4 - Controle da Exploração, Beneficiamento e Aplicação dos Agregados

- 8.4.1 - Controle de Exploração
 - 8.4.1.1 - Agregados Britados
 - 8.4.1.2 - Agregados Naturais
- 8.4.2 - Controle do Beneficiamento dos Agregados
 - 8.4.2.1 - Inspeções
 - 8.4.2.2 - Amostragens e Ensaios

8.5 - Controle da Água

8.6 - Controle de Aditivos

- 8.6.1 - Generalidades
- 8.6.2 - Pré-qualificação
- 8.6.3 - Liberação na Fonte
- 8.6.4 - Controle de Recepção na Obra
- 8.6.5 - Controle na Aplicação
- 8.6.6 - Estocagem
- 8.6.7 - Recomendações para Controle

8.7 - Controle da Armadura e Embutidos

8.7.1 - Armadura

- 8.7.1.1 - Controle de Liberação na Fonte
- 8.7.1.2 - Controle de Recepção na Obra
- 8.7.1.3 - Critério de Aceitação e Rejeição
- 8.7.1.4 - Inspeções Complementares

8.7.2 - Controle de Emendas em Barras de Aço

- 8.7.2.1 - Recomendações Executivas
- 8.7.2.2 - Tipos de Emendas
- 8.7.2.3 - Controle do Processo Executivo

8.7.3 - Controle dos Veda Juntas

- 8.7.3.1 - Controle de Liberação na Fonte
- 8.7.3.2 - Controle de Recepção na Obra
- 8.7.3.3 - Controle da Emenda

9 - Inspeção e Ensaio Durante a Produção do Concreto - pg. 276

9.1 - Controle do Concreto Fresco

- 9.1.1 - Condições dos Equipamentos
- 9.1.2 - Condições dos Materiais
- 9.1.3 - Condições do Concreto

9.2 - Controle do Concreto Endurecido

- 9.2.1 - Tipo de Amostra
- 9.2.2 - Local e Procedimento para Coleta das Amostras
- 9.2.3 - Ensaio

- 9.2.4 - Critérios para Estabelecimento do Valor de Tensão de Controle do Concreto
- 9.2.5 - Idades de Controle
- 9.2.6 - Critério para Interpretação e Controle da Resistência à Compressão Obtida nos Ensaios
 - 9.2.6.1 - Fatores Influentes na Determinação da Resistência e Padrões de Qualidade
 - 9.2.6.2 - Processamento dos Resultados e Análises dos Parâmetros Obtidos

- 9.3 - Exemplo de Controle
- 9.4 - Controles Adicionais
- 9.5 - Controle do Sistema de Refrigeração do Concreto

10 - Preparativos para Concretagem - pg. 325

- 10.1 - Requisitos a Serem Verificados Antes do Lançamento
- 10.2 - Superfícies de Fundação
 - 10.2.1 - Generalidades
 - 10.2.2 - Fundações em Solo
 - 10.2.3 - Fundação em Rocha
- 10.3 - Superfícies das Juntas de Construção
 - 10.3.1 - Junta de Construção
 - 10.3.2 - Métodos de Preparo da Superfície
- 10.4 - Embutidos
 - 10.4.1 - Dispositivos de Vedação
 - 10.4.2 - Dispositivos Metálicos
 - 10.4.3 - Drenos
- 10.5 - Fôrmas
 - 10.5.1 - Fôrmas Fixas
 - 10.5.2 - Fôrmas AutoTrepantes
 - 10.5.3 - Fôrmas Deslizantes
 - 10.5.4 - Fôrmas Temporariamente Fixas
 - 10.5.5 - Fôrmas Especiais
- 10.6 - Armaduras

11 - Transporte e Colocação do Concreto - pg. 365

- 11.1 - Generalidades
- 11.2 - Condições a Serem Observadas
 - 11.2.1 - Segregação
 - 11.2.2 - Exsudação
 - 11.2.3 - Consistência
- 11.3 - Transporte do Concreto
 - 11.3.1 - Transporte Horizontal

- 11.3.2 - Transporte Vertical
- 11.3.3 - Transporte Inclinado
- 11.4 - Lançamento e Espalhamento do Concreto
- 11.5 - Identificação
- 12 - Adensamento e Acabamento do Concreto - pg. 386**
 - 12.1 - Adensamento
 - 12.1.1 - Generalidades
 - 12.1.2 - Métodos e Processos para Compactação
 - 12.1.2.1 - Adensamento Manual (Apiloamento)
 - 12.1.2.2 - Adensamento Mecânico
 - 12.1.2.3 - Combinação de Processos
 - 12.1.3 - Equipamentos
 - 12.1.3.1 - Vibradores Internos
 - 12.1.3.2 - Vibradores de Superfície
 - 12.1.3.3 - Vibradores Externos ou de Fôrma
 - 12.1.4 - Aplicações e Controles
 - 12.1.4.1 - Concreto Massa
 - 12.1.4.2 - Concreto Estrutural
 - 12.1.4.3 - Pisos
 - 12.1.4.4 - Pavimentos
 - 12.1.4.5 - Peças Pré-Moldadas
 - 12.1.4.6 - Concretos Leves
 - 12.1.4.7 - Concretos Pesados
 - 12.1.5 - Revibração
 - 12.2 - Acabamento
 - 12.2.1 - Concreto Aparente com Superfície Lisa
 - 12.2.2 - Concreto Aparente com Superfície Apicoada
 - 12.2.3 - Concreto Aparente com Agregados Lavados
 - 12.2.4 - Concreto de Alta Resistência
 - 12.2.5 - Concreto Revestido com Argamassa Sintética
 - 12.2.6 - Concretos com Fibras
- 13 - Cura do Concreto - pg. 432**
 - 13.1 - Generalidades
 - 13.2 - Métodos
 - 13.2.1 - Cura com Água
 - 13.2.2 - Cura com Proteção Superficial
 - 13.2.3 - Cura com Saturação do Ar
 - 13.2.4 - Cura Química
 - 13.2.5 - Cura a Vapor

- 13.3 - Duração da Cura
- 13.4 - Cura de Estruturas

14 - Inspeção e Auscultação das Estruturas de Concreto - pg. 437

- 14.1 - Objetivo
- 14.2 - Planejamento da Instrumentação
- 14.3 - Tipos de Observações
- 14.4 - Grandezas Medidas e Instrumentos Empregados
 - 14.4.1 - Generalidades
 - 14.4.2 - Pressão Hidrostática e de Sedimentos
 - 14.4.3 - Temperatura
 - 14.4.4 - Deslocamentos
 - 14.4.5 - Movimentação de Juntas
 - 14.4.6 - Deformações
 - 14.4.7 - Tensões
- 14.5 - Frequência de Observações
- 14.6 - Tratamento e Interpretação das Observações
- 14.7 - Interpretação (Avaliação)
- 14.8 - Supervisão Automática

15 - Relatórios e Informações - pg. 466

- 15.1 - Objetivos
- 15.2 - Periodicidade e Forma do Relatório
- 15.3 - Conteúdo
- 15.4 - Exemplo
- 15.5 - Listagem dos Requisitos para Controle
- 15.6 - Impressos

16 - Controle Sobre Concretos e Técnicas Especiais - pg. 466

- 16.1 - Pré-moldados em Concreto
- 16.2 - Concretos Expansivos
- 16.3 - Concreto Pesado (Elevada Massa Específica)
- 16.4 - Concreto com Adensamento e Acabamento por Processo a Vácuo
- 16.5 - Concreto Bombeado
- 16.6 - Concreto Fibroso
- 16.7 - Concreto Compactado a Rolo Vibratório-CCR
- 16.8 - Concreto com Agregado Pré-Colocado
- 16.9 - Concreto Projetado
- 16.10 - Concreto Leve
- 16.11 - Cura a Vapor
- 16.12 - Concreto Aparente
 - 16.12.1 - Cobertura das Armaduras

- 
- 16.12.2 - Contraflexas
 - 16.12.3 - Esbeltez das Peças Estruturais
 - 16.12.4 - Densidade da Armadura
 - 16.12.5 - Juntas de Concretagem
 - 16.12.6 - Reaproveitamento de Fôrmas
 - 16.12.7 - Conferência Dimensional das Fôrmas
 - 16.12.8 - Prumo, Nível e Dimensões
 - 16.12.9 - Estanqueidade
 - 16.12.10 - Limpeza
 - 16.12.11 - Escoramento e Rigidez
 - 16.12.12 - Lançamento do Concreto
 - 16.12.13 - Retirada das Fôrmas
 - 16.12.14 - Energia de Adensamento
 - 16.12.15 - Cura do Concreto
 - 16.12.16 - Dosagem dos Concretos
 - 16.12.17 - Controle de Informações

17 - Métodos de Ensaios Padronizados - pg. 508

- 17.1 - Cimentos Portland Comum
- 17.2 - Cimento Portland Pozolânico
- 17.3 - Materiais Pozolânicos
- 17.4 - Agregados
- 17.5 - Água
- 17.6 - Aditivos para Concreto
- 17.7 - Aços
- 17.8 - Dispositivos de Vedação
- 17.9 - Emendas de Barras de Aço
- 17.10 - Concreto

18 - Unidades, Conversões e Glossário - pg. 513

- 18.1 - Unidades e Conversões
 - 18.1.1 - Unidades
 - 18.1.2 - Conversões
- 18.2 - Glossário

19 - Referências Bibliográficas - pg. 568

1 - APRESENTAÇÃO

A intenção deste texto é delinear uma série de noções básicas que podem ser úteis para as atividades de "INSPEÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO".

Essas atividades podem ser exercidas de maneira simples e "despreocupada", ou podem se tornar difíceis, delicadas e envolventes à medida que a pessoa, equipe, preposto ou entidade, deva agir diante dos fatos que se apresentam.

A maneira simples diz respeito apenas à ação de seguir as ESPECIFICAÇÕES ao pé da letra, apontar os erros, punir pelo erro cometido. É apenas o procedimento de fazer cumprir os regulamentos.

Por outro lado, à medida que se busca anteceder aos fatos, procurando não deixar acontecer os erros e as falhas, antevendo e contornando os eventuais problemas, alertando para as dificuldades e fatos adversos, a atividade de FISCALIZAÇÃO torna-se difícil e delicada.

A partir dos anos 60/70, algumas entidades públicas no Brasil, encarregadas de construir obras para infra-estrutura, procuraram organizar e treinar profissionais destinados a FISCALIZAR a construção de obras de sua responsabilidade.

A CESP, encarregada de construir hidroelétricas como as de JUPIÁ, ILHA SOLTEIRA e ÁGUA VERMELHA, entre outras, foi uma das entidades que estabeleceu diretrizes com a finalidade de formar profissionais para a FISCALIZAÇÃO das suas obras.

No contexto específico desenvolvido pela CESP, os procedimentos adotados foram aqueles de FISCALIZAR de tal forma a anteceder aos fatos, não deixando-os acontecer aleatoriamente.

Os autores deste texto tiveram a oportunidade de participar dessas equipes.

Deve ser ressaltado, entretanto, que já faz algum tempo que o Brasil se tornou altamente capacitado para a construção de obras de porte e que houve uma grande evolução técnica e profissional. Dessa maneira, a ORGANIZAÇÃO para o estabelecimento do CONTROLE DE QUALIDADE pode sofrer, e tem sofrido, adaptações ou modificações; isto é, as atribuições e competências podem ser delegadas a entidades ou empresas específicas. Mas o conceito básico é mantido.

Dessa forma, os autores procuram estabelecer uma rotina de informações, dados, recomendações e lembretes, que julgam possa ser útil àqueles que se encarregam da "INSPEÇÃO E CONTROLE DO CONCRETO".

2 - FINALIDADE DO CONTROLE

2.1 Objetivo do Controle

Em qualquer atividade construtiva há necessidade de um efetivo controle de construção para se atingir a qualidade desejada. Nas construções de concreto os objetivos do controle são de garantir que sejam executadas de acordo com o previsto nos projetos e especificações, a um menor custo possível e assegurando qualidade e uniformidade suficientes para garantir um desempenho satisfatório durante toda sua vida útil.

Vários são os fatores que influenciam na qualidade de uma estrutura de concreto, desde a seleção dos materiais até os procedimentos de execução. Deve-se ter atenção principalmente em:

- Controle de fabricação dos materiais manufaturados como cimento, pozolana, aço, aditivos etc;
- Pesquisa, ensaio de pré-qualificação e controle de beneficiamento de materiais naturais como água, agregados;
- Dosagem e mistura dos materiais;
- Transporte, lançamento e consolidação do concreto;
- Condições das fundações ou juntas de construção no momento do lançamento do concreto;
- Quantidade e qualidade dos equipamentos;
- Condições dos embutidos, armação e fôrmas;
- Cura do concreto;
- Capacidade e comportamento da equipe de construção;
- Auscultação das estruturas.

O efetivo controle destes fatores implicará na obtenção de uma estrutura durável.

A experiência tem mostrado que para garantir um bom desempenho das estruturas não são suficientes a adoção de critérios de projetos comprovados e especificações dos melhores materiais, mas também há necessidade de um efetivo controle da construção.

Em obras onde são envolvidos grandes volumes de concreto e a velocidade de lançamento é muito grande (exemplo: Itaipu/15.000 m³/dia [2.1]), o controle assume uma importância decisiva pois permite que sejam detectados desvios na qualidade de forma ágil e evitar correções altamente onerosas.

O objetivo do controle de construção é, portanto, o de detectar possíveis desvios na qualidade dos materiais e procedimentos previstos e possibilitar a correção em tempo suficiente a fim de garantir a qualidade da estrutura a um menor custo possível.

2.2 O que é Controle

O controle é a ação de inspeção e observação dos fatores que influenciam na qualidade da estrutura. Em geral inclui as seguintes atuações:

- Identificação, exame, aceitação e todos ensaios de campo dos materiais;
- Controle de dosagem e betonada; ensaios de consistência, ar incorporado, massa específica do concreto e umidade dos materiais;
- Inspeção da fundação, formas, embutidos, armaduras e outros serviços preliminares para concretagem;
- Contínua inspeção na mistura, transporte, lançamento, vibração, acabamento e cura do concreto;
- Preparo de corpos de prova para ensaios de laboratório;
- Observações gerais a respeito das instalações e equipamentos do construtor, condições de trabalho, tempo, pessoal e outros requisitos;
- Análise estatística dos resultados e ações caso haja desvios detectados.

2.3 Organização

A construção de uma Obra envolve basicamente as equipes de Projeto, de Laboratório, de Fiscalização e o Construtor. Em obras particulares normalmente o proprietário contrata todos os serviços, enquanto que em Obras Públicas são contratados os serviços de projeto e construção, sendo que as equipes de controle são formadas pelo corpo técnico do proprietário. As relações entre as equipes estão indicadas na Figura 2.1.

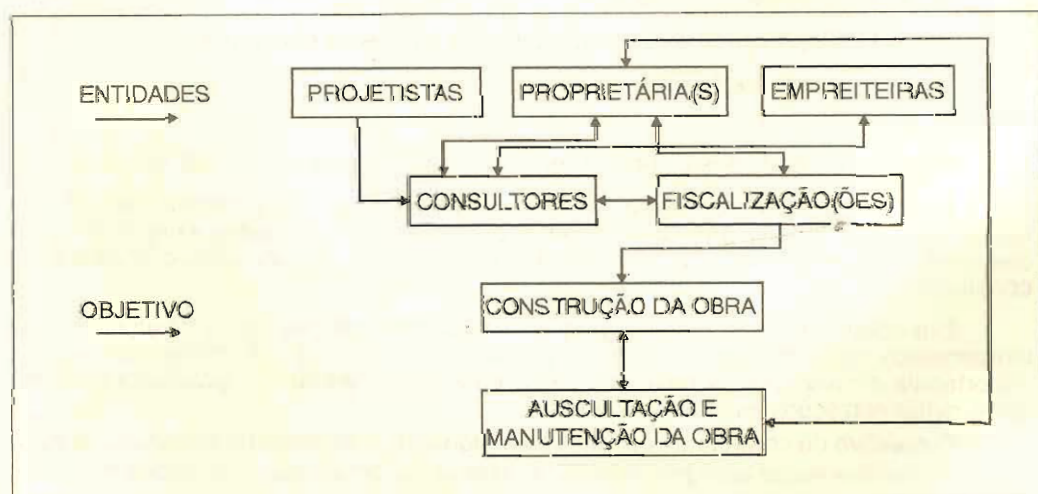


Figura 2.1 - Relações Básicas para Construção

O número de elementos necessários para o controle de uma obra varia em função do volume e responsabilidade da obra. Em pequenas obras um fiscal pode ser suficiente, porém em obras de vulto são necessárias equipes de controle tecnológico como de projeto e comercial, conforme está indicado esquematicamente na Figura 2.2.. Normalmente estas equipes residem nos Canteiros de Obras.

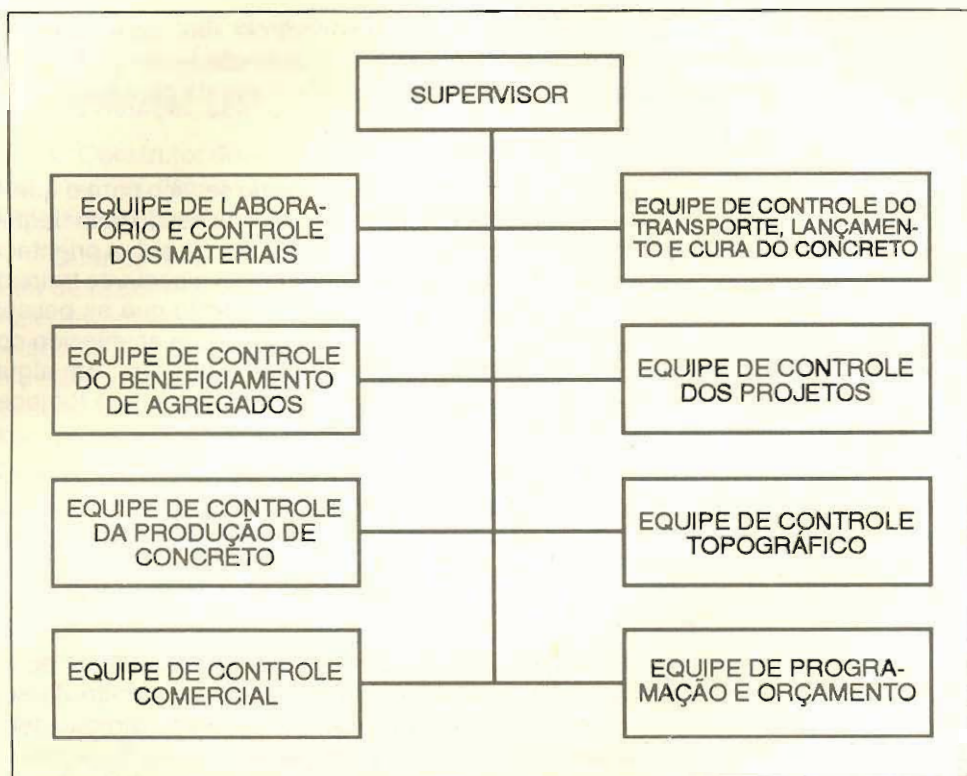


Figura 2.2 - Organização Básica para Controle da Execução

05/02/2000
Agui

3. O FISCAL

3.1 Importância do Fiscal

O fiscal é um dos componentes principais no controle das construções de concreto, pois dele dependerá a certeza de se obter a uniformidade da qualidade da construção em todas suas fases e provavelmente a confiabilidade da construção.

3.2 Qualificação

O fiscal deve ter conhecimento e experiência a respeito do serviço para o qual foi designado. Deve saber como o serviço deve ser feito e porque está sendo feito daquela maneira. Todo fiscal deve ter um período de experiência, trabalhando sob a orientação de um elemento mais experimentado, mesmo que ele tenha sido tecnicamente treinado. O fiscal deve ter de preferência escolaridade em nível técnico sendo que as pessoas com o primeiro grau têm sido utilizadas com sucesso, e o mesmo tem acontecido com pessoas com nível inferior, desde que possuam larga experiência prática. Em alguns países os fiscais de concreto são controlados por institutos normativos que fornecem autorização para desempenhar estas funções.

O fiscal deve ter caráter e personalidade, para que mereça o respeito dos trabalhadores e tenha condições de ser firme porém justo e responsável nas suas atitudes. O fiscal deve ser observador e ter bom senso, a fim de dedicar mais atenção aos problemas de maior importância.

3.3 Responsabilidade

O fiscal é responsável pela verificação de que o serviço é executado de acordo com os planos e especificações, permitindo somente alterações por escrito de seus superiores. Uma negligência de sua parte pode levar a um defeito na construção, tendo como consequência riscos de prejuízo econômico ou de vidas humanas. Ele é responsável pelo conhecimento minucioso da especificação e de aplicá-la corretamente.

3.4 Autoridade

A função do fiscal exige que ele tenha autoridade para tomada de decisões, desta forma deve ter autorização para:

- Proibir o uso de materiais, equipamentos ou mão-de-obra inadequados;
- Impedir início da execução do serviço até que as condições preliminares tenham sido cumpridas;
- Paralisar qualquer serviço que não esteja sendo executado conforme os programas e especificações.

Estas decisões devem ser tomadas diretamente pelo fiscal, reportando imediatamente após ao seu superior. Entretanto, a paralisação deve ser efetuada somente como último recurso, ou seja quando estiver evidente que a continuidade é prejudicial e seu superior não estiver próximo.

O fiscal deve também estar autorizado a requerer a remoção ou o reparo de serviço defeituoso; nesta situação é preferível que obtenha aprovação superior.

Problemas menores não previstos nas especificações exigirão um julgamento e decisão pessoal do fiscal, e assim deve ser resolvido o maior número de problemas. Problemas de ordem geral ou mais complexos não previstos nas especificações devem ser levados a análise superior.

Se o fiscal tiver condições de prever os problemas poderá obter antecipadamente uma orientação de seu superior, evitando assim discussões.

3.5 Relação com o Construtor

O Construtor deve procurar e ter a liberdade de executar o serviço ao custo mais baixo possível, desde que obedeça aos requisitos da especificação. Agindo desta forma o fiscal estará ajudando a reduzir o custo da construção.

Quando solicitada, a Fiscalização deve atender automaticamente, para evitar perda de material e de serviço. Condições que evidentemente levarão a serviço inadequado devem ser antecipadas sempre que possível e comunicada ao Construtor de imediato. A menos que esteja evidente que não será obtido um serviço adequado através do método construtivo adotado pelo Construtor, o fiscal não deve interferir neste processo executivo nem retardar a construção desnecessariamente. Não devem ser feitas imposições ao Construtor que não estejam de acordo com as especificações. Se a especificação permitir a escolha de métodos construtivos, o fiscal não deve impor um particular método arbitrariamente, podendo, se for o caso, sugerir.

O fiscal deve manter relações objetivas, coerentes e prestativas com o Construtor e seus empregados. Entretanto, ele deve evitar familiarização. Ele pode conseguir a cooperação e o respeito dos operários fazendo tratativas justas, reconhecendo e elogiando os serviços bem executados. O fiscal não deve tomar atitudes para mostrar sua autoridade, mas somente sugerir alguma coisa que tenha possibilidade de tirar benefícios para o serviço. Ele deve, particularmente, evitar subestimar a organização do Construtor ou fazer alarde das falhas observadas.

As instruções de serviços devem ser dadas ao engenheiro responsável ou ao encarregado, os quais são normalmente os representantes do Construtor. Entretanto, serviços de rotina e problemas de menor importância, dependendo do grau de acordo com o Construtor, podem ser tratados diretamente com o mestre-de-obra ou trabalhador. As instruções devem ser dadas, preferencialmente, sob a forma de advertência de que um serviço com defeito não será aceito nas condições da especificação. Por exemplo, se for observado que poderá ocorrer defeito na estrutura devido à forma mal alinhada ou não bem fixada, o fiscal deve advertir o Construtor antecipadamente para que sejam tomadas as providências. Mandando o Construtor ou seus empregados como fazer determinada peça da estrutura, o fiscal pode inadvertidamente perder os direitos do Proprietário. Isto deve ser evitado, a menos que o Proprietário concorde que a responsabilidade por aquela parte da construção pode ser por ele assumida. Instruções importantes, que poderão causar controvérsias, devem ser informadas por escrito, preferencialmente.

Quando as especificações não estão sendo seguidas, o fiscal pode manter relações com subconstrutores, neste caso ele deve, imediatamente após, informar os

problemas ao Construtor principal, que é o responsável legal, e requerer as correções das imperfeições.

O fiscal deve estar certo de que seu julgamento está correto e justo antes de emitir as instruções. A decisão deve ser então mantida firmemente. Pontos discordantes devem ser submetidos ao seu superior. Discussões devem ser evitadas.

Sugestões propostas pelo Construtor que fogem do espírito das especificações e apresentam-se como necessárias, o fiscal pode aceitá-las, a título de experiência, deixando claro, entretanto, que o problema será submetido ao superior para decisão final.

Um bom começo é importante; firmeza no início do trabalho tenderá a evitar discussões futuras. Um método é mais facilmente corrigido na primeira vez que ele é aplicado, do que após um determinado tempo de uso.

Um princípio geral da Fiscalização, muitas vezes passado por cima, é que o fiscal não deve revelar hábitos que podem ser premeditados pelo operário. As inspeções dos vários detalhes e operações devem ser feitas a intervalos irregulares. Entretanto, o fiscal não deve se sentir como um detetive nem estar sempre num estado de espírito de constante tentativa de descobrir uma falha. O período de início e fim de expediente são os momentos em que provavelmente ocorra um serviço insatisfatório e precipitado, e desta forma o fiscal deve estar presente neste momento. O fiscal deve estar na obra durante todo o tempo que a construção esteja sendo executada.

Um freqüente e importante ponto de diferença de opinião é com relação à trabalhabilidade do concreto. Muitas vezes o Construtor insiste em comprar ou produzir uma mistura de concreto extremamente úmida, alegando que tal mistura é mais fácil e econômica para o trabalho do que uma mistura seca. Entretanto, isto não é verdade, face aos modernos métodos e equipamentos de manuseio do concreto. Se o fiscal e o representante do Construtor acompanharem a movimentação do concreto desde a betoneira até a fôrma, eles não encontrarão diferenças significativas no custo do manuseio de misturas, sendo uma de 18 cm de trabalhabilidade "slump" e outra para 10 cm de "slump". Na realidade, misturas mais secas terão menor segregação, exudação e demora no acabamento.

3.6 Fontes de Referência e Informações

Para que o fiscal desempenhe adequadamente suas funções ele deve ter à sua disposição as seguintes informações:

- Projeto ou *croquis* com detalhes do projeto;
- Especificações do projeto e materiais;
- Dosagem do concreto;
- Plano de concretagem;
- Planejamento de equipamento e pessoal;
- Métodos de ensaios;
- Condições contratuais (custos).

Uma forma de informar com mais segurança o fiscal é através da elaboração de um "Manual de Controle" onde sejam descritos com linguagem fácil e detalhada todos

os processos de especificações da referida obra. Com base nestes manuais, deve-se ministrar aulas antes do início da construção. Além disso, para cada frente de serviço devem ser feitos croquis com planejamento do serviço, tabelas práticas de forma a evitar cálculos etc., afim de facilitar ao fiscal desempenhar suas funções.

3.7 Medições e Tolerâncias

A função do fiscal compreende a observação e controle do processo executivo bem como o controle de tolerâncias exigidas nas especificações, e assim ele deve fazer determinações de comprimento, peso e volume.

Ele deve ter em mente que uma medida, por mais cuidadosa que seja feita, pode não ser exata, e para cada caso em particular deve ser feito um julgamento das tolerâncias permitidas.

Quando as especificações não preverem tolerâncias, as medidas devem ser interpretadas adequadamente a fim de evitar questões e revisões. As variações permitidas devem ser avaliadas em função dos efeitos estruturais ou arquitetônicos que elas irão acarretar nas estruturas. Como por exemplo tem-se que em armaduras de fundação são permitidas tolerâncias que não serão permitidas em armaduras de vigas esbeltas, onde as variações de posicionamento terão conseqüências estruturais significativas. Igualmente em estruturas expostas à vista, as tolerâncias devem ser mais rigorosas do que em estruturas com acabamento não tendo efeito arquitetônico significativo.

As tolerâncias devem ser padronizadas antes do início da construção, e qualquer desvio deve ser, preferencialmente, no sentido de se aumentar a segurança.

3.8 Segurança

O fiscal deve observar as práticas de segurança do trabalho, prevenindo possíveis fontes de perigo, embora, normalmente, a responsabilidade pela segurança seja do Construtor.

3.9 Relatórios

Durante o transcorrer da obra devem ser feitos anotações e relatórios pelo fiscal, nos quais devem ser informados os resultados do controle de qualidade, os processos executivos adotados, irregularidades ou imperfeições ocorridas, bem como as soluções adotadas para acerto, etc.

Estes relatórios têm como finalidade manter informadas as entidades envolvidas na execução da obra, traduzir a performance dos controles aplicados, possibilitar o armazenamento de conhecimentos, possibilitar a análise e críticas do controle, fornecer dados para novas pesquisas e desenvolvimentos. No Capítulo 15 está indicado, de forma detalhada, como elaborar um relatório de controle de qualidade de obras de concreto.





4. LABORATÓRIO

As instalações e equipamentos de laboratório, necessários para o controle de qualidade de concreto, dependem do tipo de obra, da localidade da obra, da velocidade de construção, do tipo de concreto, da responsabilidade da obra e do volume de concreto envolvido (custo).

Pode-se, entretanto, em função do controle exigido, agregar as obras de concreto em quatro grandes grupos:

A - Obras de grande porte e distantes das regiões com facilidades para executar o controle;

B - Obras de grande porte e próximas às regiões com facilidades para executar o controle;

C - Pontes, viadutos, obras de porte médio;

D - Prédios comerciais, residenciais, industriais e estruturas urbanas.

Para cada grupo as características de concreto são diferentes tanto em condições técnicas como econômicas. Como exemplo técnico pode-se citar que no concreto para prédios, classificado como estrutural, a influência da temperatura de lançamento do concreto tem um efeito muito menos contundente do que no concreto de barragens. Quanto à influência econômica do controle, sem considerar as diferenças dos prejuízos decorrentes de construções imperfeitas em cada grupo, no caso de barragens a redução de 1 kg de cimento por m^3 de concreto já é bastante significativa, considerando os milhares de m^3 envolvidos na construção. Desta forma cada grupo de obra deve ser considerado especificamente.

4.1 Instalações de Laboratórios para Obras do Grupo A

Essas obras são normalmente executadas em locais em desenvolvimento, longe dos grandes centros. Nessas obras, o controle do concreto fresco assume grande importância, pois devido à velocidade de lançamento, quando se detectar um desvio de qualidade, o volume do concreto inadequado produzido é relativamente grande. Por outro lado, nessas obras surgem problemas específicos como a temperatura de lançamento do concreto, instabilidade química entre cimento e agregados, erosão ou cavitações etc, envolvendo a necessidade de se quantificar várias propriedades do concreto e materiais que não tem grande influência nas obras dos grupos C e D. Além disto nessas obras, a variação de 1 kg de cimento por m^3 de concreto tem valor significativo tanto técnica, como economicamente. Dessa forma, é recomendado que os laboratórios sejam equipados de tal forma que proporcionem um controle eficaz, e que os materiais disponíveis para construção sejam pesquisados suficientemente de forma a utilizar toda sua potencialidade. No Brasil, junto às grandes obras hidroelétricas foram construídos laboratórios com equipamentos e instalações suficientes. Como exemplo, se indica na Figura 4.1 alguns desses laboratórios.

OBRA	VOLUME DE CONCRETO (m ³)	ÁREAS (m ²)	
		COM ESCRITÓRIO	SEM ESCRITÓRIO
Itaipu - Figura 4.2	13.000.000	2.150	1.800
Tucuruí - Figura 4.3	5.800.000	-	730
Ilha Solteira - Figura 4.4	3.700.000	1.790	1.487
Itumbiara - Figura 4.5	2.050.000	-	612
Porto Primavera * - Figura 4.6	2.300.000	640	496
Água Vermelha * - Figura 4.7	1.570.000	598	458

* Utilizaram o Laboratório Central de Ilha Solteira

Figura 4.1 - Características Gerais de Alguns Laboratórios Brasileiros

As figuras 4.2 a 4.7 mostram esquematicamente as plantas dos laboratórios citados na Figura 4.1.

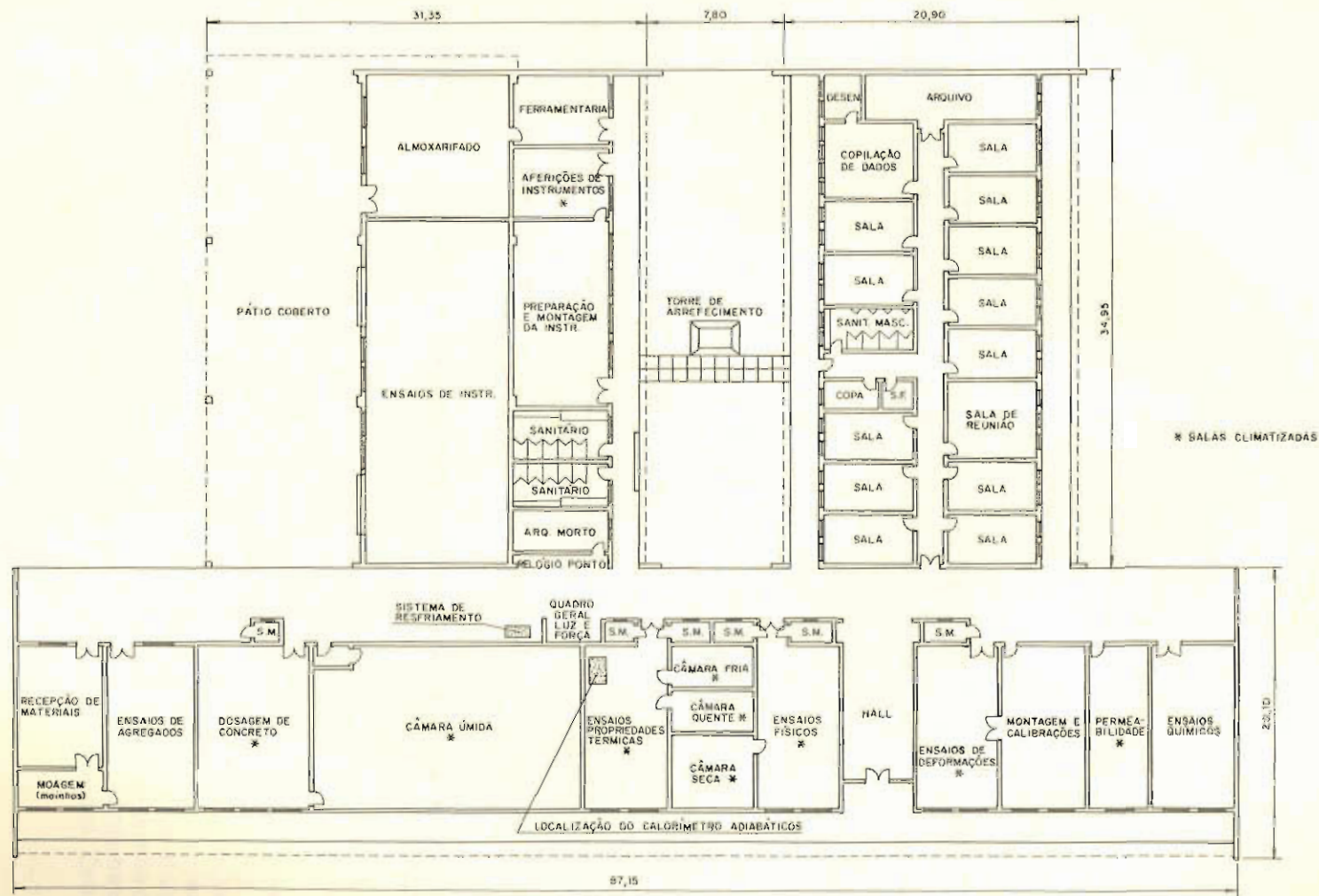


Figura 4.2 - Planta do Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional

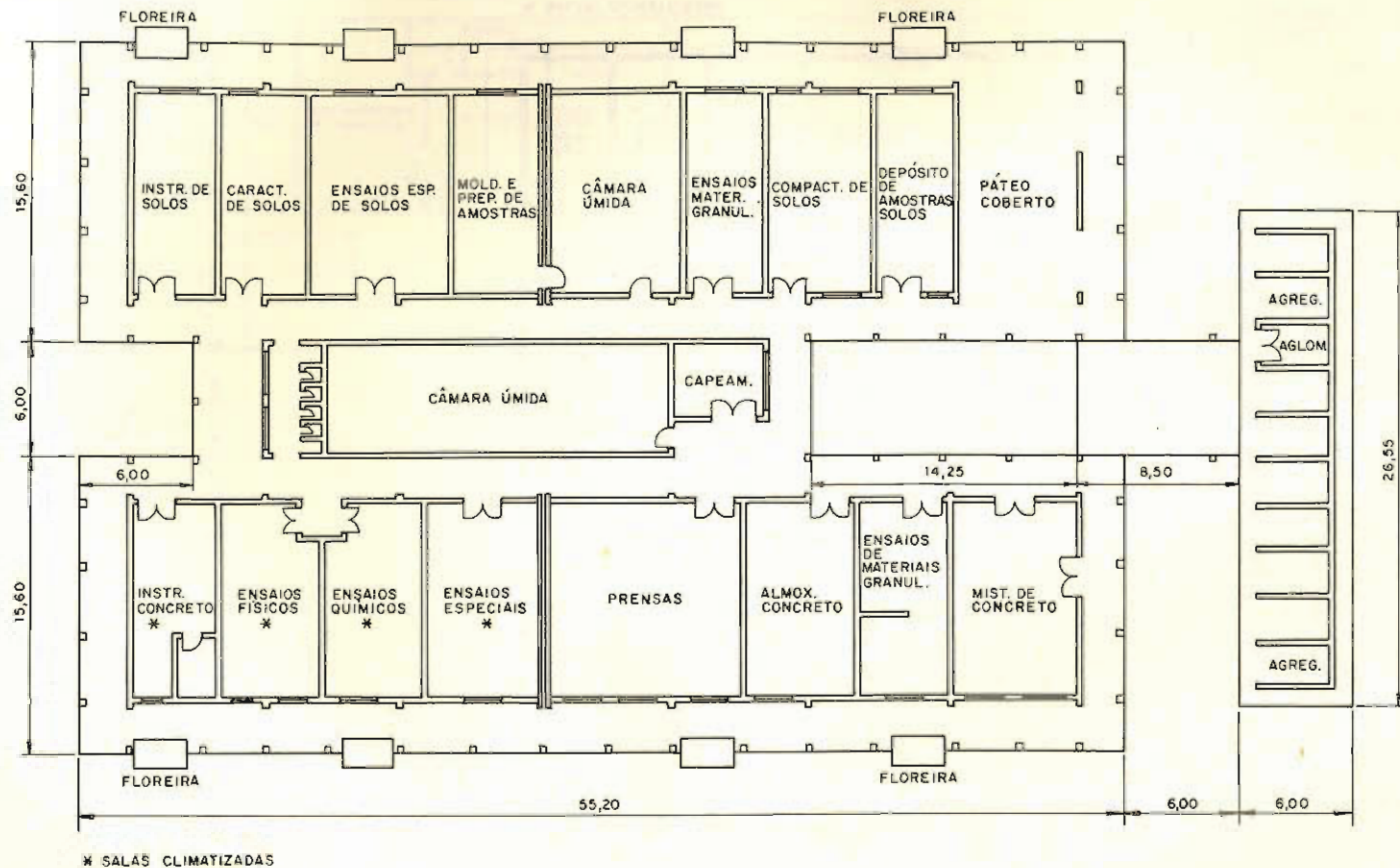


Figura 4.3 - Planta do Laboratório de Tucuruí

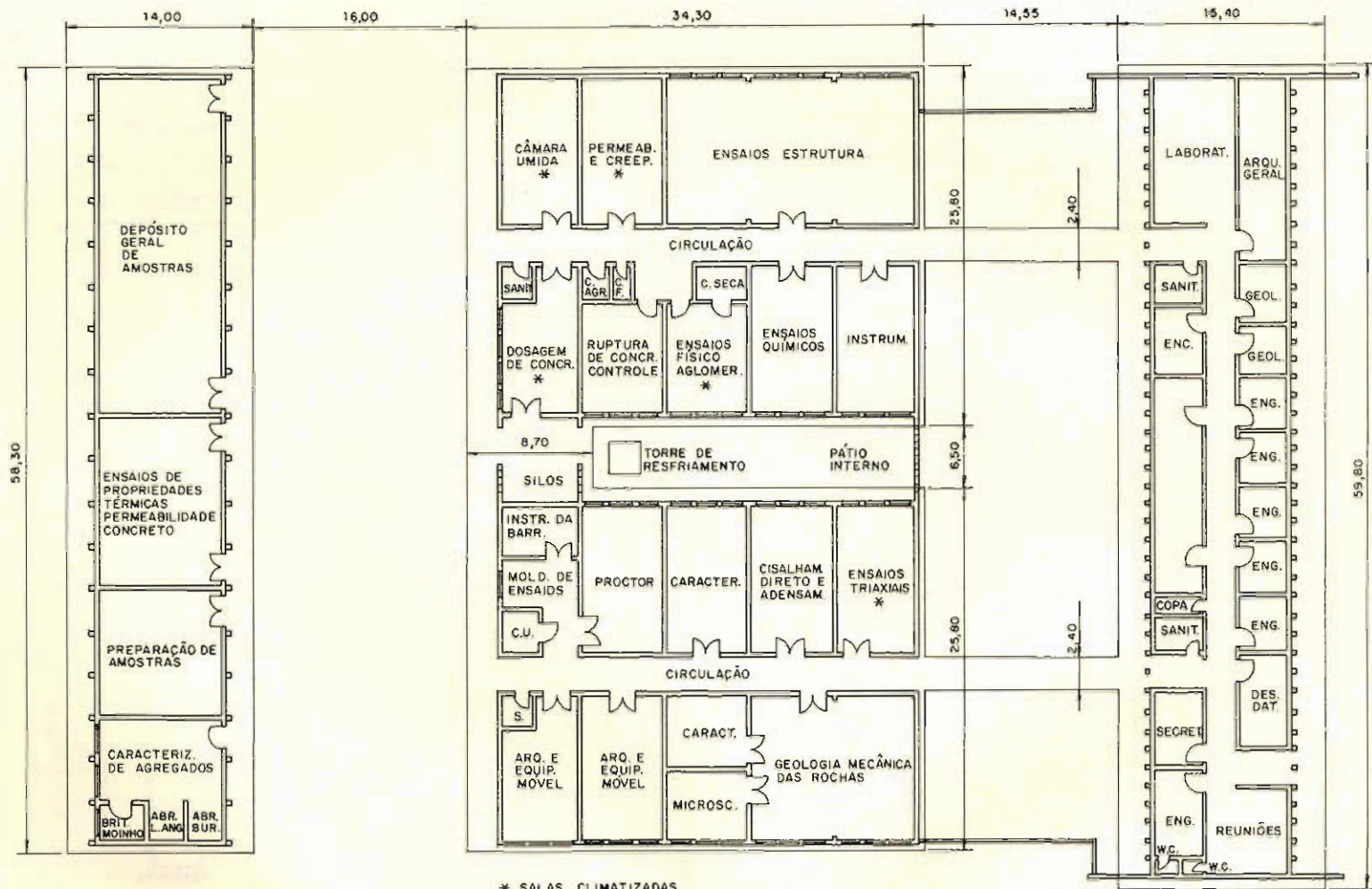


Figura 4.4 - Planta do Laboratório de Ilha Solteira

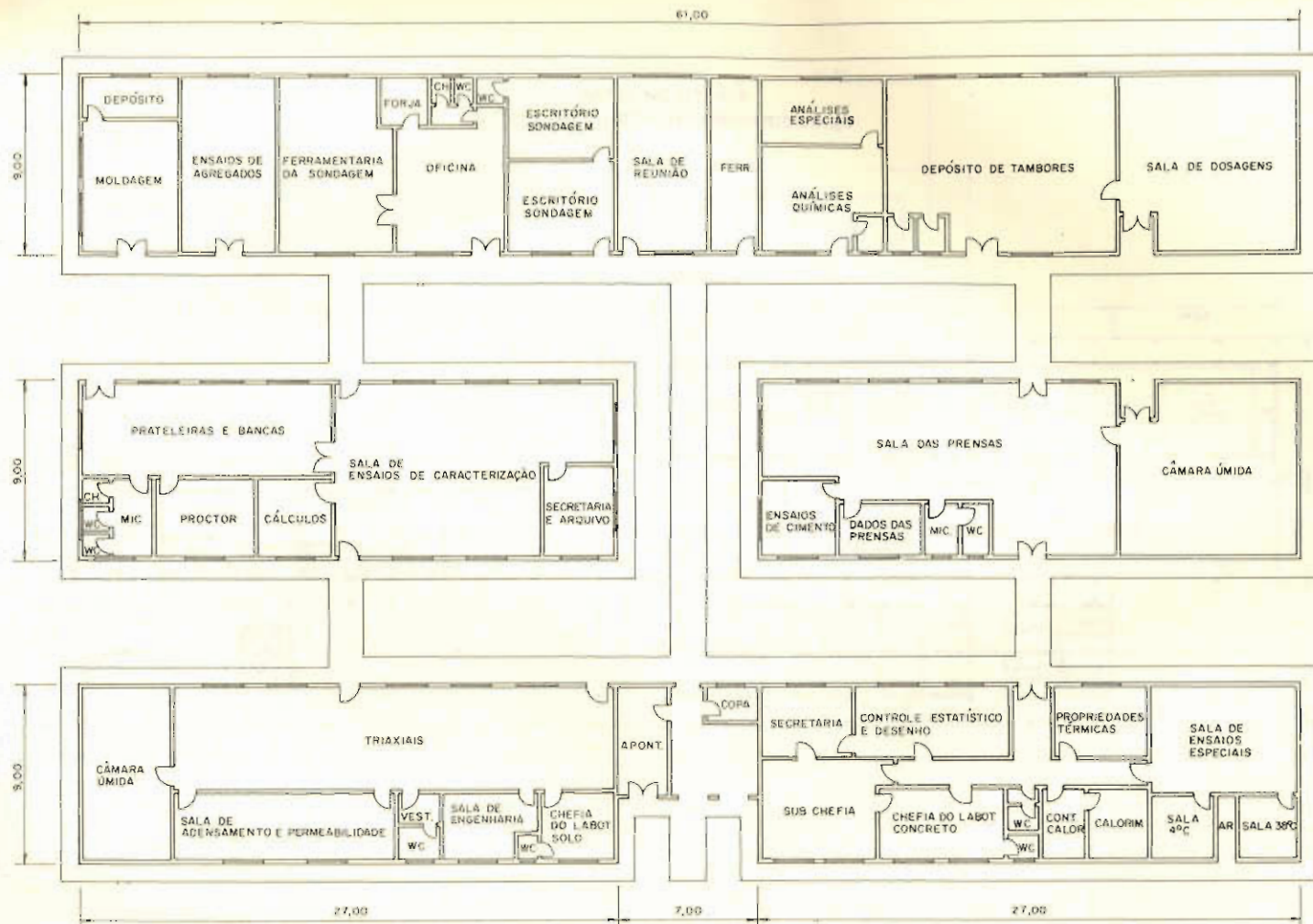


Figura 4.5 - Planta do Laboratório de Itumbiara

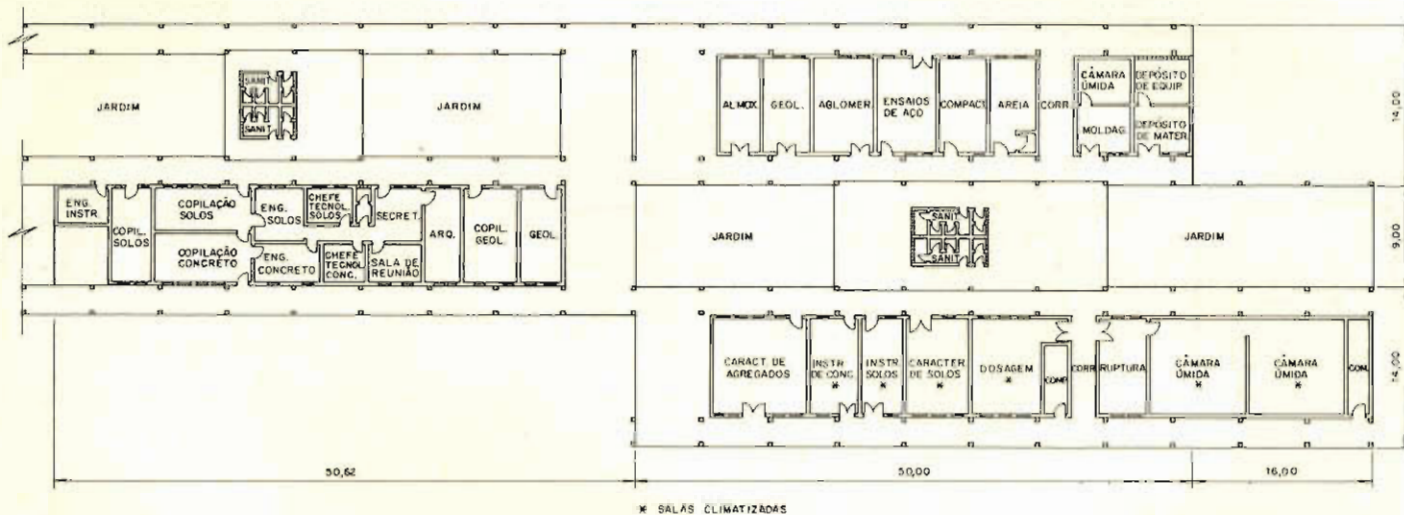


Figura 4.6 - Planta do Laboratório de
Porto Primavera

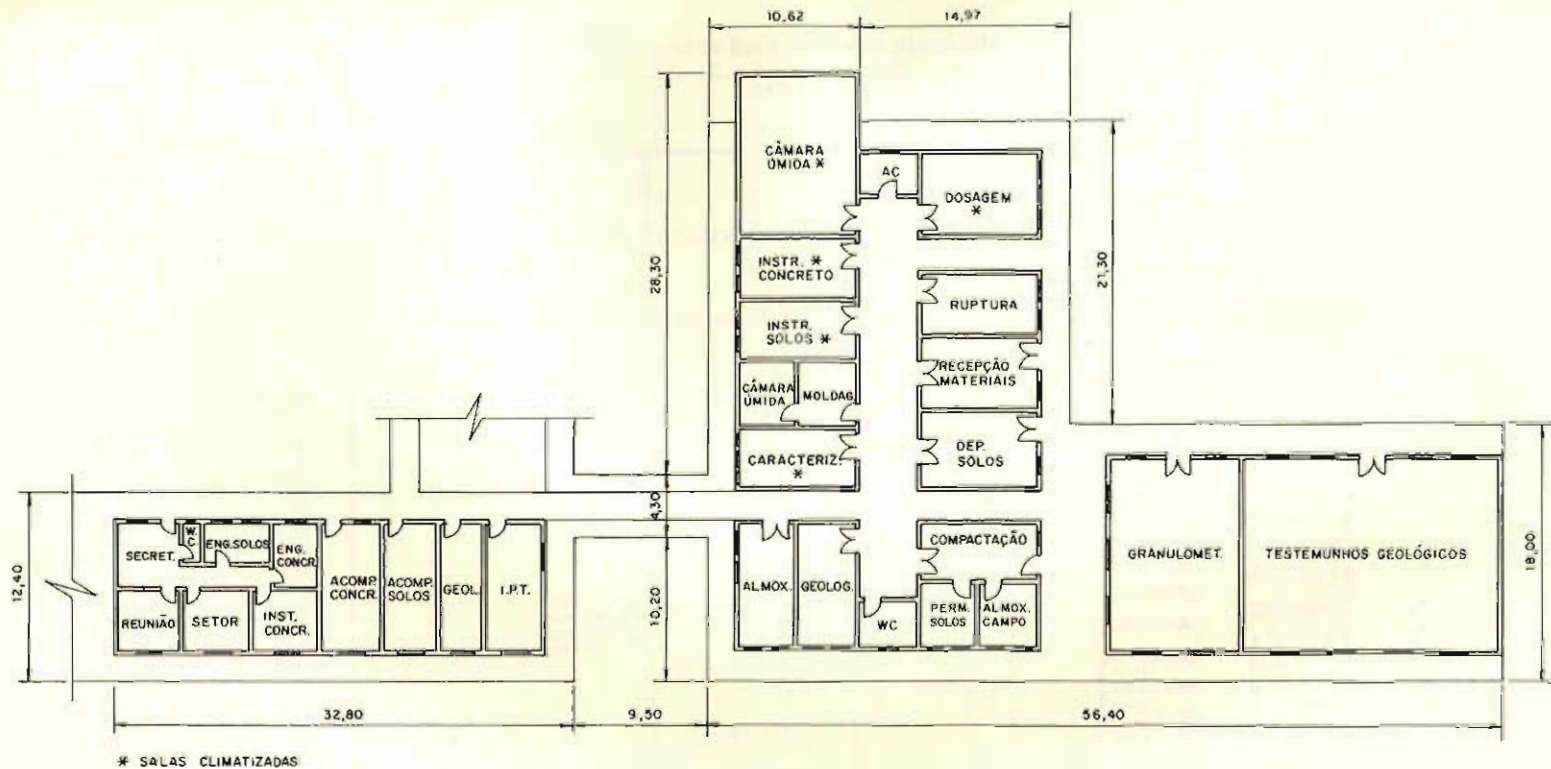


Figura 4.7 - Planta do Laboratório de Água Vermelha

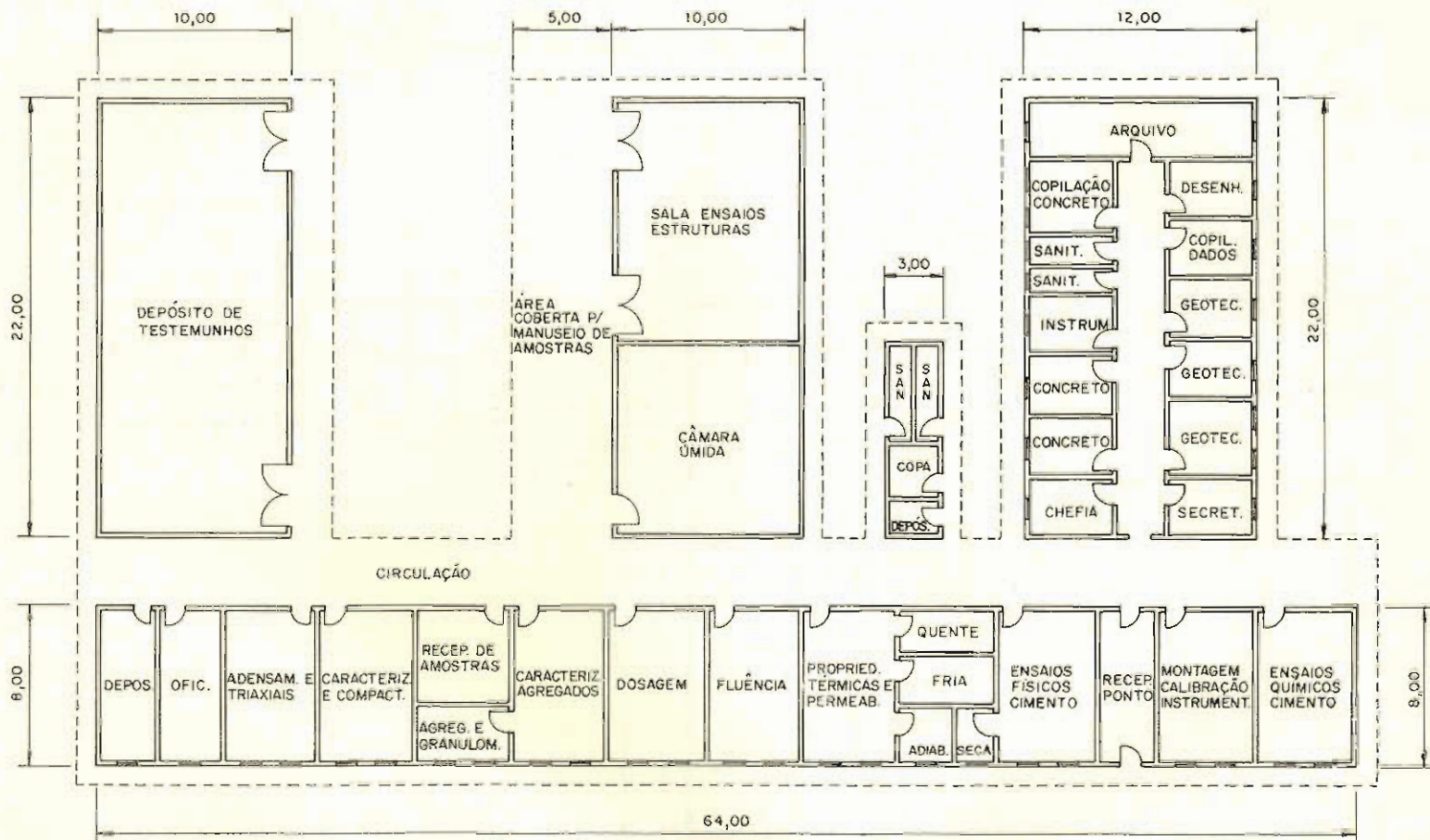


Figura 4.8 - Planta para um Laboratório tipo A

A Figura 4.8 fornece uma sugestão para um laboratório Tipo A.

O laboratório tipo A deve ter condições de executar os ensaios citados nos itens 4.1.1 a 4.1.8 comparativamente com as facilidades dos laboratórios tipo B, C, D.

4.1.1 Agregados (Ver Figura 4.11)

LABORATÓRIO TIPO				
Granulometria	A	B	C	-
Massas Específicas	A	B	C	-
Absorção	A	B	C	-
Umidade	A	B	C	-
Pulverulento	A	B	C	-
Impurezas Orgânicas	A	B	-	-
Ciclagens:				
Natural	A	B	C	-
Artificial	A	B	C	-
Acelerada	A	B	-	-
Sulfatos	A	-	-	-
Abrasão	A	-	-	-
Fôrma	A	B	C	-
Reatividade com os Álcalis				
Químico	A	-	-	-
Físico	A	-	-	-
Acelerado	A	-	-	-
Coefficiente de Expansão Térmica	A	-	-	-
Calor Específico	A	-	-	-

4.1.2 Aços e Emendas (Ver Figura 4.12)

LABORATÓRIO TIPO				
Peso por Metro	A	-	-	-
Tração	A	-	-	-
Alongamento	A	-	-	-
Dobramento	A	-	-	-
Módulo de Elasticidade	A	-	-	-
Tração de Emendas	A	-	-	-
Aderência	A	-	-	-

4.1.3 Aditivos (Ver Figura 4.13)

LABORATÓRIO TIPO				
pH	A	B	-	-
Sólidos totais	A	B	-	-
Densidade	A	B	-	-
Resistência à penetração	A	B	C	-
Escoamento	A	-	-	-
Incorporação de ar	A	B	C	-
Viscosidade	A	-	-	-
Estabilidade	A	-	-	-
Retentividade	A	-	-	-
Pega	A	B	C	-
Resistência	A	B	-	-

4.1.4 Água (Ver Figura 4.14)

LABORATÓRIO TIPO				
Acidez	A	B	-	-
Durezas	A	B	-	-
Silica	A	B	-	-
Alumínio	A	B	-	-
Ferro	A	B	-	-
Ferro	A	B	-	-
Cálcio	A	B	-	-
Magnésio	A	B	-	-
Sódio	A	B	-	-
Potássio	A	B	-	-
Resíduo a Seco	A	B	-	-
Perda por Calcinção	A	B	-	-
Turbidez	A	B	-	-
Qualidade	A	B	-	-
Carbonatos	A	B	-	-
Bicarbonatos	A	B	-	-
Cloretos	A	B	-	-
Sulfatos	A	B	-	-
Qualidade na Argamassa	A	B	-	-

4.1.5 Cimento (Ver Figura 4.15)

LABORATÓRIO TIPO				
Perda ao fogo	A	B	-	-
Resíduo Insolúvel	A	B	-	-
Sílica	A	B	-	-
Óxido de Ferro	A	B	-	-
Óxido de Cálcio	A	B	-	-
Óxido de Magnésio	A	B	-	-
Óxido de Enxofre	A	B	-	-
Óxido de Sódio	A	B	-	-
Óxido de Potássio	A	B	-	-
Óxido de Manganês	A	B	-	-
Cal livre	A	B	-	-
Finura #200	A	B	-	-
Finura # 325	A	B	-	-
Finura BLAINE	A	B	-	-
Massa específica	A	B	-	-
Consistência da Pasta	A	B	-	-
Tempos de pega	A	B	-	-
Expansão em Autoclave	A	-	-	-
Resistência à compressão	A	B	-	-
Calor de hidratação	A	-	-	-

4.1.6 Material Pozolânico (Ver Figura 4.16)

Idem ao Cimento, acrescentando-se:

LABORATÓRIO TIPO				
Redução da expansão	A	-	-	-
Expansão da argamassa	A	-	-	-
Retração por secagem	A	-	-	-
Água requerida	A	B	-	-
Atividade Pozolânica c/cimento	A	B	-	-
Atividade Pozolânica c/cal	A	B	-	-

4.1.7 Elastômeros (Ver figura 4.17)

LABORATÓRIO TIPO				
Dureza	A	-	-	-
Tração	A	-	-	-
Alongamento	A	-	-	-
Cisalhamento	A	-	-	-
Deformação permanente	A	-	-	-
Extração Acelerada	A	-	-	-
Efeito Álcis	A	-	-	-
Serviço simulado	A	-	-	-

4.1.8 Concreto (Ver Figura 4.18)

LABORATÓRIO TIPO				
Tração-base	A	B	C	-
Abatimento	A	B	C	-
Vebe	A	-	-	-
Incorporação de ar	A	B	C	D
Massa específica	A	B	C	-
Exsudação	A	-	-	-
Ruptura axial (ϕ 25 x 50, ϕ 45 x 90 cm)	A	-	-	-
Ruptura axial (ϕ 15 x 30 cm)	A	B	C	D
Ruptura diametral	A	B	C	-
Módulo de deformação (ϕ 25 x 50, ϕ 45 x 90 cm)	A	-	-	-
Módulo de deformação (ϕ 15 x 30 cm)	A	B	C	-
Ruptura triaxial	A	-	-	-
Permeabilidade	A	-	-	-
Elevação Adiabática	A	-	-	-
Difusividade	A	-	-	-
Calor específico	A	-	-	-
Coefficiente de expansão térmica	A	-	-	-
Condutividade	A	-	-	-
Fluência (ϕ 15 x 30, ϕ 25 x 50, ϕ 45 x 90 cm)	A	-	-	-
Variação autogena	A	-	-	-
Flexão de vigas	A	-	-	-
Capacidade de deformação	A	-	-	-

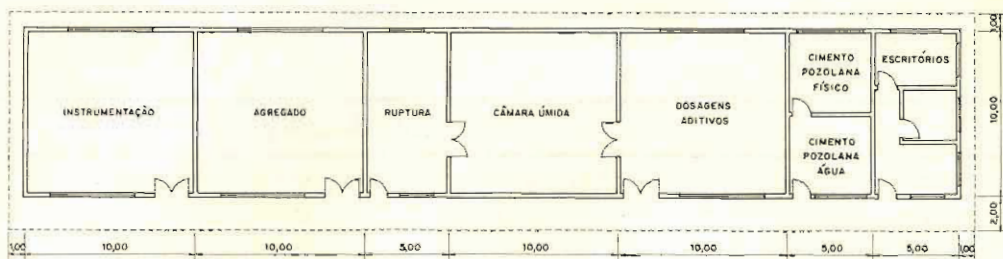


Figura 4.9 - Planta de um Laboratório Tipo B

4.2 Instalações de Laboratório para Obras do Grupo B

São obras de grande porte, localizadas em regiões próximas, com facilidades para executar o controle, podendo contar completamente com as facilidades de um Laboratório Tipo A.

Assim é que nessa situação executam-se os ensaios de rotina, na obra, e complementarmente se utiliza de um laboratório de amplos recursos para os demais ensaios.

Os itens 4.1.1 a 4.1.8 citam os ensaios normalmente executados nessa situação, enquanto na figura 4.9, apresenta-se uma sugestão para um Laboratório Tipo B.

4.3 Instalações de Laboratório para Obras do Grupo C

Em obras como pontes e viadutos normalmente o concreto é betonado no Canteiro de Obras. Desta forma, além do concreto fresco é necessário o controle dos agregados. Considera-se que o aglomerante e eventuais aditivos sejam encaminhados para a obra, já ensaiados. Dependendo do local e da obra pode-se ter ainda a necessidade de se fazer a ruptura de corpos de prova para controle da protensão de vigas.

Na Figura 4.10 é sugerido um laboratório-padrão para esses tipos de obras.

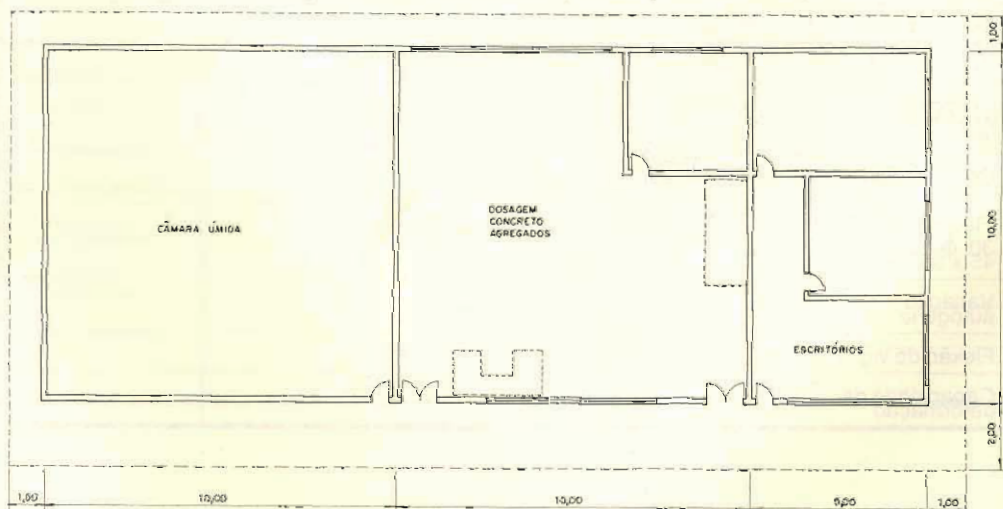


Figura 4.10 - Planta de um Laboratório Tipo C

No caso de pontes e viadutos recomenda-se ainda o controle da calda de injeção em bainhas de cabos protendidos. Os equipamentos para este controle são especificados e deve-se levá-los para a obra no período de utilização.

4.4 Instalações de Laboratório para Obras do Grupo D

Como estas obras são localizadas nos centros urbanos, normalmente o concreto utilizado é dosado e/ou pré-misturado em usinas e transportado para a obra em caminhões betoneira. Algumas vezes o concreto é betonado no canteiro de obras. Nesses tipos de obras as especificações exigem a obtenção de uma resistência mínima à compressão.

Nessas condições, o controle executado no canteiro se resume no controle da trabalhabilidade, a rigor, e da moldagem de corpos de prova para controle de resistência. Dessa forma uma sala de aproximadamente 9 a 10 m² é suficiente.

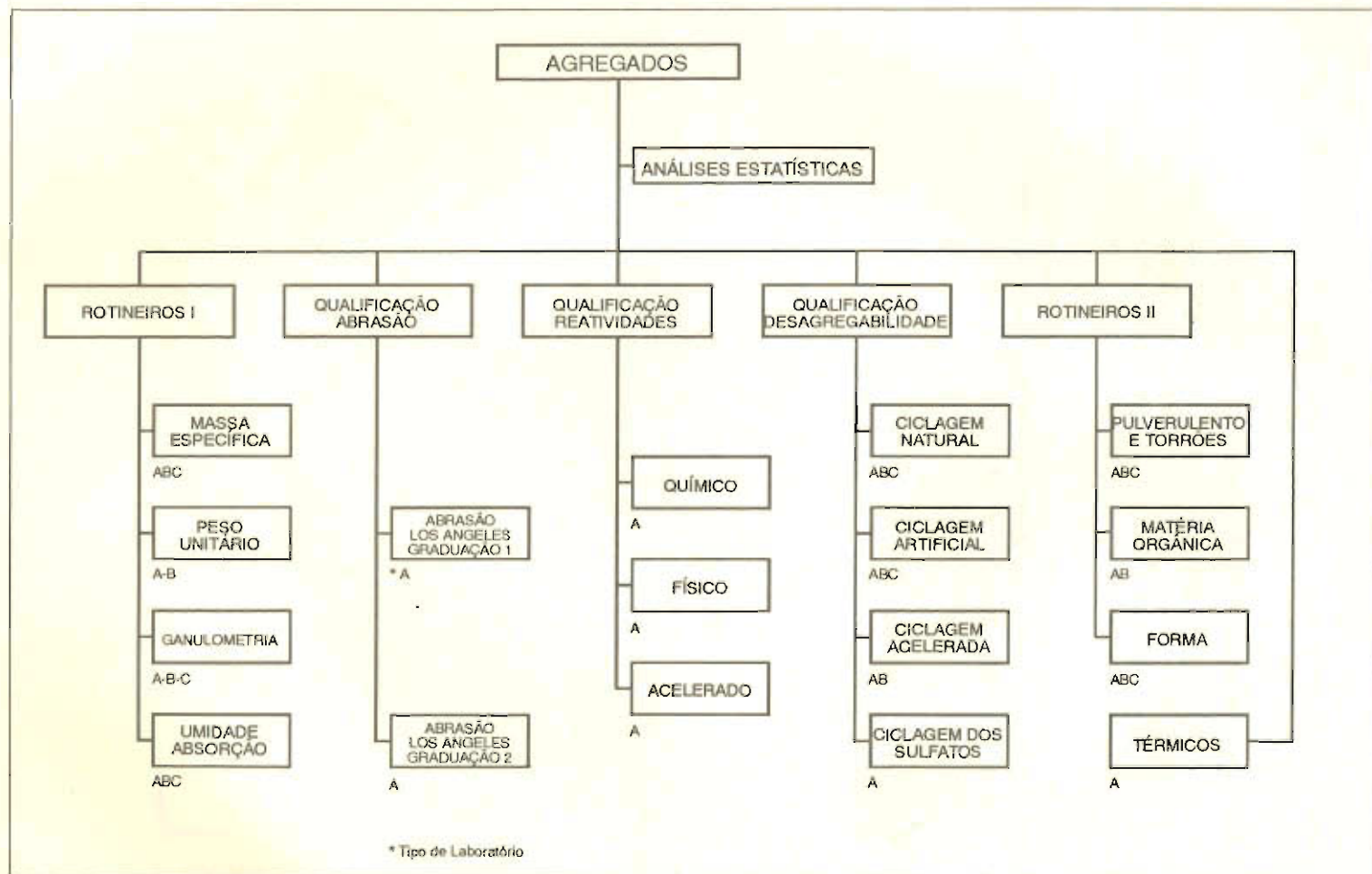
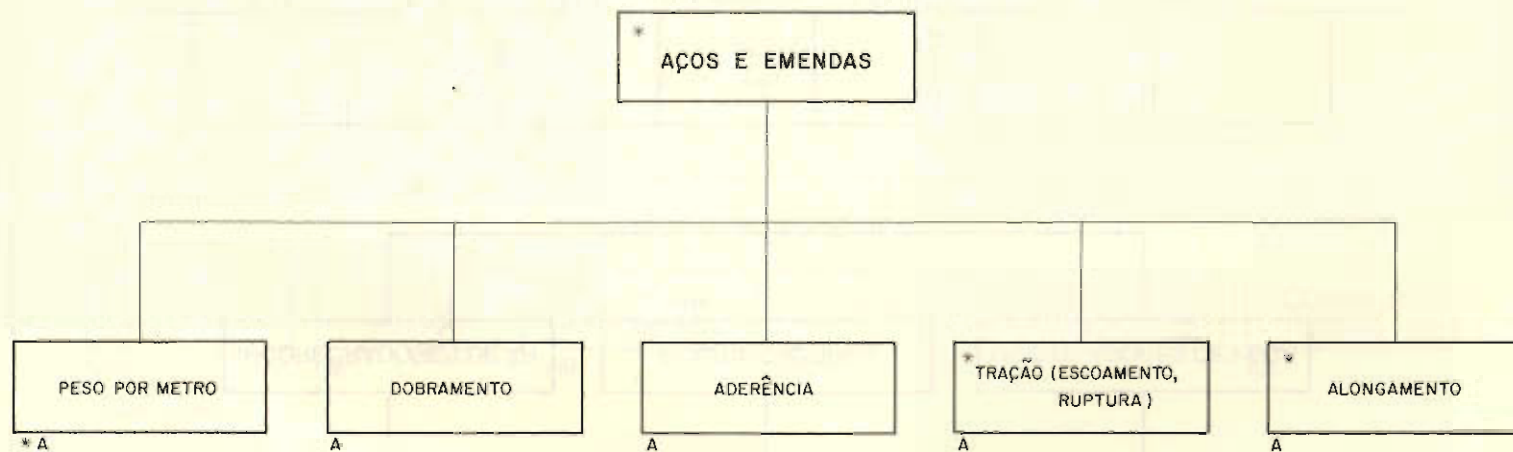
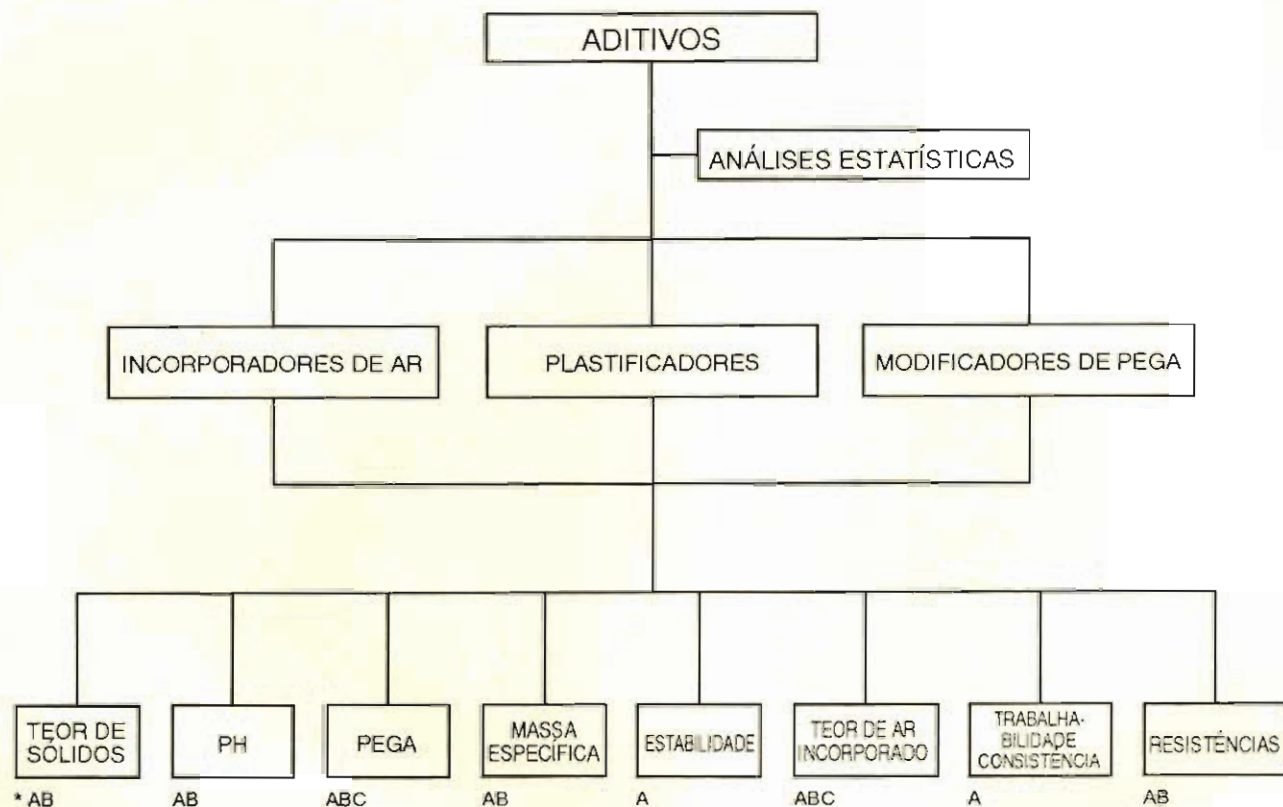


Figura 4.11 - Quadro Esquemático de Ensaio sobre Agregados



* TIPO DE LABORATÓRIO

Figura 4.12 - Quadro Esquemático de Ensaios sobre Aços e Emendas



* Tipo de Laboratório

Figura 4.13 - Quadro Esquemático sobre Aditivos

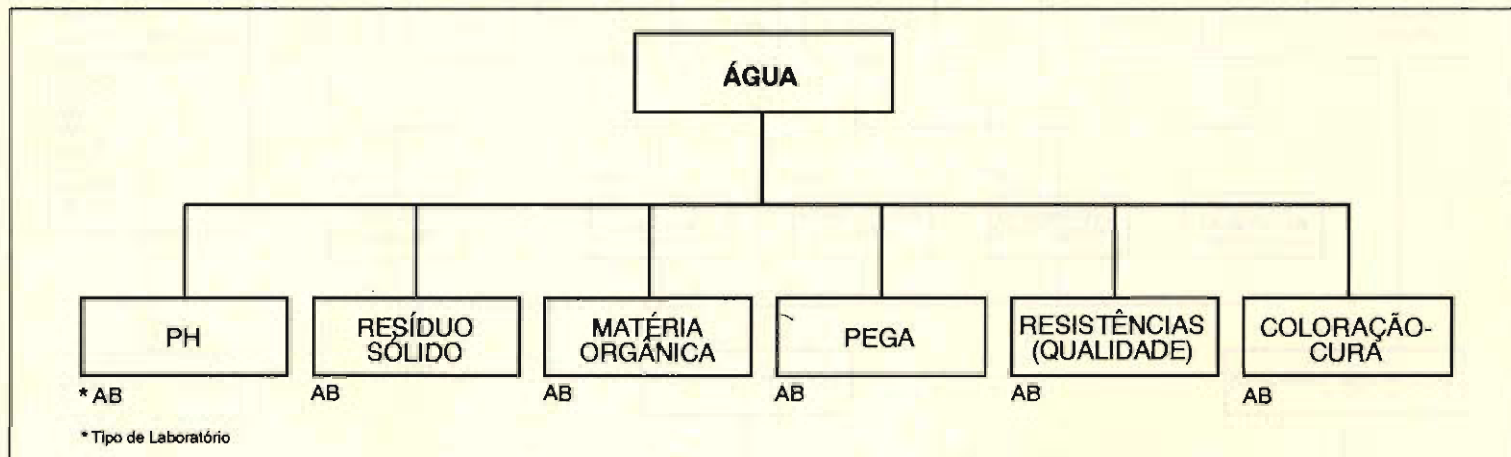


Figura 4.14 - Quadro Esquemático de Ensaio sobre Água

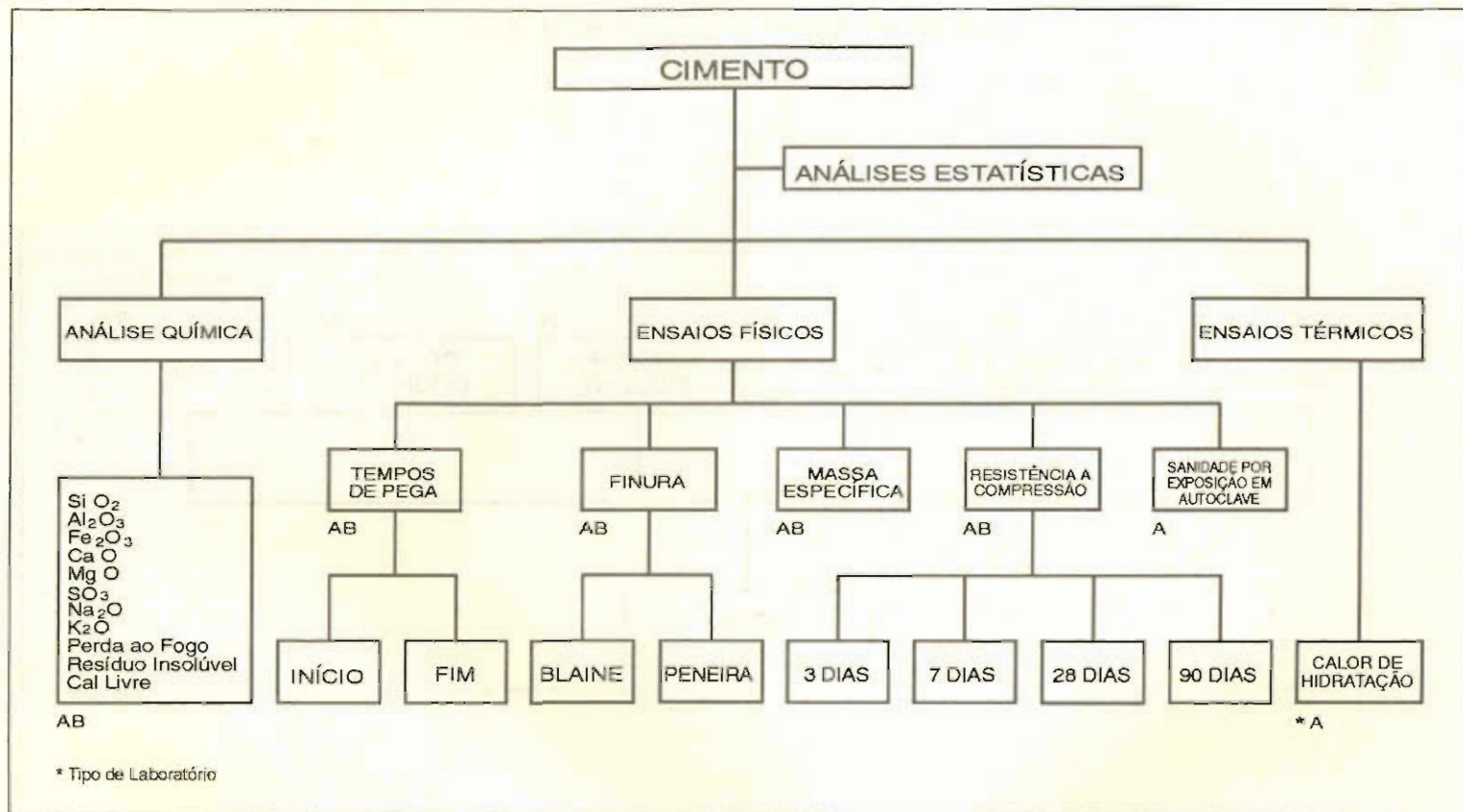


Figura 4.15 - Quadro Esquemático de Ensaio sobre Cimento

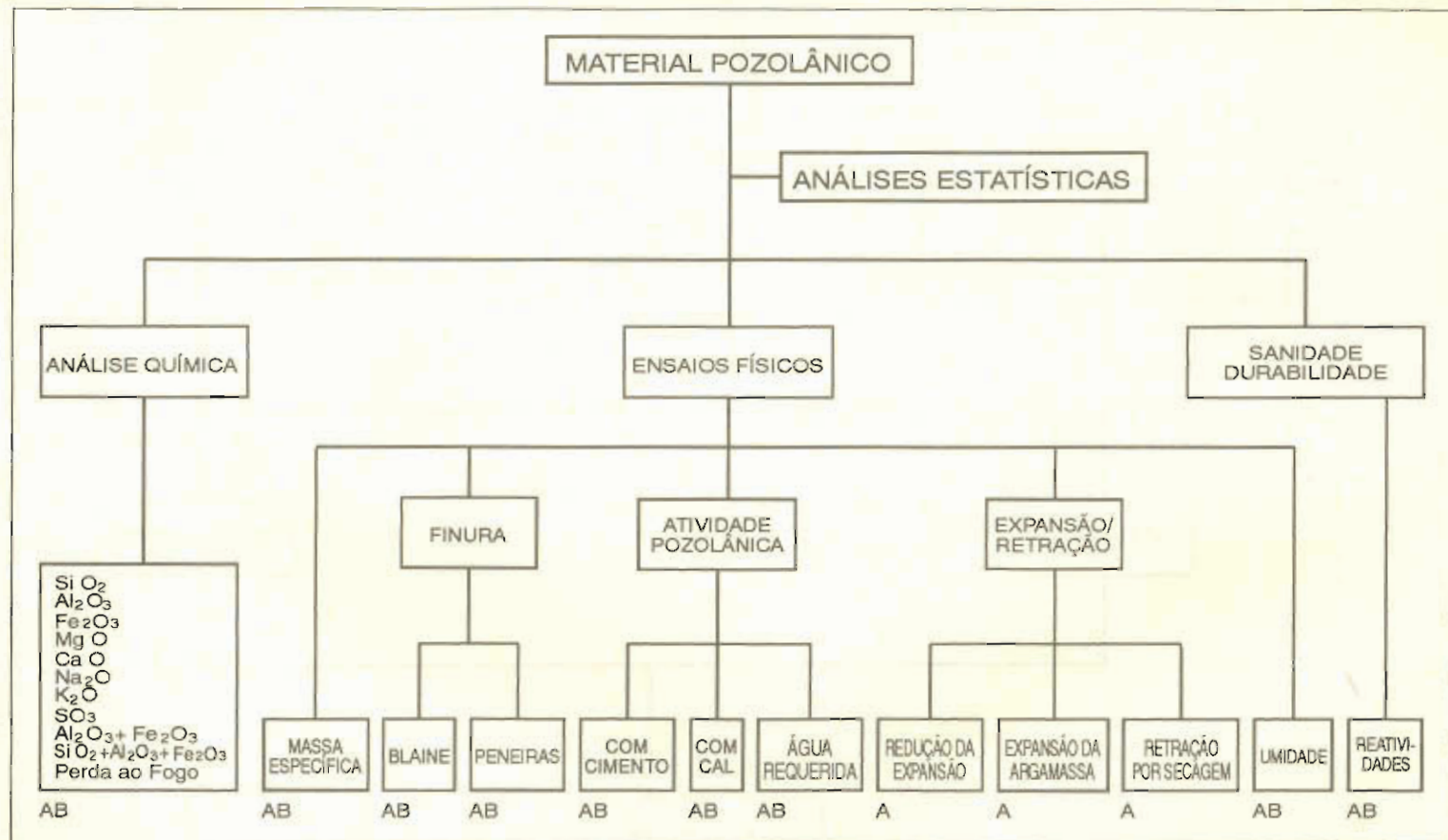


Figura 4.16 - Quadro esquemático de ensaios sobre Material Pozolânico

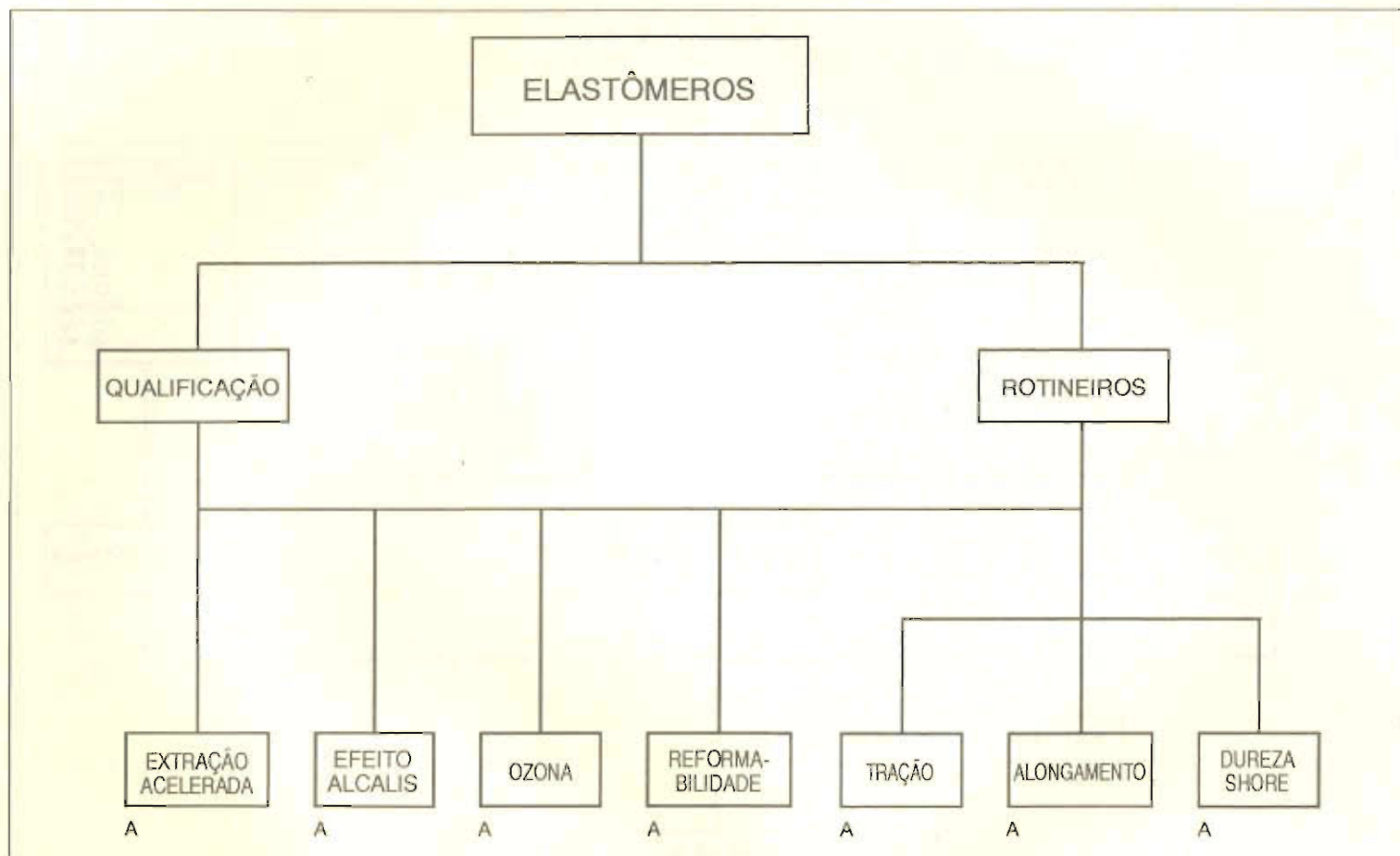


Figura 4.17 - Quadro Esquemático de Ensaio sobre Elastômeros

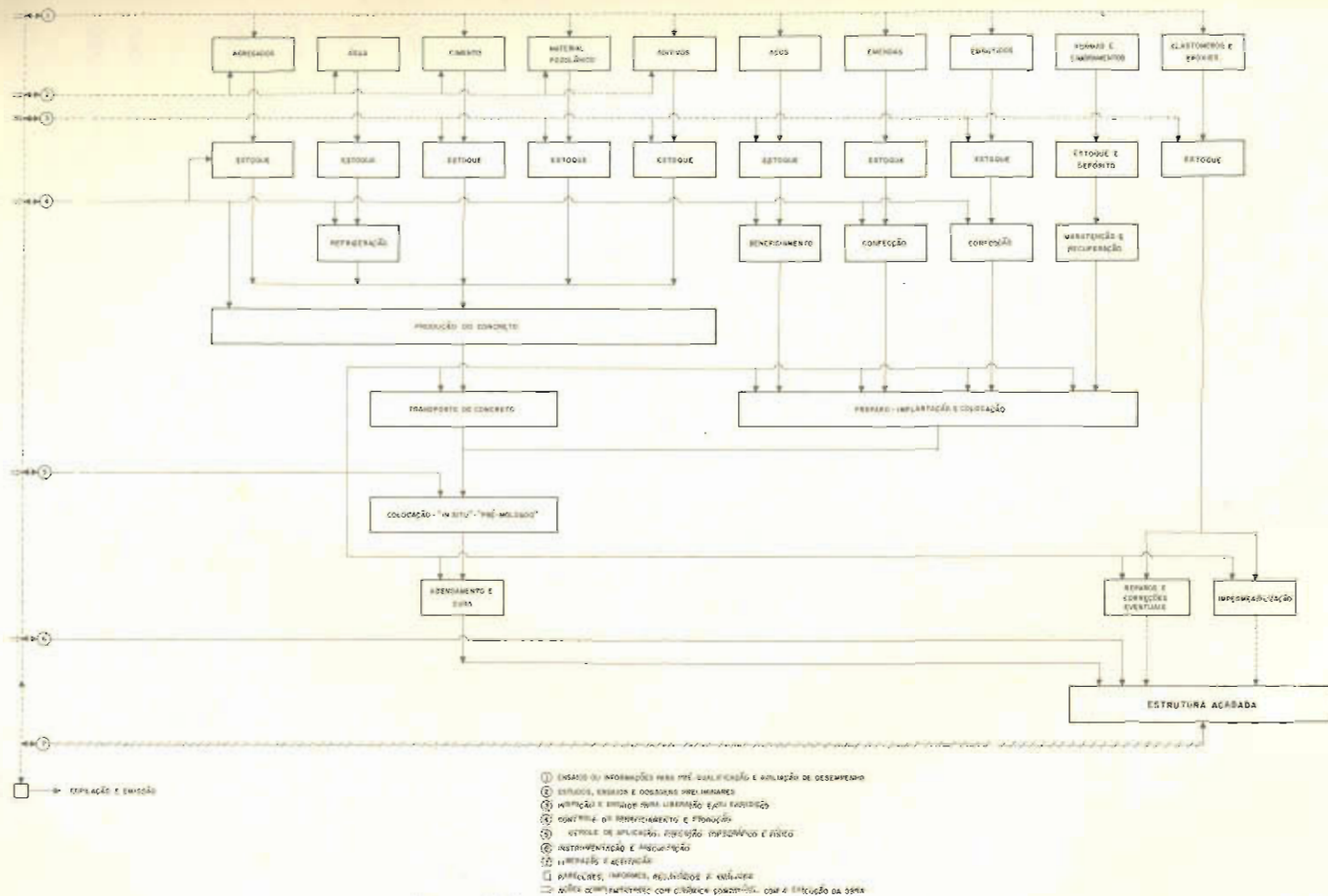


Figura 4.18 - Quadro Esquemático de Ensaios sobre Concreto

4.5 Equipamentos Necessários

Para a execução dos ensaios citados nos itens 4.1.1 a 4.1.8 é necessário um conjunto de equipamentos, aparelhos e materiais.

Neste item são listados alguns equipamentos usuais, para cada tipo de laboratório citado anteriormente.

A quantidade de equipamentos, aparelhos ou materiais, dependendo das dimensões da obra sob esse controle, deve ser considerada em detalhe.

ITEM/DESCRIÇÃO		TIPO DO LABORATÓRIO			
		A	B	C	D
001	Aagitador de peneira - Ro Tape - para agregado miúdo, motor elétrico, de Bitola - 8" x 2"cm.	A	B	C	D
002	Aagitador de peneira - Ro Tape - para agregado graúdo, motor elétrico, Bitola 50" x 50" cm.	A	B	C	D
003	Universal "Multitester"- Tensão - CC-12/60/300/600 v 0-60 - tensão CA 12/60/300/600 v correntes CC-0-6-MA/30 MA 12/0,6/3/12A - Resistência 0 omhs - a 2 ohms, 100ohms - a 200 ohms.	A	-	-	-
004	Aparelho para ensaio de difusidade do concreto.	A	-	-	-
005	Aparelho para ensaio de calor específico e condutividade.	A	-	-	-
006	Aparelho para aferir extensômetros elétricos.	A	-	-	-
007	Aparelho de permeabilidade de concreto, de acordo com a Lei de Darcy-Bureau of Reclamation, com 2 campânulas para 15 x 15 cm, 2 para 25 x 25 cm, 2 para 45 x 45 cm.	A	-	-	-
008	Aparelho de Vicat, com agulha e sonda de Tetmajer, e molde.	A	B	-	-
009	Penetrômetro Elétrico para tempos de pega.	A	-	-	-
010	Aparelho titulador, automático para análise química, com controle remoto com 2 bases, com suporte e 2 frascos de reagentes em vidro marrom, com unidade intercambiável.	A	B	-	-
011	Aparelho para ensaio de água de exsudação, com motor elétrico e temporizador.	A	-	-	-
012	Aparelho autoclave para ensaio de cimento, para 1.700 w e 600 PSI.	A	B	-	-

013	Aparelho para medida de incorporação de ar, através de ar comprimido, com manômetro de 0-4 kgf/cm ² .	A	B	C	D
014	Betoneira capacidade 320 l, autocarregável, tipo basculante.	A	B	C	-
015	Britador de facas, para agregados, com motor elétrico.	A	B	-	-
016	Batedeira de argamassa com recipiente e pá em aço inox.	A	B	-	-
017	Bomba para vácuo, rotativa, em banho de óleo 48 l/min, vácuo de 0,01 mm hg.	A	B	-	-
018	Balança elétrica tipo analítica com capacidade máxima de 160 g e divisão de 0,1 mg.	A	B	-	-
019	Balança elétrica, tipo analítica com capacidade máxima de 5.000 g - divisão de 0,1 g.	A	B	C	
020	Balança tipo plataforma, mostrador redondo, capacidade de 50 kg, sensibilidade 50g.	A	B	C	-
021	Balança de um prato, capacidade de 2 kg e sensibilidade de 1 g.	A	B	C	-
022	Balança de plataforma, mostrador redondo, capacidade de 300 kg e sensibilidade 200 g.	A	B	C	-
023	Balança de pratos, capacidade de 20 kg e sensibilidade de 20 g - tipo hidrostática.	A	B	C	-
024	Balança tipo plataforma com grade de proteção, capacidade de 2.000 kg, sensibilidade de 2 kg, plataforma de 1,0 2,0 m.	A	-	-	-
025	Caixa de varredura para leitura seqüencial 20 canais.	A	-	-	-
026	Indicador de deformação estática, digital, com automatizador.	A	-	-	-
027	Célula de carga, capacidade de 0-20.000 kgf.	A	-	-	-
028	Célula de carga, capacidade de 0-100.000 kgf.	A	-	-	-
029	Carrinho tipo plataforma (1,20 1,50) sobre 4 rodas pneumáticas, com eixo dianteiro pivotado e haste metálica para giro e direção plataforma de chapa 1/4".	A	B	C	-
030	Caixa seletora portátil para 12 canais.	A	-	-	-
031	Carro com plataforma elevadiça, 4 rodas de borracha, sendo 2 fixas e 2 giratórias, com braço para reboque.	A	-	-	-

032	Vibrador de imersão com mangote de 4 m, motor elétrico, com agulha de ϕ 25 mm 350 mm.	A	B	C	-
033	Vibrador de imersão com mangote de 4 m, motor elétrico, com agulha de ϕ 46 mm 350 mm	A	-	-	-
034	Calorímetro para ensaio do calor de hidratação de cimento, com motor elétrico, caixa de madeira, recipiente isolante, garrafa térmica e termômetro diferencial.	A	-	-	-
035	Calorímetro automático para cimento.	A	-	-	-
036	Cronômetro 30 minutos - 1/5 segundos.	A	B	C	D
037	Câmara para ensaio triaxial, para corpos de prova ϕ 15 30 cm, pressão confinante máxima 700 kg/cm, com um manômetro de 350 kgf e um manômetro de 700 kgf/cm.	A	-	-	-
038	Derretedor de enxofre, elétrico, medindo 330, 500 e 280 mm.	A	B	C	D
039	Destilador de água, com suporte para fixação.	A	B	-	-
040	Espectrofotômetro de absorção atômica com redutor monocularímetro de alta resolução, torre de no mínimo 6 lâmpadas, sistema de alimentação, bico queimador para chama ar-acetileno, leitura digital em absorção, emissão e concentração, integração em tempo real e zero automático, emissão de chama integral, fotomultiplicador de banda larga, amostrador automático e interligador, compressor de ar.	A	-	-	-
041	Titulador automático para enxofre e carbono.	A	B	-	-
042	Espectrofotômetro de infra-vermelho com detector, registrador, processador e programa.	A	-	-	-
043	Esmerilhadeira angular 1.900 w.	A	B	C	-
044	Estabilizador automático de tensão.	A	B	C	-
045	Estrutura de reação para ensaio de deformação lenta para corpos de prova ϕ 45 X 100 cm e placas complementares.	A	-	-	-
046	Estrutura de reação para ensaio de deformação lenta para corpos de prova ϕ 25 X 50 cm e placas complementares.	A	-	-	-
047	Estrutura de reação para ensaio de deformação lenta para corpos de prova ϕ 15 X 45 cm e placas complementares.	A	-	-	-

048	Estufa elétrica, com 9 divisões internas, termostato regulador de temperatura até 150 C, 9 Kw - medindo 100 X 70 X 90 cm.	A	B	C	-
049	Extensômetro mecânico para determinação do módulo de elasticidade do aço ϕ 12 mm a 40 mm e cordoalhas de protensão de ϕ 12 mm e 16 mm, com base de medidas para 200 mm e 500 mm.	A	-	-	-
050	Estrutura móvel para suporte de talha elétrica com 2,5 t de capacidade, para a sala de estruturas, ou empilhadeira móvel.	A	-	-	-
051	Flow table - mesa de escoamento - de acionamento manual com aparelho para medida de remoldagem, disco, suporte.	A	-	-	-
052	Furadeira universal tipo profissional - ϕ 13 mm / 8 mm - 2 velocidades.	A	B	C	-
053	Flow table para ensaios de argamassa segundo ASTM C-230, acionada por motor elétrico.	A	B	-	-
054	Flow table para ensaios de argamassa, de acionamento manual - segundo ABNT.	A	B	-	-
055	Forno elétrico tipo Mufla com termostato para até 1.200°C, medindo internamente 15 X 15 X 25 cm.	A	B	-	-
056	Gerador de energia com tanque de combustível para 2 litros.	A	B	C	-
057	Indicador de leituras para instrumentos, em C.C. de leitura direta de resistência e relação de resistência.	A	-	-	-
058	Indicador de temperatura para termômetros elétricos de resistência.	A	-	-	-
059	Máquina de corte e preparação de testemunhos com painel de controle e jogo duplo de discos para ϕ 350 mm - ϕ 500mm - ϕ 1.000 mm.	A	-	-	-
060	Máquina de extrair testemunhos montada sobre pneus, possuindo sistema de fixação "in situ", com jogo de coroas para ϕ 76 mm, ϕ 150 mm, ϕ 250 mm, com avanço de 1.000 mm.	A	B	C	-
061	Máquina de abrasão "Los Angeles", com motor elétrico com esferas de abrasão e bandeja coletora.	A	-	-	-
062	Máquina de tração e compressão, com célula de carga eletrônica, automática e conjunto completo de garras, extensômetros capacidade de 2.000 kg.	A	-	-	-
063	Máquina universal para ensaios de compressão e tração - 200 tf.	A	-	-	-
064	Máquina para ensaios de compressão, dobramento e flexão, capacidade de 200 tf, com célula de carga eletrônica, com painel eletrônico, garras com base de fixação de 200 mm,				

	colunas para curso de 1.000 mm, pistão de curso 500 mm, com 4 escalas de leitura (25, 50, 100 e 200 tf).	-	B	C	D
065	Máquina de compressão para cilindros de argamassa, com células de carga eletrônica para 4 escalas. Capacidade de 20.000 kgf.	A	B	-	-
066	Máquina de compressão e flexão para 500 tf, com colunas de 4 m de altura, distância entre colunas de 1.000 mm, células de carga e painel eletrônico para 5 escalas. Carrinho ao nível do piso para mesa de compressão e mesa de flexão. Pistão de curso 400 mm.	A	-	-	-
067	Macaco hidráulico, capacidade 150 tf, curso 300 mm.	A	-	-	-
068	Macaco hidráulico, capacidade 60 tf, curso 200 mm.	A	-	-	-
069	Macaco hidráulico, capacidade 20 tf, curso 200 mm.	A	-	-	-
070	Macaco hidráulico, capacidade 10 tf, curso 100 mm.	A	-	-	-
071	Bomba hidráulica com capacidade de 700 kgf/cm - com conjunto de 2 mangueiras de 5 m.	A	-	-	-
072	Macaco plano para ensaio de deformação lenta aos diâmetros de 70/90/110/130/150/200/250 mm.	A	-	-	-
073	Macaco hidráulico de precisão para aplicação de carga ao longo do tempo, com 3 peças nos diâmetros de 16, 25, 50 mm.	A	-	-	-
074	Manômetro de precisão - capacidade de 6 kgf/cm - precisão 0,1%.	A	-	-	-
075	Manômetro de precisão - capacidade de 25 kgf/cm - precisão 0,1%.	A	-	-	-
076	Manômetro de precisão - capacidade de 100 kgf/cm - precisão 0,1%.	A	-	-	-
077	Manômetro de precisão - capacidade de 250 kgf/cm - precisão 0,1%.	A	-	-	-
078	Mesa vibratória para moldagem de corpos de prova.	A	-	-	-
079	Indicador de deformação estática para extensômetros elétricos.	A	-	-	-
080	Medidor de deformações, sensibilidade 0,001 mm e base de medidas para 25, 50 e 100 mm e com 3 patas intercambiáveis e calibres e punções.	A	-	-	-
081	Medidor de dureza de 0 a 100 shore.	A	-	-	-
082	Medidor de pH, automático, com eletrodo de vidro 10 w.	A	B	-	-
083	Misturador para caldas, com motor de indução de 200 w e tacômetro elétrico de 0 a 5.000 rpm.	A	B	-	-

084	Morsa com tripé.	A	B	-	-
085	Nefelo colorímetro, com transformador.	A	B	-	-
086	Paquímetro de aço inox, capacidade 500 mm, leitura 0,02 mm e bico de 200 mm.	A	-	-	-
087	Ponte de Weatsthone, para medida de temperatura, com barra de terminal, fonte de alimentação, termômetro de resistência padrão.	A	-	-	-
088	Ponte universal termométrica com detector de nulo e dois termômetros de platina.	A	-	-	-
089	Registrador de temperatura de 0 a 75°C.	A	-	-	-
090	Paquímetro tipo universal, comprimento 150 mm, sensibilidade 0,001 mm.	A	B	C	-
091	Paquímetro tipo universal, medição de 600 m, bico de alcance 300 mm.	A	-	-	-
092	Permeabilímetro de Blaine, acondicionado em estojo de madeira.	A	B	-	-
093	Peneira seletora, com quadro de 50 a 120 cm.	A	-	-	-
094	Psicômetro portátil com registro giratório, com 2 termômetros sendo 1 combulbo seco e outro úmido, escala de 0 a 50°C.	A	B	-	-
095	Relógio comparador, com suporte, curso de 5 mm e sensibilidade 0,001 mm.	A	B	-	-
096	Relógio comparador, com suporte, curso de 50 mm e sensibilidade 0,001 mm.	A	B	-	-
097	Termômetro de resistência elétrica, com sensor de platina de 0 a 55°C.	A	-	-	-
098	Registrador X - Y1 - Y2 - com 2 penas.	A	-	-	-
099	Serra mecânica, para metais, com curso ajustável, com refrigeração.	A	-	-	-
100	Sistema calorimétrico de ensaio de elevação adiabática da temperatura do concreto, segundo método CRD-C-3-Corps of Engineers.	A	-	-	-
101	Secador de cabelo.	A	-	-	-
102	Soldadeira elétrica, tipo pistola.	A	-	-	-
103	Soldadeira elétrica, tipo pistola, com ponta fina.	A	-	-	-
104	Talha elétrica 1,5 HP, capacidade de 2,5 t, elevação de 6 m, carro motorizado para translação, comando elétrico.	A	-	-	-
105	Termo-higrógrafo para medição e registro simultâneo da temperatura e umidade relativa do ar com escalas de - 30°C a + 50°C e 0% a 100% UR.	A	B	-	-
106	Termômetros de resistência de platina.	A	-	-	-

107	Viscosímetro de cilindros coaxiais de 10 a 100.000 CP, com termômetro angular de 0 a 100°C.	A	-	-	-
108	Chave seletora.	A	-	-	-
109	Controlador secundário de temperatura.	A	-	-	-
110	Controlador primário de temperatura.	A	-	-	-
111	Caixa múltipla de acoplamento mútuo do controlador secundário com o primário.	A	-	-	-
112	Banho-maria com 6 bocas, medindo 50 X 34 X 14, com termostato regulável.	A	B	-	-
113	Estufa elétrica, com termostato regulável de 50 a 200°C, com dimensões de 50, 40 e 50 cm.	A	B	-	-
114	Placa aquecedora elétrica, com regulador de temperatura, com dimensões de 26 X 24 cm.	A	B	-	-
115	Aparelho compressômetro-expansômetro para módulo de deformação e coeficiente de Poisson - espécimes ϕ 15 X 30 cm.	A	B	-	-
116	Aparelho compressômetro-expansômetro para módulo de deformação e coeficiente de Poisson - espécimes ϕ 25 X 50 cm.	A	B	-	-
117	Aparelho compressômetro-expansômetro para módulo de deformação e coeficiente de Poisson - espécimes ϕ 45 X 90 cm.	A	B	-	-
118	Aquecedores contínuos e intermitentes, para aquecimento de água, modelo Tubular, de 1 kW.	A	-	-	-
119	Resistência elétrica 600 W.	A	-	-	-
120	Medidor de expansão equipado com relógio comparador com sensibilidade 0,01 mm e curso 10 m.	A	-	-	-
121	Fôrma metálica cilíndrica de ϕ 5 X 10 cm.	A	B	-	-
122	Fôrma metálica cúbica de ϕ 5 X 5 cm, tríplice.	A	B	-	-
123	Fôrma metálica cilíndrica de ϕ 15 X 30 cm.	A	B	C	D
124	Fôrma metálica cilíndrica de ϕ 25 X 50 cm.	A	-	-	-
125	Fôrma metálica cilíndrica de ϕ 45 X 90 cm.	A	-	-	-
126	Capeador de corpo de prova de argamassa ϕ 5 X 10 cm.	A	B	-	-
127	Capeador de corpo de prova de argamassa 5 x 5 x 5 cm.	A	B	-	-

128	Capeador de corpo de prova de argamassa ϕ 15 x 30 cm.	A	B	C	D
129	Capeador de corpo de prova de argamassa ϕ 25 X 50 cm.	A	-	-	-
130	Aparelho para ensaio de fôrma do agregado de acordo com o método CRD-C-119 Corps of Engineers.	A	B	C	-
131	Aparelho para medida do abatimento do concreto, com funil, base, haste, colher e escova.	A	B	C	D
132	Jogo de Proctor, com penetrômetro e agulhas.	A	B	C	-
133	Molde metálico para vigas 15 X 15 X 60 - D máximo 19 e 38 mm.	A	-	-	-
134	Molde metálico para vigas 25 X 25 X 100 - D máximo 76 mm.	A	-	-	-
135	Molde metálico para vigas 45 X 45 X 180 - D máximo 152 mm.	A	-	-	-
136	Espátula de aço inox 5 x 12 cm.	A	B	C	-
137	Tacho de chapa galvanizada - ϕ 28 ϕ 21 X 11 cm.	A	B	C	-
138	Molde para barras de argamassa de acordo com ASTM para 6 espécimes.	A	-	-	-
139	Parafusos para barras de argamassa ϕ 1", aço inox, cabeça arredondada e superfície lateral recartilhada.	A	-	-	-
140	Recipiente para armazenamento de barras de argamassa.	A	-	-	-
141	Escova de fios de latão fino.	A	B	C	-
142	Bandejas de chapa galvanizada - 40 X 25 X 5 cm.	A	B	C	-
143	Bandejas de chapa de aço - 60 X 100 X 10 cm.	A	B	C	-
144	Jogo de peneiras 50 x 50 cm nas bitolas 7", 6", 4", 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", fundo e tampo.	A	B	C	-
145	Jogo de peneiras 8" - nas bitolas 9,5; nº 4; nº 8; nº 16; nº 30; nº 50; nº 100 e nº 200 mm, com fundo e tampo.	A	B	C	-
146	Jogo de peneiras ϕ 8" - nas bitolas nº 100, 200 e 325.	A	B	-	-
147	Bocal para ensaio de peneiramento na nº 325	A	B	-	-
148	Jogo de cesto de arame não corrosível, para pesagens hidrostáticas - ϕ 10 X 20 cm, ϕ 15 X 20 cm e ϕ 20 X 20 cm.	A	B	C	-
149	Saco de lona capacidade de 20 litros.	A	B	C	-

150	Sistema de ar condicionado para escritório e laboratório com controle de umidade e temperatura, de acordo com dimensões do prédio do laboratório e especificações técnicas.	A	B	-	-
151	Coifas e exaustores para as salas de ensaio.	A	B	C	-
152	Bancadas e armários para as salas de ensaio.	A	B	C	-
153	Forno mufla, elétrico, para temperatura de até 1.200°C, com Pirômetro indicador e regulador, medidas 15 X 15 X 25 cm.	A	-	-	-
154	Fotômetro de chamas, equipado com galvanômetro e filtros para sódio e potássio.	A	B	-	-
155	Almofariz de porcelana com pistilo, ϕ h = 250 120 mm.	A	B	-	-
156	Almofariz de porcelana com pistilo, ϕ h = 190 90 mm.	A	B	-	-
157	Anel de ferro com mufa, ϕ 13 cm	A	B	-	-
158	Baqueta de vidro - Y comp. - 7 300 mm.	A	B	-	-
159	Barrilete para água destilada, com torneira, tampa de limpeza e abastecimento de PVC atóxico, capacidade 30 litros.	A	B	-	-
160	Bico de gás, tipo Bunsen, com torneira para gás engarrafado.	A	B	-	-
161	Cadinho de platina, capacidade 40 ml, ϕ h = 42 X 42 mm.	A	B	-	-
162	Cadinho de porcelana, capacidade de 30 ml.	A	B	-	-
163	Cápsula de platina, capacidade 150 ml, ϕ h = 86 X 37 mm.	A	B	-	-
164	Cápsula de porcelana, capacidade 350 ml, ϕ = 140 mm.	A	B	-	-
165	Cápsula de porcelana, capacidade 170 ml, ϕ = 105 mm.	A	B	-	-
166	Espátula de aço inox, meia cana, 15 cm.	A	B	-	-
167	Vidraría para ensaios químicos.	A	B	-	-
168	Materiais químicos (reagentes).	A	B	-	-



Figura 4.19 - Disposição Geral dos Equipamentos na Sala de Ensaios Químicos - Itapu

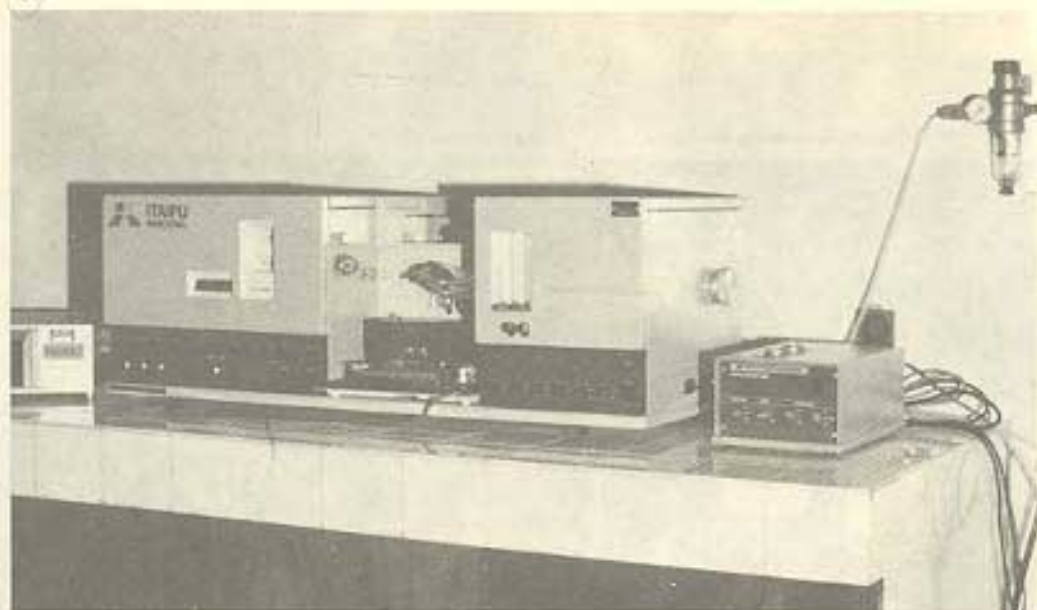


Figura 4.20 - Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Compressor, Registrador, Amostrador Automático. Determinação de Teores SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , Mn_2O_3

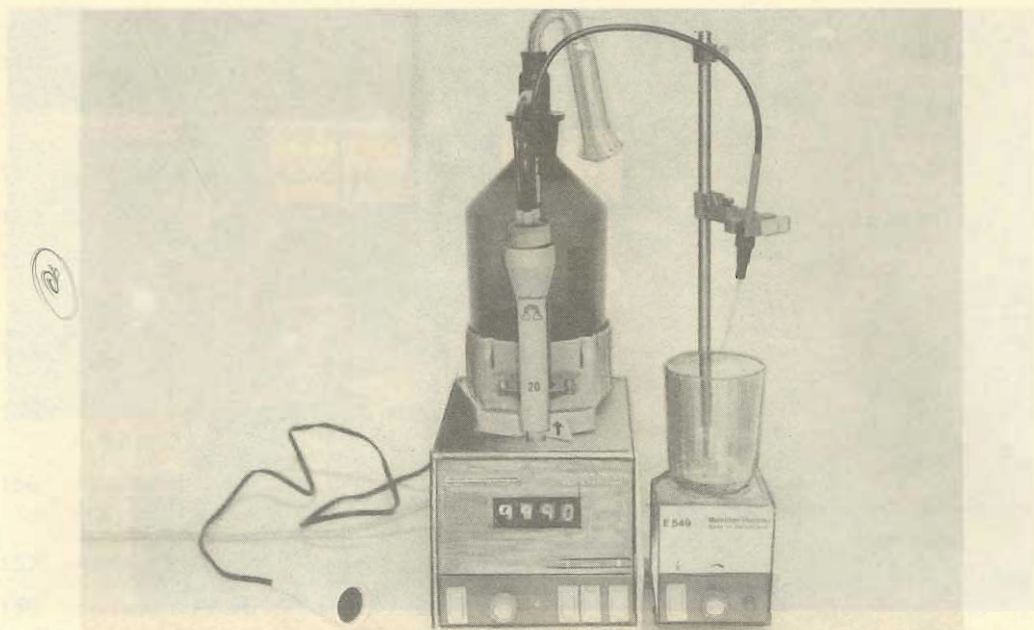


Figura 4.21 - Titulador Automático de Leitura Digital, com Agitador Magnético

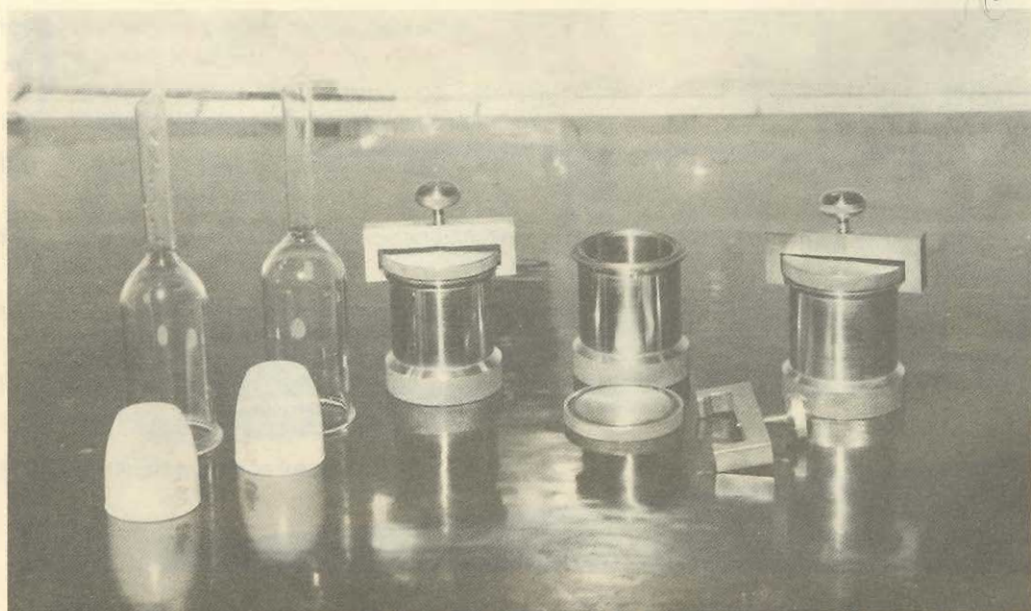


Figura 4.22 - Cadinhos, Funis e Recipientes para Ensaios de Reatividade Potencial, Álcalis-Silica

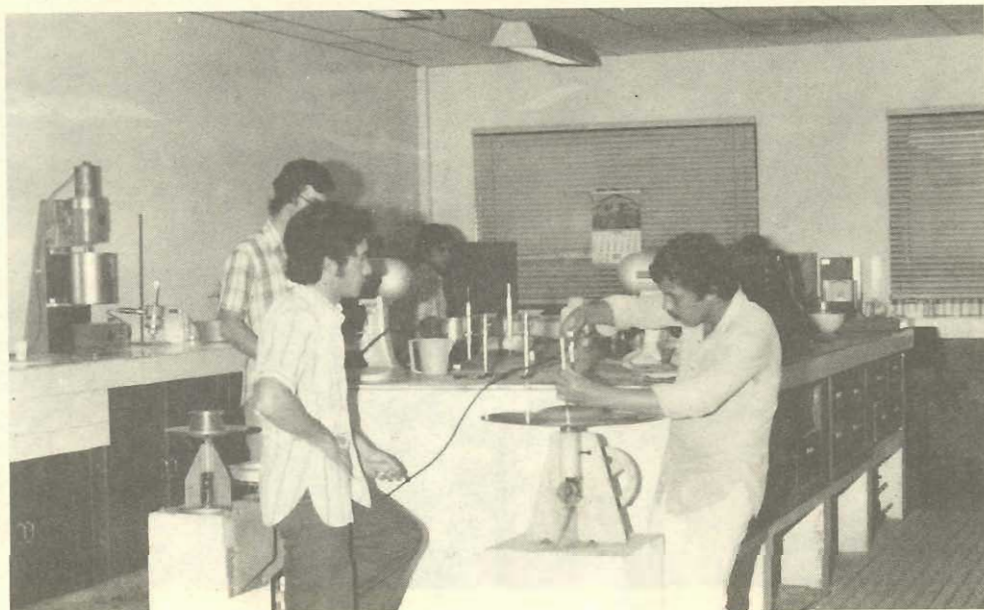


Figura 4.23 - Disposição Geral dos Equipamentos na Sala de Ensaio Físicos (Itaipu)

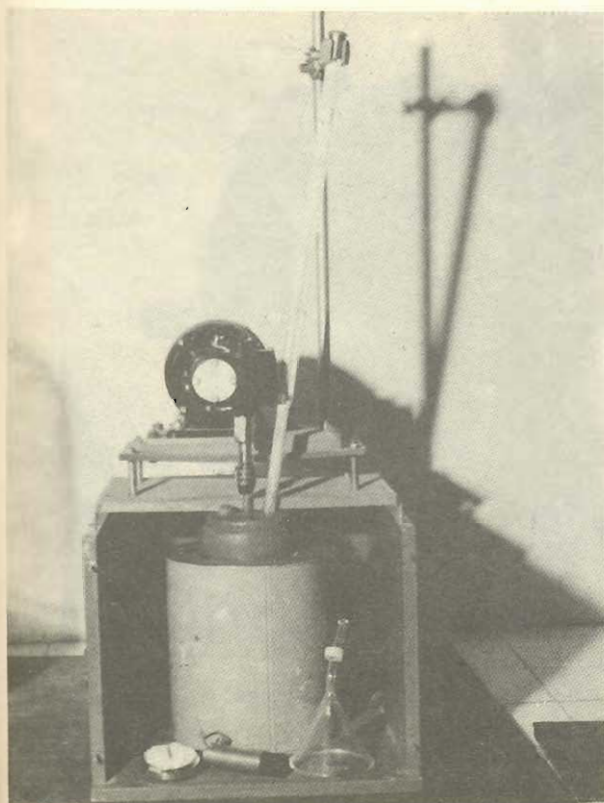


Figura 4.24 - Calorímetro, com Frasco de Dewar, Termômetro de Beckman, Agitador e Lupa, para Determinação do Calor de Hidratação de Aglomerantes



Figura 4.25 - Disposição dos Equipamentos na Sala de Ensaio de Agregados - Itaipu

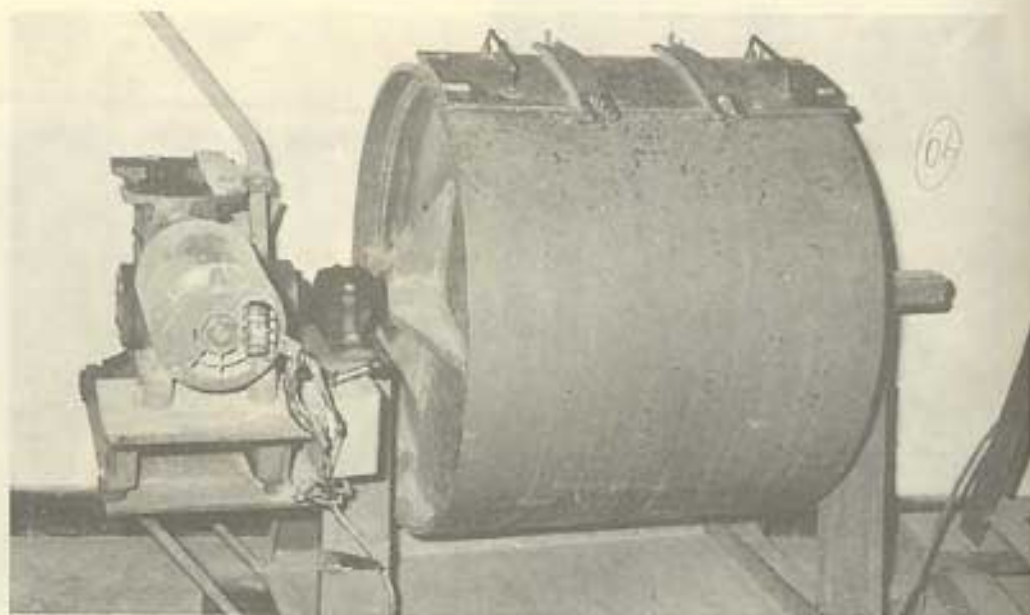


Figura 4.26 - Máquina para Ensaio de Abrasão "Los Angeles"



Figura 4.27 - Silos de Agregados e Aglomerantes - Sala de Dosagem - Itaipu

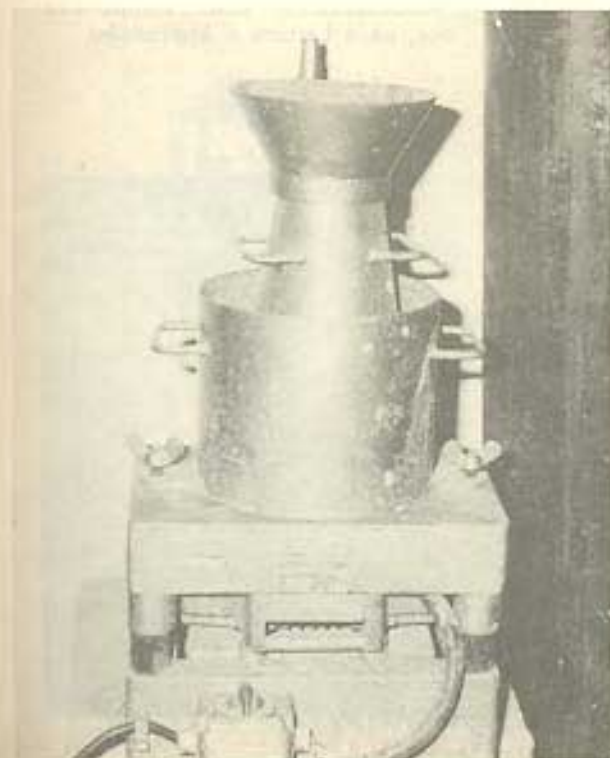


Figura 4.28 - Aparelho Consistômetro Vebe, com Cone Colar e Cilindro, para Medida de Consistência em Concretos de Abatimento - Zero

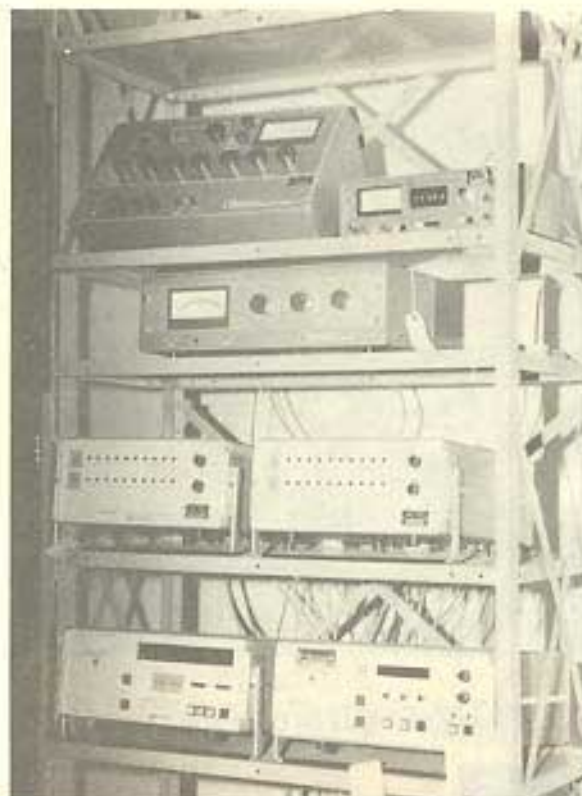


Figura 4.29 -

Conjunto de Aparelhos de Medição Eletrônica, composto de:

Acima

- . Ponte Termométrica para Termômetros com Sensores de Platina, com Sensibilidade de $1/10.000^{\circ}\text{C}$.

- . Ponte Termométrica com sensibilidade de $1/100^{\circ}\text{C}$

Melo

- . Detector de Nulos

- . Caixas (2) de Varreduras para 20 canais, com Seqüência Automática

Abaixo

- . Indicador de Deformação Estática

- . Automatizador com Temporizador, para Leitura e Impressão

Figura 4.30 - Câmara para Ensaio de Elevação Adiabática da Temperatura do Concreto - Itaipu



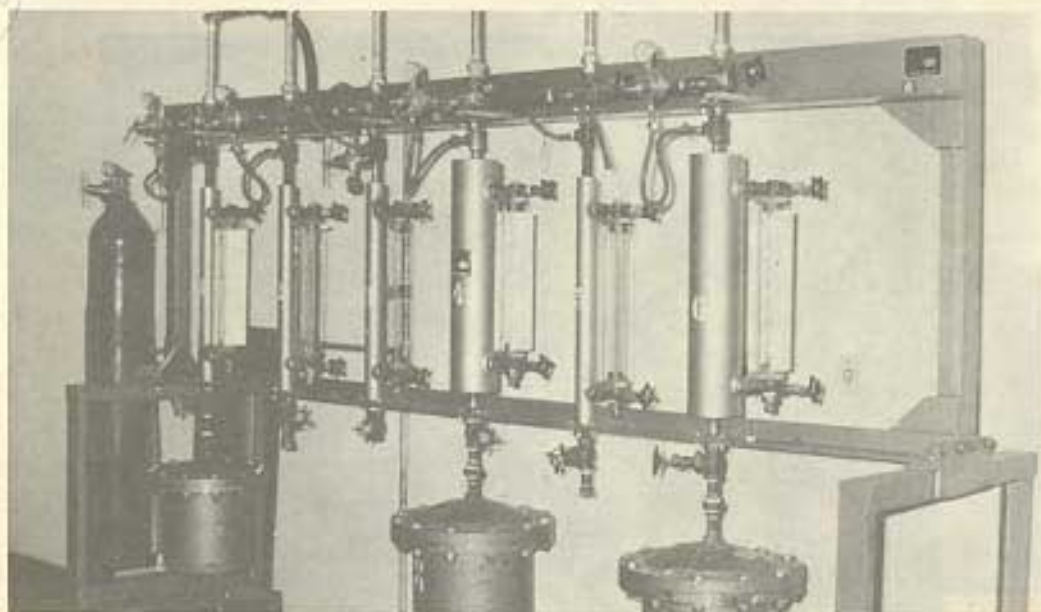


Figura 4.31 - Aparelho para Determinação da Permeabilidade do Concreto, com Reguladores de Pressão Tanques e Câmpulas Cilíndricas - Itaipu

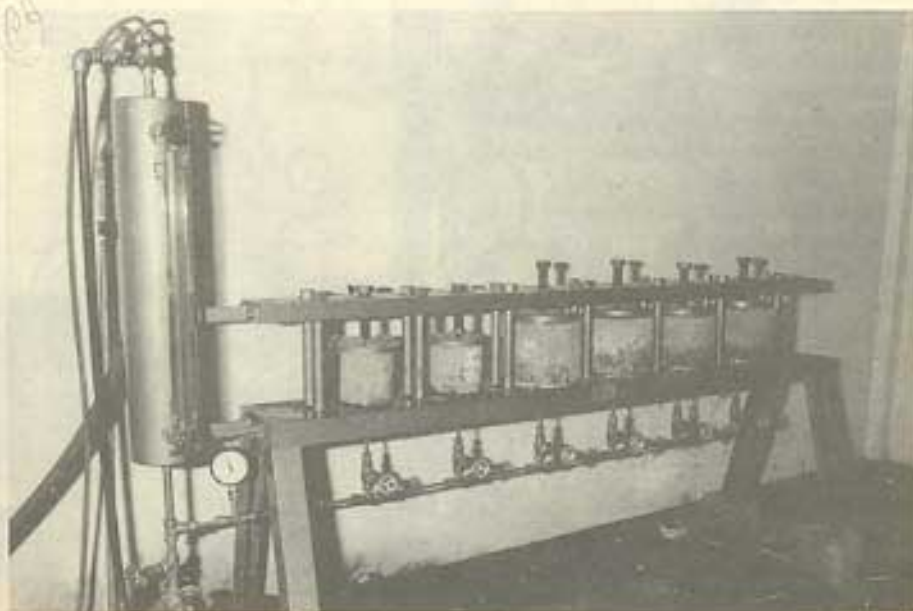


Figura 4.32 - Aparelho para Ensaio de Penetração de Água no Concreto - Itaipu

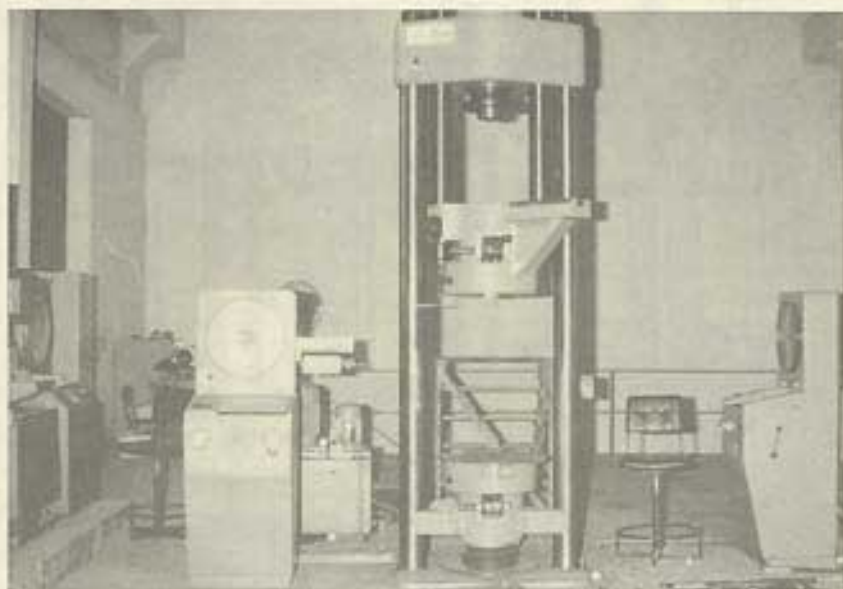


Figura 4.33 - Prensa Elétrica tipo Universal, com Sensores Eletrônicos
Capacidade 200tf
Ensaio, Compressão, Tração e Flexão - Itaipu



Figura 4.34 - Prensa elétrica para Tração e Alongamento de Elastômetro; Capacidade 2.000 kgf - Itaipu

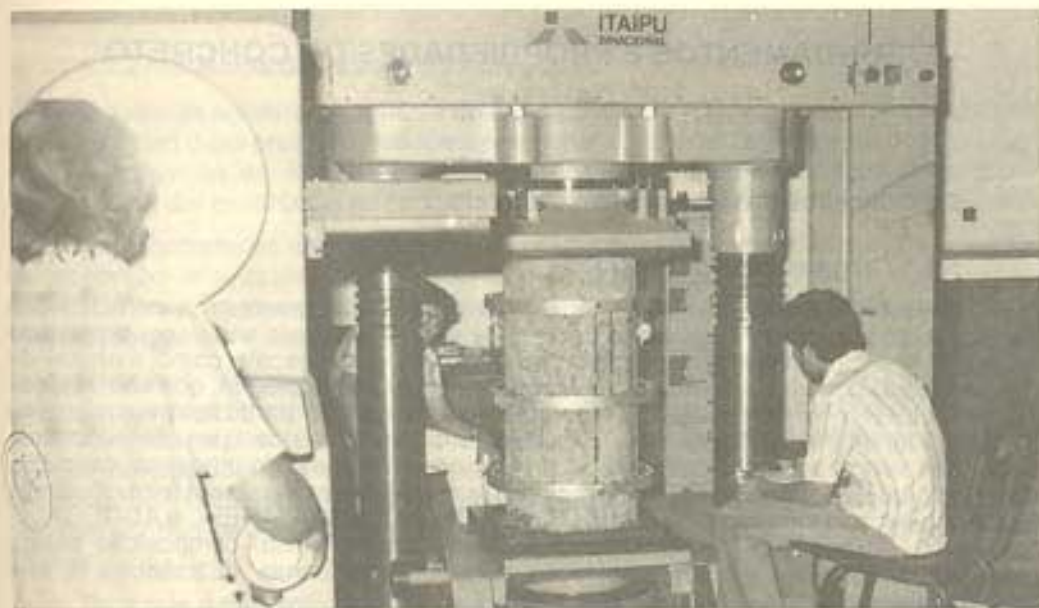


Figura 4.35 - Ensaios para Determinação do Módulo de Deformação de Concreto (Corpo de Prova 45 x 90 cm) - Itaipu



Figura 4.36 - Ensalo para Determinação dos Parâmetros Triaxiais do Concreto - Itaipu

5. FUNDAMENTOS E PROPRIEDADES DO CONCRETO

5.1 Conceitos Básicos sobre o Concreto

5.1.1 Composição do Concreto

O concreto é uma mistura de vários materiais que apresentam a característica de ser moldada, durante um certo período de tempo, e depois endurece, adquirindo propriedades mecânicas que permitem seu uso em larga escala como material de construção. O concreto é formado de um material aglutinante e água, que são responsáveis pelo seu endurecimento e por uma composição de partículas relativamente inertes, denominadas "agregados". Existem atualmente vários tipos de concretos, dependendo do material aglutinante, dos agregados e mesmo do processo executivo do lançamento do concreto. O tipo de maior aplicação e sobre o qual será feita referência neste capítulo é o formado pelo CIMENTO PORTLAND, ÁGUA, AREIA, e AGREGADO NATURAL ou BRITADO. Alternativamente, são incluídos nesta composição básica materiais pozolânicos e aditivos químicos para contornar certas deficiências ou melhorar a mistura básica.

As proporções destes materiais nas misturas de concreto são controladas de tal forma que se obtenha as seguintes condições:

- 1) no estado fresco, a massa seja trabalhável e moldável;
- 2) após o endurecimento, ela possua resistência e durabilidade de forma a atender os objetivos a que se propõe e
- 3) o custo final seja mínimo em conformidade com a qualidade desejada.

Na Figura 5.1 estão apresentadas esquematicamente as proporções dos materiais do concreto.

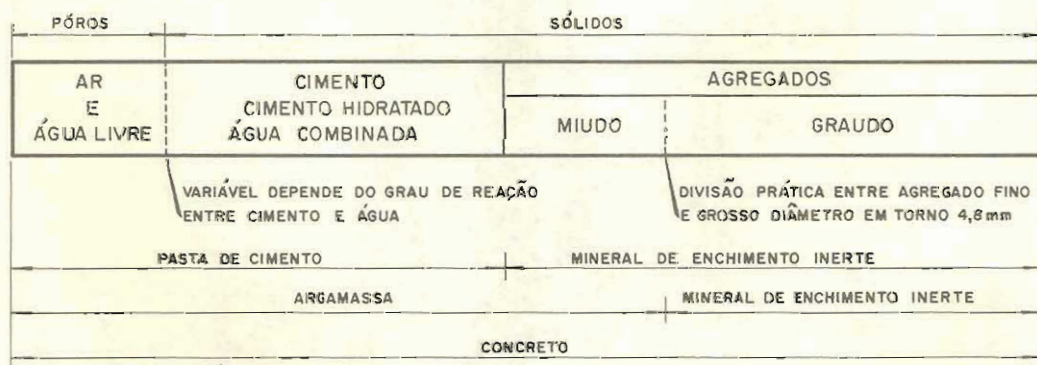


Figura 5.1 - Composição do Concreto

5.1.2 Influência da Pasta e do Agregado

O material aglutinante, a pasta de ÁGUA e CIMENTO, é o componente ativo do concreto e tem duas principais funções: preencher o vazio entre os agregados, promovendo lubrificação da massa fresca e plástica e a impermeabilidade do produto endurecido e dar resistência ao concreto no estado endurecido.

As propriedades da pasta endurecida dependem das características do cimento, da proporção relativa de água e cimento e de que haja uma completa combinação química entre a água e o cimento. Este processo é muitas vezes considerado como "hidratação", embora outros processos sejam envolvidos.

Para que haja a hidratação do cimento é necessário que haja presença de umidade, tempo e temperatura favoráveis. O momento em que se inicia o processo de endurecimento da pasta de cimento é denominado "início de pega". Este tempo varia de 45 a 60 minutos para o cimento Portland comum. O período durante o qual o concreto necessita ser submetido a condições favoráveis de temperatura e umidade é denominado de período de cura. O período de cura normalmente indicado se situa entre 14 e 28 dias.

Para que o concreto obtenha maior eficiência é desejável que na mistura fresca seja utilizado o mínimo de água possível, sem prejuízo da trabalhabilidade e, após o início do endurecimento, durante o período de cura, seja oferecido o máximo de água, durante o maior tempo possível.

O agregado tem três funções principais:

- Servir como um enchimento relativamente barato para o material aglomerante;
- Formar uma estrutura de partículas, que seja adequada para resistir à ação de cargas aplicadas, abrasão, à percolação da umidade e à ação do tempo;
- Reduzir as variações de volume resultantes do processo de pega e endurecimento e da variação de umidade na pasta de água e cimento.

As propriedades do concreto são influenciadas pelo tipo particular de agregado usado, como segue:

- A resistência, elasticidade, durabilidade e características térmicas dependem das características minerais das partículas do agregado.
- A trabalhabilidade do concreto fresco e a aderência dentro da massa endurecida dependem das características da superfície das partículas.
- A trabalhabilidade, densidade e economia da mistura dependem da graduação das partículas.
- A variação de volume devido à secagem e o custo dependem da quantidade de agregado no volume unitário do concreto.

5.1.3 Proporções dos Componentes do Concreto

No Capítulo 7 são apresentados procedimentos para se determinar a composição adequada dos materiais constituintes do concreto para se obter as características desejadas. Neste item é abordada a influência das proporções dos componentes de forma genérica.

As propriedades tanto da mistura fresca como do concreto endurecido estão intimamente associadas às características e proporções relativas dos componentes.

No concreto fresco o agregado está suspenso na pasta de cimento, desta forma deve haver uma quantidade de pasta não somente para cobrir os agregados, mas também para preencher os vazios entre eles. A consistência é controlada pela fluidez da pasta, pela quantidade de agregado em um volume unitário de pasta e pela graduação e forma das partículas do agregado. Para a maioria das aplicações é desejável uma consistência plástica em vez de uma mistura muito seca, muito úmida ou muito áspera, pois, nessas situações, poderá ocorrer segregação das partículas e conseqüentemente um produto de qualidade inadequada.

As propriedades do concreto endurecido, principalmente a resistência, são diretamente influenciadas pela relação de água para cimento, denominado fator água/cimento (A/C), da mistura original. Por essa razão, nos concretos usuais há limitações práticas para as proporções de cimento, água e agregados.

Nas Figuras 5.2 a 5.5 estão indicadas as proporções gerais de quatro grupos de misturas possíveis, todos com a mesma consistência, sendo que em dois grupos foi utilizado cascalho como agregado graúdo e em dois a pedra britada.

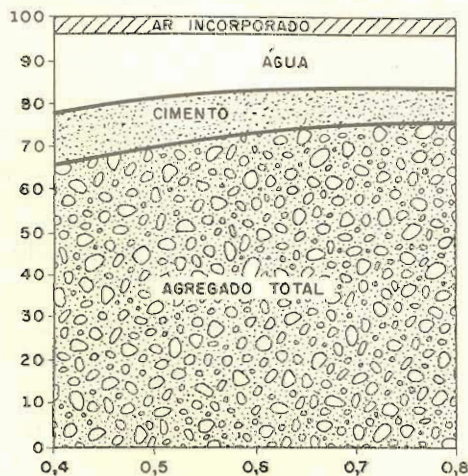


Figura 5.2 - Composição das misturas de concreto de consistência uniforme, com cascalho de D Máx. = 38 mm

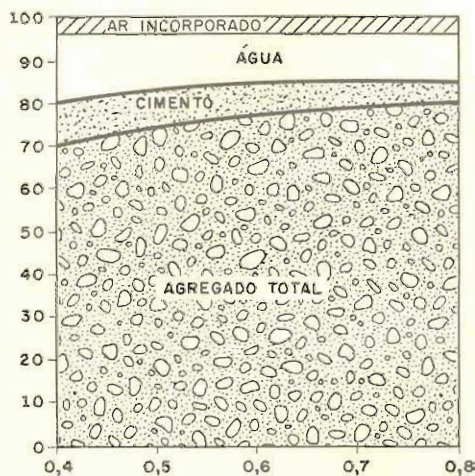


Figura 5.3 - Composição das misturas de concreto de consistência uniforme, com britas de D Máx. = 38 mm

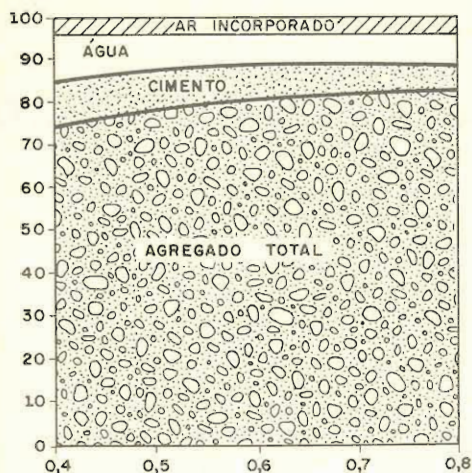


Figura 5.4 - Composição das misturas de concreto de consistência uniforme, com cascalho de D Máx. = 76 mm

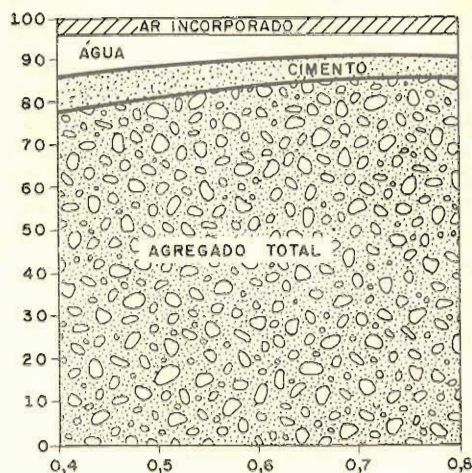


Figura 5.5 - Composição das misturas de concreto de consistência uniforme, com britas de D Máx. = 76 mm

Os diagramas mostram os volumes relativos dos materiais (cimento, água e agregados) para um volume unitário de concreto (o pequeno volume de vazios não está considerado).

Observa-se que o agregado ocupa a maior parte da massa, variando de 65 a 85% do volume total do concreto, enquanto o cimento varia de 4 a 12% do volume total da mistura, ou seja, há aproximadamente metade do volume de cimento nas misturas "pobres" em comparação com as misturas "ricas". No concreto massa, o volume de agregado é ainda maior e o de cimento, menor.

Quanto ao volume de água observa-se que há uma variação relativamente pequena para todas as misturas, variando de 17 a 19%. Essa importante característica pode ser utilizada para o ajuste da quantidade de cimento necessária, ou seja, trocando-se um volume sólido igual de agregado fino por cimento e mantendo-se a quantidade de água constante, é praticamente mantida a consistência da mistura (ver Capítulo 7).

5.1.4 Influência da Qualidade da Pasta nas Propriedades do Concreto

A pasta de cimento tem sido caracterizada como o elemento ativo no concreto. O comportamento do concreto depende praticamente das propriedades da pasta, desde que os agregados minerais sejam de qualidade satisfatória. Normalmente são encontrados agregados saudáveis e resistentes sem grande dificuldade.

A resistência e porosidade da pasta para um determinado concreto dependem quase exclusivamente da relação água-cimento.

Considerando misturas plásticas trabalhistas, observa-se que quanto menor é a relação água-cimento maior será a resistência e a impermeabilidade. Na Figura 5.6 está

ilustrado esse comportamento. A resistência também aumenta com o tempo decorrido desde o início da mistura dos materiais componentes. Esse fenômeno, ilustrado na Figura 5.7, continua até que a reação do cimento se complete. Para os concretos convencionais a resistência à compressão é convencionalmente determinada aos 28 dias. O tempo decorrido entre o início da mistura e o momento da determinação da resistência à compressão é denominado "idade" do concreto. Para concreto com alto fator água-cimento, e principalmente naqueles onde são utilizados materiais pozolânicos, as idades de controle são bem maiores, chegando até a um ano. Para as resistências à tração e à flexão, o comportamento é semelhante ao da resistência à compressão.

A durabilidade, ou resistência ao intemperismo, depende da resistência e impermeabilidade.

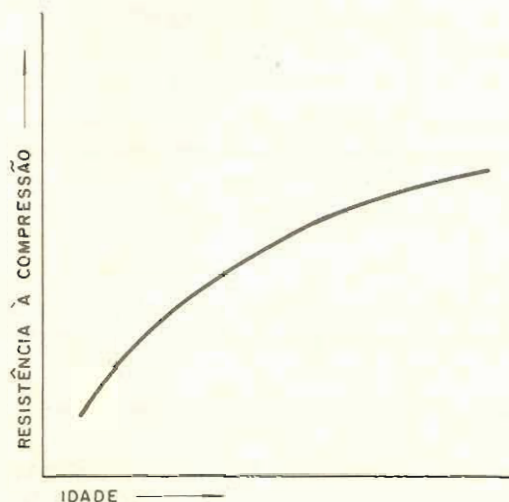


Figura 5.6 - Variação da resistência à compressão do concreto com o fator A/C

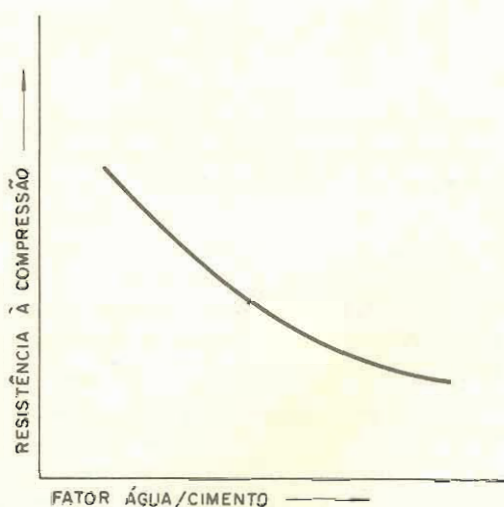


Figura 5.7 - Variação da resistência à compressão com a idade

É evidente que outras propriedades, as quais são afetadas pela estrutura da pasta, serão influenciadas pela relação água-cimento. Por exemplo, a retração da pasta devido à secagem é maior quanto maior for a relação água-cimento. A variação de volume do concreto, entretanto, depende tanto da qualidade como da quantidade da pasta; em certos casos a retração por secagem devido ao aumento da relação água-cimento pode ser reduzida aumentando-se a quantidade de agregados.

A relação água-cimento é utilizada como um indicador da qualidade potencial do concreto.

5.1.5 Fabricação do Concreto

A produção do concreto é um processo de fabricação, embora muitas vezes as instalações sejam provisórias e o produto seja feito em canteiros de obras. Nos grandes centros, o concreto é produzido em instalações fixas e transportado para o local da construção. Em qualquer caso os problemas de qualidade dos materiais, da organização do pessoal, do controle de qualidade e econômicos, são semelhantes aos que ocorrem em qualquer outro processo de fabricação.

Como responsável pelo processo de fabricação, nas suas várias fases, é recomendável um engenheiro ou seus assistentes técnicos, tanto no caso de a operação ser de responsabilidade do Proprietário ou Construtor. Ele deve conhecer como preparar especificações para selecionar os materiais para a betonada, mistura, lançamento, inspeção e teste do produto.

O problema principal do engenheiro é como obter um produto satisfatório a um custo razoável. Um concreto satisfatório é aquele que tem propriedades necessárias e adequadas, tais como trabalhabilidade no concreto fresco e uniformidade, resistência, impermeabilidade, durabilidade e volume constante no concreto endurecido.

Para se obter um concreto de adequada qualidade não é suficiente estabelecer uma relação água-cimento para uma determinada resistência ou outras propriedades, pois se a trabalhabilidade não for adequada o lançamento do concreto não pode ser adequado. Se a mistura for muito seca ou muito áspera, para uma determinada condição de lançamento, inevitavelmente ocorrerão "bicheiras". Se a mistura for muito úmida haverá segregação o que também implicará em "bicheiras". Da mesma forma, de nada adianta projetar uma pasta impermeável se no concreto houver "bicheiras" ou fissuras, o que o tornará permeável. Concluindo, para que haja uma segurança da obtenção de um concreto com a qualidade adequada é necessário que se faça um balanceamento dos vários fatores envolvidos na sua fabricação, lançamento, compactação e cura.

Na Figura 5.8 está apresentado um sumário dos fatores envolvidos na produção de um concreto de boa qualidade.

CONCRETO ADEQUADO			
SELEÇÃO DE MATERIAIS	CONTROLE DA PRODUÇÃO	PROPRIEDADES CONTROLADAS	CUSTO
TIPO (QUALIDADE) QUANTIDADE PROPORÇÃO UNIFORMIDADE	BETONADA MISTURA TRANSPORTE LANÇAMENTO COMPACTAÇÃO ACABAMENTO CURA	TRABALHABILIDADE UNIFORMIDADE RESISTÊNCIA DURABILIDADE IMPERMEABILIDADE CONSTÂNCIA VOLUME DENSIDADE ETC...	MATERIAIS MÃO-DE-OBRA EQUIPAMENTOS

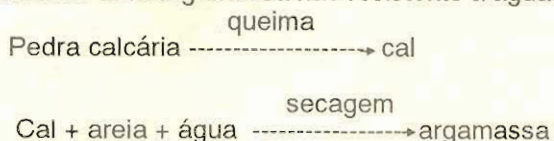
ENSAIOS PARA CONTROLE E INSPEÇÃO

Figura 5.8 - Fatores envolvidos na produção de Concreto

5.2 Conceitos Básicos dos Materiais

5.2.1 Cimento Portland

Para os objetivos de uma construção o cimento é um material que após a sua reação é capaz de desenvolver propriedades coesivas e adesivas, tornando possível unir fragmentos minerais, compondo assim uma massa compacta. O cimento é pesquisado através dos tempos desde os romanos, os quais, inicialmente, empregaram a cal (CaO), obtida do aquecimento da pedra calcária (CaCO_3), misturada com areia e água, produzindo uma argamassa não resistente à água.



Foram os romanos, ainda, que deram um importante avanço na pesquisa e qualidade do cimento quando introduziram na pasta de cal e água, a pozolana e produziram uma argamassa resistente à água. Essa importante característica foi devida à presença de sílica na pozolana.



Esse tipo de ligante, denominado hidráulico, sofreu alguns avanços nos séculos XVII e XVIII, sendo o mais importante o desenvolvido pelo inglês Joseph Aspdin, que, em 1824, fez uma mistura de cálcio e sílica e calcinou para obtenção do cimento Portland. O nome de Portland surgiu em função de ele ter usado uma pedra calcária semelhante à existente na ilha de Portland.

Quimicamente, o cimento Portland é composto, além do cálcio e sílica, de elementos secundários como o alumínio, ferro, magnésio, enxofre, sódio, potássio. A proporção desses elementos deve ser rigorosamente controlada durante a fabricação do cimento, pois cada um tem influência característica no comportamento do cimento.

O cimento Portland é uma substância pulverulenta, apresentando usualmente uma cor cinza ou cinza-clara. O diâmetro das partículas varia de 0,5 micron até 80 microns, sendo que nos cimentos atuais a maior parte delas passam na peneira nº 200 (74 microns). O peso específico do cimento varia entre 3,12 e 3,20. O cimento é fornecido no Brasil (em sua maior parte) em sacos de 50 kg e excepcionalmente oferecido a granel. A densidade solta do cimento depende de seu estado de compactação, e quando ensacado adota-se normalmente o valor de $1,25 \text{ g/cm}^3$.

Quando colocados em contato o cimento Portland e a água, uma série de reações químicas é iniciada. Geralmente, essas reações são descritas como um processo de hidratação do cimento, entretanto, esse processo de hidratação envolve muito mais do que a união de moléculas de água (ou íon OH) aos compostos originais do cimento. Embora sejam formados alguns hidratos simples, como, por exemplo, Ca(OH)_2 , ocorre um processo complexo de dissolução e precipitação, implicando em uma reorganização dos compostos originais do cimento para formarem novos compostos hidratados. Cada

componente do cimento apresenta velocidade de reação diferente. Em condições favoráveis de temperatura e com a contínua presença de água, nos concretos usuais, algumas reações necessitam de um grande período de tempo para se completar; em alguns casos, vários anos.

A velocidade de endurecimento, as resistências atingidas, durabilidade e outras propriedades são influenciadas preponderantemente pela proporção relativa dos componentes essenciais e pela finura com a qual o cimento é moído. O desenvolvimento de propriedades adequadas é também influenciado pelas condições ambientais (temperatura e disponibilidade de água) durante o processo de endurecimento. Em condições adequadas, o cimento Portland comum pode atingir resistência à compressão de 400 kgf/cm².

5.2.2 Agregados

5.2.2.1 Conceitos Básicos

O agregado mineral é utilizado como um material de enchimento, relativamente inerte, no concreto. Como ele ocupa um volume considerável na mistura do concreto, deve ser dedicada especial atenção na sua seleção e preparo, para que seja obtido um concreto durável. Os requisitos gerais que devem ser levados em consideração na escolha dos agregados são a economia da mistura, a resistência potencial de endurecimento da massa e a durabilidade da estrutura de concreto.

A graduação é uma importante característica do agregado para concreto. Deve existir uma graduação do agregado fino até o grão, de tal forma que haja um embricamento das partículas, formando assim uma massa compacta. No concreto fresco a graduação das partículas tem uma influência marcante na trabalhabilidade do concreto, sendo que, para se obter a trabalhabilidade ótima, a graduação é um pouco menor do que aquela que, teoricamente, seria a indicada para produzir um concreto com a máxima densidade.

A graduação influencia também a economia e a resistência do concreto. Em geral, um concreto é mais econômico à medida que se consiga aumentar o volume de agregado em um determinado volume de concreto. Por outro lado, com uma graduação adequada do agregado, é possível obter um concreto trabalhável com uma menor quantidade de água e conseqüentemente uma mistura mais resistente.

Para se obter um concreto durável é importante que:

- O agregado seja resistente às variações ambientais;
- Que não haja nenhuma reação desfavorável entre o agregado mineral e os componentes do cimento e
- Que o agregado não contenha impurezas que venham afetar a resistência e o comportamento da pasta do cimento.

Com certos agregados pode ocorrer uma integração benéfica entre a pasta de cimento e o agregado, na sua superfície, melhorando as condições de aderência. Há agregados, entretanto, que podem reagir com os componentes do cimento, desenvolvendo forças expansivas, dentro da massa do concreto que podem causar uma desintegração parcial ou total do concreto.

Outras características que devem ser levadas em consideração são aquelas exigidas em concretos para aplicações específicas tais como:

- Agregado pesado, utilizado em reatores atômicos;
- Agregado leve e o agregado para áreas sujeitas a abrasão.

Nesses casos particulares, os agregados são selecionados de forma a obter no concreto as qualidades desejadas.

Em resumo, para se selecionar e caracterizar agregados para uso no concreto é necessário o conhecimento de três grupos de propriedades:

- Primeiro grupo: determinação das características físicas dos agregados que serão utilizados no cálculo da proporcionalidade das misturas.
- Segundo grupo: inclui as propriedades que podem afetar a durabilidade do concreto.
- Terceiro grupo: compreende as propriedades para se obter qualidades especiais.

5.2.2.2 Características Gerais

Os agregados podem ser classificados genericamente em função da fonte de obtenção da sua composição mineralógica, pela forma que ele é preparado ou pelo diâmetro das partículas. Tais classificações servem como ajuda para se familiarizar com os tipos de agregados e para identificar lotes específicos.

Com relação às fontes de obtenção, os agregados podem ser classificados como natural e artificial, isto é, as partículas que compõem os agregados podem ser obtidas diretamente da jazida por um processo natural ou podem ser obtidas por algum processo industrial. Como exemplo de agregado natural tem-se as areias naturais e cascalho existentes nos leitos dos rios, os quais necessitam apenas de peneiramento para seu uso em concreto, ou a pedra britada, que é obtida da britagem e peneiramento de rocha natural. O agregado natural pode ser obtido de qualquer tipo de rocha: ígnea, sedimentar ou metamórfica. Entretanto, nem todas as variedades desses grupos geológicos são satisfatórias para uso em concreto. A durabilidade de certos tipos de agregado é drasticamente afetada pela presença de certos tipos de argilo-minerais em sua estrutura, como aqueles do grupo das nontronitas, monte-morilonitas etc, que, quando submetidas a intempéries, expandem, desenvolvendo tensões e, conseqüentemente, desagregação do material (Figura 5.9 e Figura 5.10). Dependendo da concentração e do tipo de argilo-mineral, a desagregação pode ocorrer em poucas horas após a exposição [5.1].

Com base na análise petrográfica e ensaios de desagregabilidade, tem-se uma idéia da durabilidade do material.

Normalmente, material desagregável não é utilizado como agregado para concreto massa ou estrutural. Entretanto, tem-se observado [5.1] que basaltos altamente desagregáveis quando protegidos das intempéries (cobertos com lona, por exemplo) não apresentam alterações. Estudos realizados nos laboratórios da CESP (Companhia Energética de São Paulo) [5.2] com basaltos altamente desagregáveis mostram que esse tipo de material, quando protegido pela argamassa de cimento, pode permanecer estável (ver Figuras 5.11 e 5.12), o que indica um possível aproveitamento em concreto

massa. Essas conclusões devem, entretanto, ser acatadas com certo resguardo, pois não se tem uma comprovação da aplicação desse tipo de material, devendo sua utilização ser precedida de estudos do comportamento do próprio concreto.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração na definição do aproveitamento desse material como agregado para concreto é que ele tem de ser protegido das intempéries durante toda a fase de beneficiamento e estocagem, até sua aplicação no concreto.



Figura 5.9 - Basalto submetido ao ensaio de imersão em etileno glicol. Obra de Porto Primavera

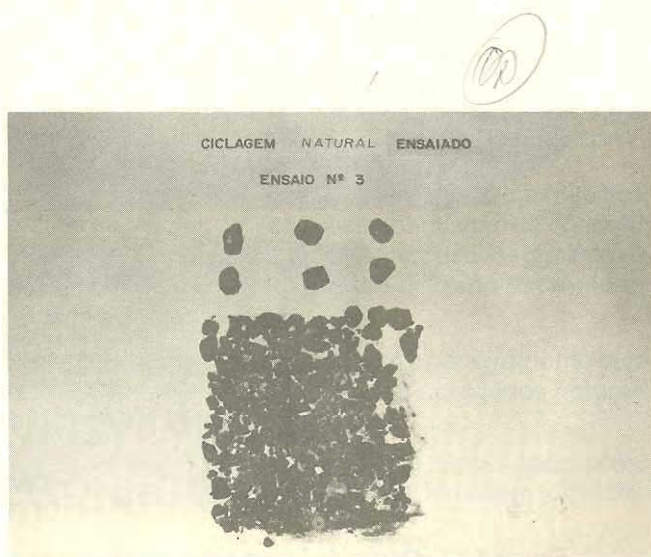


Figura 5.10 - Mesmo Basalto submetido a Ensaio de Ciclagem Natural

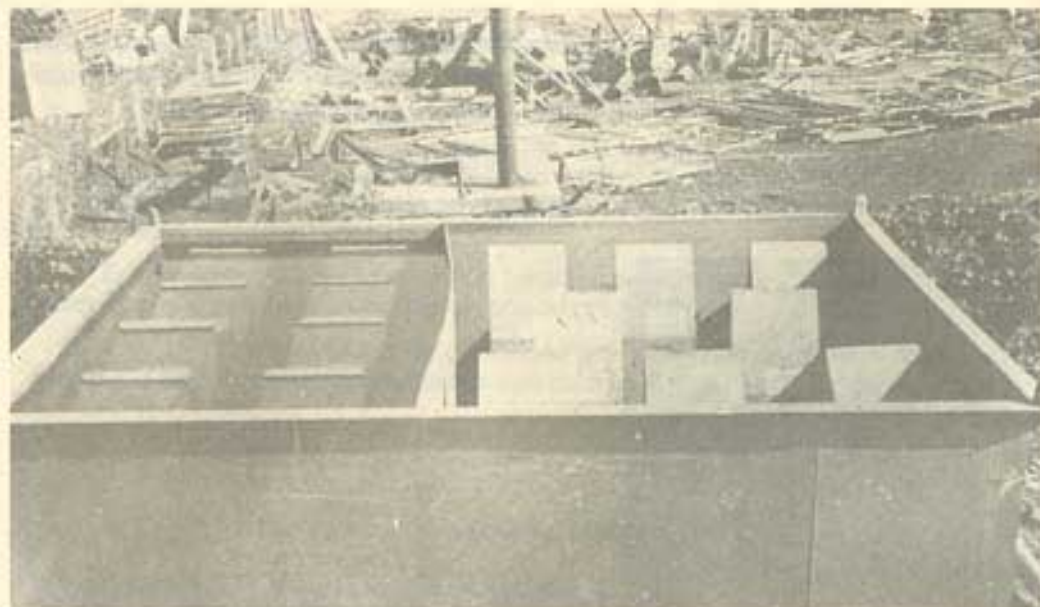


Figura 5.11 - Blocos de concreto feitos com basalto desagregável de Porto Primavera e submetido: a) Esquerda da foto: imerso em água
b) Direita da foto: sujeito à variação do nível da água



SECAGEM/MOLHAGEM

CP 17352

$B_1 + B_2 + B_3 + B_4$

P. PRIMAVERA

A/Ceq 0,850

Figura 5.12 - Corpo de prova extraído de blocos da Figura 5.11 submetido à variação do nível da água, após um ano de exposição

Alguns tipos de agregados podem apresentar-se quimicamente reativos aos álcalis (Na_2O ou K_2O) existentes no cimento.

Em consequência dessa reação são observadas expansões e fissuras no concreto fabricado com esse tipo de material. Essa reação é lenta, podendo demorar de 30 a 40 anos [5.3] o que torna difícil sua simulação para se avaliar a qualidade do material.

Recomenda-se a análise petrográfica e a realização de ensaios de reatividade através de barras de argamassa e método químico. Nas Figuras 5.13 e 5.14 está ilustrado um ensaio de longo período executado no laboratório de Ilha Solteira [5.4].



Figura 5.13 - Situação de um bloco de concreto com 6 anos de idade, moldado com agregado pyrex e cimento com álcalis de 0,97% (Laboratório de Ilha Solteira), sem pozzolana

Os agregados artificiais são usualmente produzidos para um objetivo específico, tais como agregado de argila expandida ou pelotas de isopor para fabricação de concreto leve. Pode ocorrer, entretanto, a obtenção de agregado natural para uso específico no concreto, como a magnetita para fabricação de concreto pesado utilizado em reatores atômicos.

Os agregados naturais normalmente necessitam de lavagem e peneiramento para uso, ou até mesmo de britagem. Excepcionalmente, são utilizados agregados naturais explorados diretamente de jazidas dos leitos dos rios.

O agregado com diâmetro menor que 4,76 mm (# nº 4) é classificado como agregado miúdo ou areia. Entretanto, algumas areias comerciais fornecem diâmetro menor.

Freqüentemente, para uso em concreto estrutural, o agregado graúdo é fornecido em duas faixas granulométricas: de 4,76 mm até 19 mm e 19 mm até 38 mm. Alguns agregados comerciais são encontrados em duas faixas, tais como: 4,76 mm até 25 mm e 25 mm até 50 mm. Para o concreto massa são utilizados agregados de até 152 mm,

distribuídos em 4 faixas, ou seja: 4,76 mm até 19 mm, 19 mm até 38 mm, 38 mm até 76 mm e 76 mm até 152 mm.

O agregado para uso em concreto deve ser limpo, duro, resistente, durável, inócuo e ter granulometria adequada, sendo que essas características devem ser suficientemente investigadas a fim de se obter dados para selecionar o material adequado para concreto. Para conhecimento de cada uma dessas características têm sido desenvolvidos ensaios, os quais serão comentados nos capítulos seguintes.



Figura 5.14 - Situação de um bloco de concreto com 6 anos de idade, moldado com cascalhos de ágata, calcedônia, quartzo e cimento com álcalis de 1,05% (Laboratório de Ilha Solteira), sem pozolana

5.2.3 Água

5.2.3.1 Água de Mistura

A água usada nas misturas de concreto não deve conter nenhuma substância nociva à resistência ou à durabilidade do concreto. Água potável é satisfatória para uso como água de mistura no concreto. Águas não permitidas para uso público devem ser ensaiadas antes de sua aplicação em mistura de concreto. Pequenas quantidades de impurezas podem ser toleradas.

As principais substâncias que podem afetar a qualidade da água para concreto são siltes, óleo, ácidos, álcalis ou sais de álcalis, matéria orgânica, etc.

A ABNT (ver Capítulo 7) estabelece limites de tolerância para algumas substâncias nocivas existentes na água. Uma forma prática para se verificar o efeito da qualidade da água no concreto é através do ensaio de qualidade em argamassas, no qual é comparada a performance de uma argamassa-ensaio, produzida com a água que se quer avaliar, com uma argamassa-padrão produzida com a água de qualidade comprovada. A água do mar normalmente não é recomendada para se usar em concreto devido à possibilidade de corrosão do aço da armadura.

5.2.3.2. Água para Lavagem de Agregados

O efeito mais importante de se utilizar água impura na lavagem de agregados é de causar depósitos ou cobrir as partículas com siltes, sais ou matéria orgânica.

5.2.3.3 Água para Cura do Concreto

A presença de silte, óleo ou moderada quantidade de sais na água de cura não deve apresentar efeitos desfavoráveis, a não ser do ponto de vista da descoloração. Entretanto, águas contendo ácidos ou substâncias orgânicas devem ser submetidas a investigações.

5.2.4 Aditivos

Aditivos são substâncias introduzidas nas misturas de concretos ou argamassas com a finalidade de melhorar certas propriedades da mistura básica ou evitar algumas deficiências que não são possíveis de contornar com os materiais básicos. Os aditivos são usualmente utilizados com os seguintes objetivos:

- Melhorar a trabalhabilidade;
- Retardar a pega;
- Acelerar a pega e conseqüentemente o endurecimento;
- Melhorar a durabilidade.

Outros aditivos são utilizados, com menos freqüência, cujos objetivos são os seguintes:

- Reduzir a água da mistura;
- Melhorar a cura;
- Melhorar a impermeabilidade do concreto;
- Causar expansão do concreto;
- Alterar a cor;
- Outros.

Alguns aditivos são práticos e eficientes para se obter os objetivos desejados, porém podem ocorrer casos em que o seu uso não seja plenamente justificável. Para se decidir sobre o uso ou não de determinado aditivo alguns fatores devem ser levados em consideração, como:

- A possibilidade de se obter o resultado desejado com uma pequena modificação da mistura básica.
- A comparação entre o custo adicional do aditivo em relação ao custo adicional de uma modificação da mistura básica.
- Possíveis efeitos colaterais do aditivo nas demais propriedades do concreto.

Alguns aditivos podem servir para mais do que um objetivo. Existem inclusive produtos comerciais com esse comportamento, como, por exemplo, o aditivo redutor de água pode ser também incorporador de ar.

Algumas recomendações básicas para se definir o uso de determinado aditivo são as seguintes:

- Como a quantidade é de grande importância, os equipamentos utilizados na sua determinação devem ser de grande precisão.
- Deve ser determinada a influência dos aditivos tanto nas propriedades do concreto fresco como do endurecido e utilizando-se nas misturas de ensaios os materiais que realmente serão aplicados na obra.
- Como os efeitos de um aditivo variam com o tipo de cimento, relação água-cimento, temperatura de mistura, temperatura ambiente e outras condições de trabalho, é recomendável que as proporções dos aditivos sejam ajustadas nas condições de trabalho.
- Alguns aditivos apresentam alterações de suas características com o decorrer do tempo e portanto é necessário um acompanhamento efetivo de seu comportamento no período.

Existe um grande número de aditivos no mercado para os diversos objetivos pretendidos.

O objetivo deste texto é de apresentar algumas informações básicas. Para uma aplicação específica, deve ser consultada também uma literatura técnica, as recomendações da ABNT e dos Capítulos 7 e 8.

5.2.4.1 Aditivos Redutores de Água e Retardadores de Pega

Os aditivos redutores de água são normalmente materiais orgânicos usados para melhorar a qualidade do concreto, obtendo-se a resistência requerida com uma menor quantidade de cimento, ou aumentam a trabalhabilidade sem aumentar o conteúdo de água. Esses aditivos são apropriados para uso em concretos bombeados ou lançados em condições adversas.

Os aditivos retardadores de pega atrasam a pega inicial e o endurecimento do concreto, com uma pequena redução na quantidade de água. Eles são usados de preferência para evitar o perigoso efeito de acelerar a pega devido a altas temperaturas ou demora no lançamento e para manter o concreto trabalhável durante o período de lançamento.

No Capítulo 8 apresentam-se recomendações para o controle e limitações desse tipo de aditivo.

Esses aditivos podem ser encontrados em pó ou na forma líquida. Quando fornecido em pó ele pode ser misturado preferencialmente com o agregado fino ou dissolvido na água, se for o caso. Os aditivos líquidos devem ser misturados com a água, antes da mistura, e nunca com o cimento.

Alguns materiais apresentam ações variáveis, podendo agir como retardadores de pega quando usados com um tipo de cimento e agir como aceleradores de pega misturados com outros tipos de cimento. Também alguns materiais podem agir como retardadores ou aceleradores de pega, dependendo da quantidade utilizada, ou até mesmo impedir o endurecimento do concreto.

Em função disso, grande cuidado deve ser tomado antes do emprego desse aditivo, e experiências e testes devem ser conduzidos antes do emprego em algum serviço. Recomendam-se as indicações do Capítulo 8.

5.2.4.2 Aditivos Incorporadores de Ar

Este tipo de aditivo tem a propriedade de introduzir pequenas bolhas de ar na massa do concreto, as quais irão produzir vazios esféricos uniformemente distribuídos na estrutura do concreto endurecido. Este aditivo foi pesquisado e desenvolvido tendo como objetivo principal melhorar a resistência do concreto contra a ação do gelo e degelo, entretanto outras propriedades do concreto são alteradas.

A aeração da massa do concreto pode ser obtida através de duas maneiras: por meio do uso de um agente espumoso, que é introduzido durante a mistura do concreto, ou através de um agente que reaja (com constituintes presentes no cimento), produzindo gás.

No Capítulo 8 apresentam-se algumas recomendações para se definir a qualidade deste tipo de aditivo, bem como requisitos físicos para determinadas propriedades do concreto nas quais o incorporador de ar foi utilizado.

De forma geral, os efeitos causados pela introdução de ar no concreto são o aumento da trabalhabilidade, redução da resistência, redução da densidade, redução da exsudação, aumento da impermeabilidade e aumento da durabilidade. Apesar de reduzir certas qualidades do concreto, seu uso pode ser efetivamente vantajoso em determinadas aplicações.

Atualmente estes aditivos têm aplicações mais amplas do que melhorar a resistência ao gelo e degelo, mesmo em concreto estrutural. Principalmente no concreto massa, onde é aplicado em larga escala devido a suas propriedades de redução de exsudação, aumentar a impermeabilidade e melhorar as condições de lançamento.

Existem dois tipos de aditivos que são a resina vinsol e outro denominado de sintético. Na Figura 5.15 apresenta-se a porcentagem de ar incorporado (em relação ao volume sólido total do concreto), em função da porcentagem de aditivo (em relação ao peso de material aglomerante) para vários tipos de concreto [5.5].

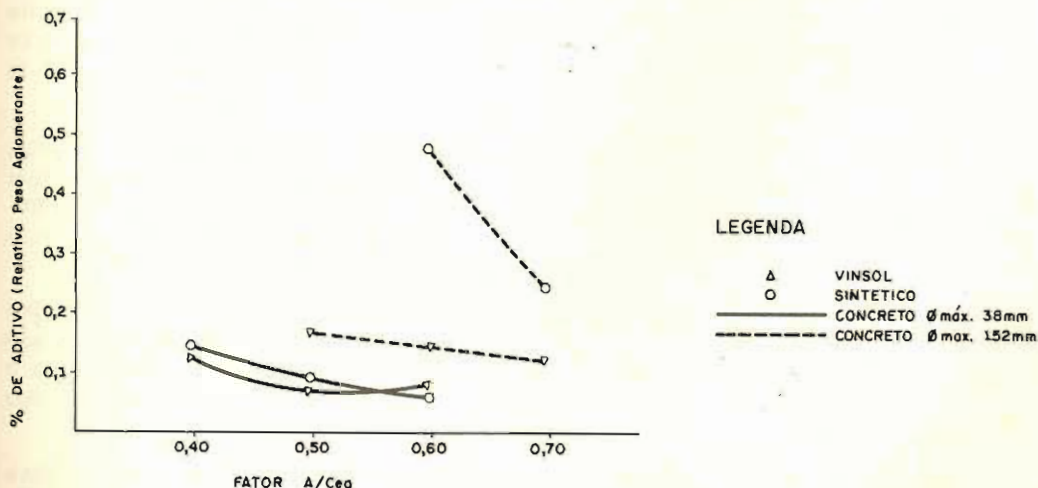


Figura 5.15 - Eficiência de aditivos incorporadores de ar sintético e resina vinsol em função do fator A/Ceq e quantidade de aditivo do concreto

Na Figura 5.15 pode-se observar que a resina vinsol é um agente muito mais ativo e eficiente do que os aditivos denominados sintéticos, sendo que este último tem limitações quanto à quantidade de ar incorporado, principalmente no concreto com diâmetro máximo de 152 mm. Devido a este fenômeno, nem sempre o aditivo mais barato é o mais econômico.

Normalmente recomenda-se uma quantidade de ar de 3 a 4% (em relação ao volume sólido total do concreto), entretanto, diversos estudos têm mostrado que em certos casos porcentagens maiores trazem benefícios ao concreto (ver Capítulo 8).

5.2.4.3 Outros Aditivos

Além dos aditivos citados existem outros que são aplicados em menor escala, porém eficientes para determinados serviços, entre os quais destacam-se: acelerador de pega, impermeabilidade, expansores etc.

Aceleradores são usados para reduzir o tempo de pega e aumentar a velocidade de endurecimento com os objetivos de:

- Antecipar a retirada de formas.
- Permitir colocar a estrutura em serviço em prazo mais curto.
- Evitar os efeitos de retardamento de pega de lançamento em baixa temperatura etc.
- Auxiliar na vedação de infiltrações.

Aditivos impermeabilizantes tem como objetivo melhorar a capacidade do concreto em reter a água. Seu uso é bastante restrito, e antes de sua aplicação deve ser analisada a possibilidade de se fazer pequenas alterações na mistura e se atingir o mesmo objetivo.

O aditivo expensor quando introduzido no concreto acarreta um aumento do volume do mesmo, ainda na fase plástica. A principal aplicação deste tipo de aditivo é em concretos a serem aplicados em locais confinados e assim com possibilidade de ocorrência de vazios devido a sedimentação do mesmo. Outra aplicação, atualmente em menor escala, é em caldas de cimento utilizadas no preenchimento de bainhas de cabos de concreto protendido.

O objetivo do uso destes aditivos é o de compensar a sedimentação (exsudação), que ocorre no concreto e nas caldas, através de uma expansão. Recomenda-se que para definição da expansão necessária sejam efetuados testes de sedimentação, entretanto, para concretos normais, 3% de expansão é suficiente para compensar a sedimentação e dar certo confinamento ao concreto. Nas caldas as variações são maiores.

Um aditivo bastante utilizado é o pó de alumínio, misturado com uma carga, por exemplo, pozolana na proporção de 1:50 (peso). Existem outros aditivos comerciais que produzem o mesmo efeito, entretanto, existem certos aditivos que liberam hidrogênio, o qual pode aumentar ou propiciar a corrosão das armaduras, principalmente no aço protendido.

O aditivo é misturado ao concreto durante a betonada e sua ação ocorre na fase plástica antes do endurecimento. Em certos casos, principalmente em caldas de cimento, a ação da expansão ocorre nos primeiros 15 minutos após o início da betonada e

produzindo compostos com características aglomerantes. Para que haja eficiência na reação pozolânica a manutenção da cura é importante.

Materiais pozolânicos normalmente são utilizados em concreto massa por causa dos benefícios que eles trazem para o concreto, melhorando a trabalhabilidade, reduzindo a elevação adiabática e conseqüentemente aliviando os riscos de fissuração, reduzindo expansões (devido à existência de elevado teor de MgO no cimento), aumentando a resistência do concreto contra águas ou solos agressivos etc. Algumas das desvantagens que podem ocorrer com o emprego de materiais pozolânicos no concreto são: aumento da água requerida para uma mesma trabalhabilidade, aumento da retração por secagem e a redução da resistência à compressão nas primeiras idades.

Em certos casos onde se pretende utilizar agregados potencialmente reativos e não se dispõe de cimento de baixo teor de álcalis, a utilização de materiais pozolânicos se torna indispensável para reduzir ou até mesmo inibir a reação entre a sílica dos agregados e os álcalis do cimento. O fenômeno pode ser observado através dos dados mostrados na Figura 5.17, onde foram ensaiadas argamassas compostas por agregados Pyrex (altamente reativo), cimento com alto álcalis e vários teores de material pozolânico, obtido a partir de argilas caulínicas [5.7], podendo-se observar que apenas 15% dessa pozolana em substituição ao cimento (volume sólido) foi suficiente para reduzir as expansões dentro de limites aceitáveis.

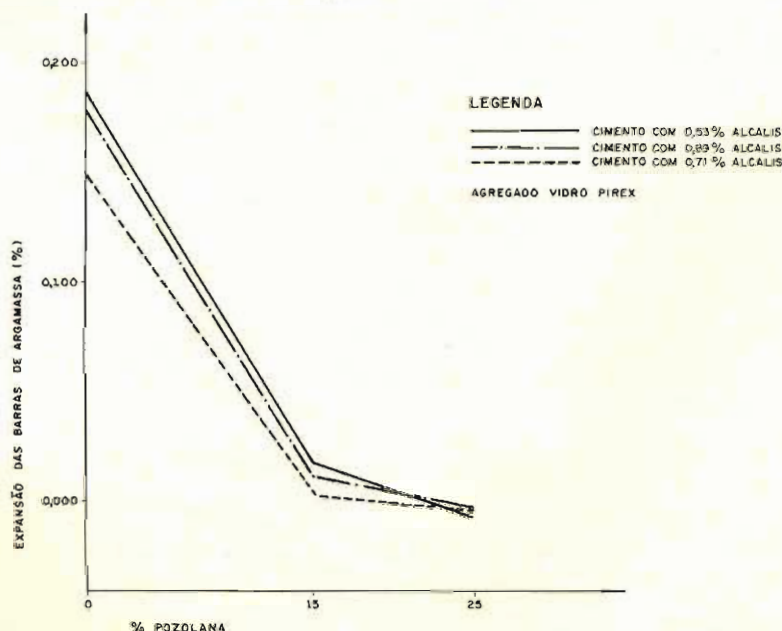


Figura 5.17 - Expansão determinada através de barras de argamassa aos 14 dias de idade (Método padronizado, ver Capítulo 17)

O uso de materiais pozolânicos no concreto massa, além da economia da mistura, pois esses materiais podem ser produzidos a custos de 40% do custo do cimento [5.8], tem uma importante vantagem, que é a redução na quantidade total de calor liberada na massa de concreto, resultando em menores temperaturas e variações de volume em

função do efeito térmico. Os benefícios da utilização do material pozolânico são maiores para concretos com menor teor de cimento.

Em concretos "pobres", a resistência muitas vezes aumenta, enquanto em concretos "ricos" geralmente a resistência diminui. Entretanto, cimentos pozolânicos especiais têm apresentado um rendimento na resistência comparável ou até melhor que o cimento Portland comum [5.9], mesmo para misturas ricas. Recentemente, materiais pozolânicos têm sido aplicados com sucesso em concretos compactados com rolos vibratórios (RCC), com alto teor de finos.

Normalmente tem-se utilizado, em reposição de cimento por material pozolânico, de 10 a 30% em peso. Em certos casos chega-se a porcentagens maiores. O peso específico do material pozolânico varia de $2,20 \text{ g/cm}^3$ a $2,40 \text{ g/cm}^3$, dependendo do material.

No Capítulo 8 apresentam-se critérios para o controle de qualidade de materiais pozolânicos e no Capítulo 6 são fornecidos requisitos desse tipo de material, aplicado em algumas barragens.

Conforme citado anteriormente, argilas e "cinzas volantes" têm-se mostrado apropriadas para uso como material pozolânico. Entre as argilas, a argila caolínica composta com mais de 70% da soma dos óxidos de sílica, ferro e alumínio e granulometria com mais do que 80% dos grãos passado na peneira nº 240 (0,053 mm), provavelmente, após a calcinação resultarão em pozolanas suficientemente ativas. Recomenda-se para se determinar a temperatura de calcinação a utilização do ensaio de Análise Térmica Diferencial, como ilustra a Figura 5.18, sendo que essa temperatura varia entre 650°C e 950°C , dependendo do material argiloso. Outra característica é a granulometria do produto após a calcinação medida em termos de cm^2/g , finura Blaine (ver Capítulo 17), a qual deve ser estabelecida através de estudos com materiais em várias finuras [5.10].

Normalmente, pozolanas, desse tipo, com finura a partir de $6.000 \text{ cm}^2/\text{g}$, apresentam características adequadas para serem utilizadas em concretos, porém esse material com finura na ordem de $8.500 \text{ cm}^2/\text{g}$ é que apresenta melhor eficiência. Maiores finuras podem acarretar redução na eficiência da pozolana [5.11]. A Figura 5.19 mostra a influência da finura na água requerida para uma determinada trabalhabilidade e nos índices de atividade pozolânica.

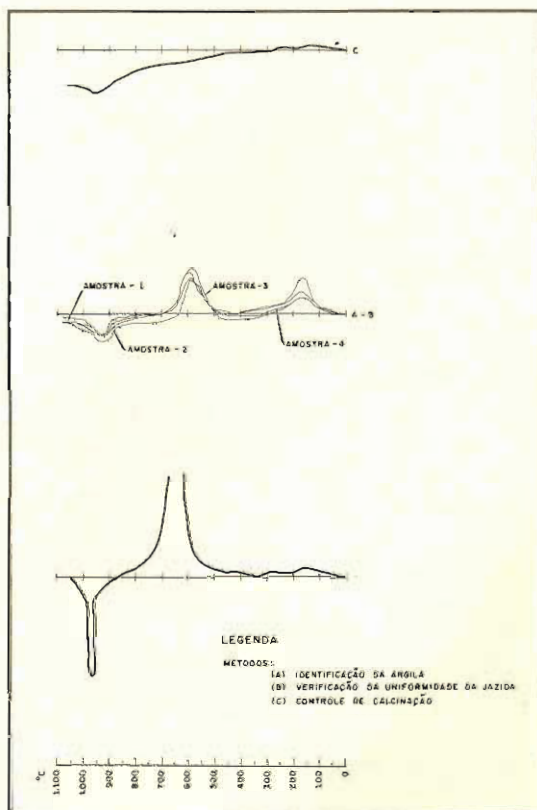


Figura 5.18 - Análise Térmica Diferencial
Material de Jupia [5.10]

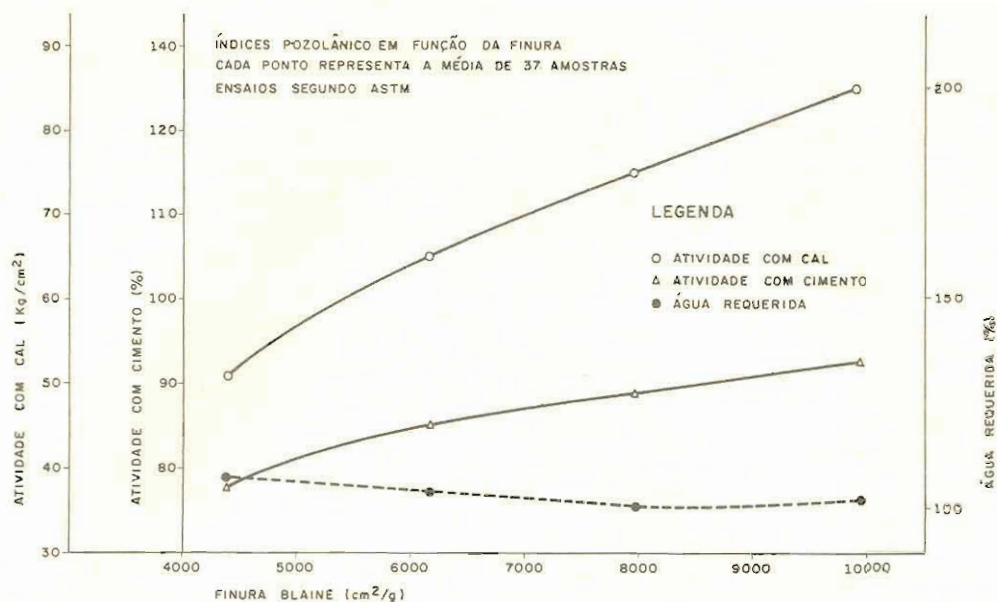


Figura 5.19 - Variação da água requerida em função da finura, em pozolana de argila cao-linítica [5.11]

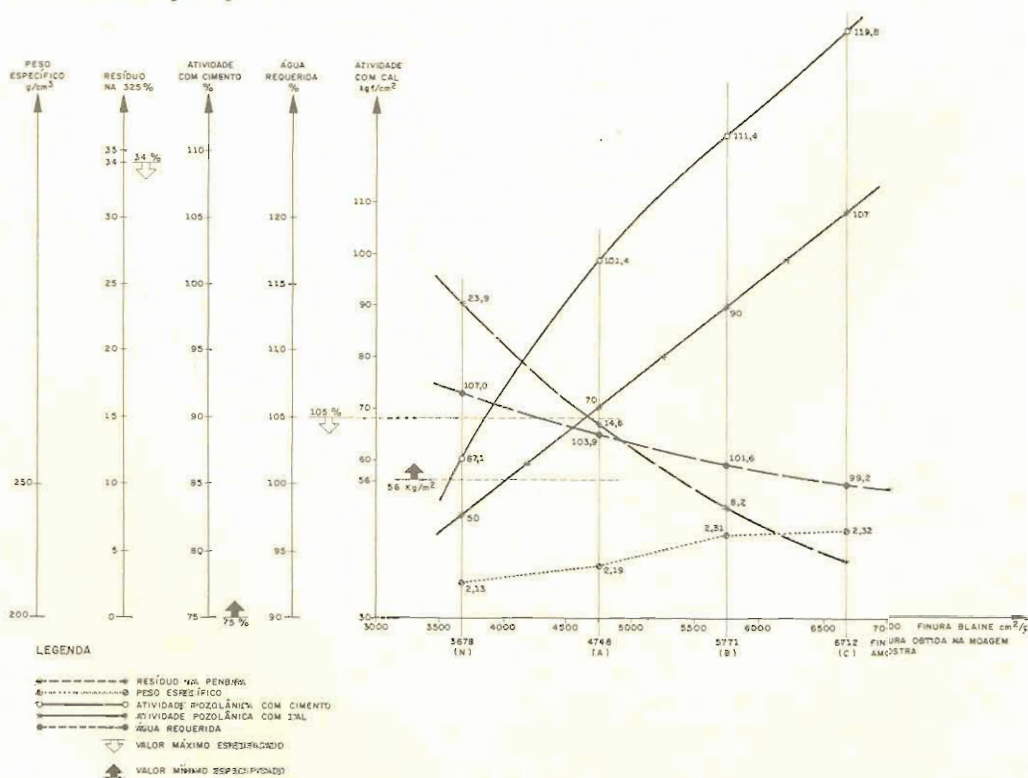


Figura 5.20 - Verificação das propriedades de cinzas volantes com variação na finura [5.12]

As "cinzas volantes" (Fly-Ashes), da maneira como saem das usinas termoeletricas, apresentam finuras entre 2.500 a 4.000 cm^2/g , não apresentando nessas condições características que satisfaçam os requisitos especificados para materiais pozolânicos, podendo, entretanto, serem aplicadas com vantagem em determinados tipos de concreto. Cinzas volantes com finuras acima de 4.500 cm^2/g satisfazem plenamente como material pozolânico (como indicado na Figura 5.20), sendo que, se a finura atingir em torno de 9.000 cm^2/g , as qualidades são excepcionais [5.12].

Outro tipo de material pozolânico utilizado com menor frequência é aquele proveniente da calcinação e moagem de diatômitos.

Em certos casos, diatômitos naturais possuem qualidades pozolânicas, porém é recomendada a calcinação e moagem para aumentar a sua atividade. Para este tipo de material pozolânico normalmente são utilizadas finuras entre 10.000 e 12.000 cm^2/g . O material pozolânico obtido a partir de argila caolinítica apresenta grandes vantagens sobre esse tipo de material pozolânico, não só na qualidade do concreto, como também durante os processos de fabricação (calcinação e moagem).

5.3 PROPRIEDADES BÁSICAS

5.3.1 Concreto Fresco

Tão logo a água seja colocada em contato com os outros ingredientes, a mistura do concreto fresco sofre várias alterações (normalmente dentro de poucas horas) e torna-se rígida, ou concreto endurecido. Neste item são analisados vários elementos do processo de endurecimento e alguns fatores de influência.

5.3.1.1 Conceito de Trabalhabilidade

Para que o concreto tenha qualidade adequada, é necessário que a mistura seja relativamente fácil de se transportar, lançar, consolidar e acabar, e que não apresente segregação durante este período. A combinação dessas qualidades de facilidade no lançamento e resistência à segregação é chamada de "trabalhabilidade". A trabalhabilidade do concreto depende de muitos fatores, os quais não podem ser medidos satisfatoriamente; na verdade não há um consenso sobre todos esses fatores. Além disso, a trabalhabilidade é uma propriedade relativa, pois um concreto que é considerado como trabalhável sob certas condições pode não o ser em outras. A trabalhabilidade necessária pode variar dependendo do tipo de equipamento de mistura, transporte ou consolidação, como do sistema de lançamento, ou com as dimensões e formas da peça a ser moldada. Por exemplo, um concreto relativamente seco pode ser adequado para o concreto massa de usinas hidrelétricas, enquanto dificilmente seria moldado satisfatoriamente em uma peça estreita, com alta densidade de armadura. Normalmente um concreto trabalhável é plástico, embora concretos secos são adequados sob determinadas condições de lançamentos e considerados trabalháveis.

Alguns fatores que influenciam a plasticidade da mistura do concreto são:

- Plasticidade da Pasta.
- Quantidades relativas da pasta e do agregado.
- Forma e dimensão dos grãos de cimento ou material pozolânico.
- Graduação dos agregados.
- Forma e superfície dos agregados.

As principais propriedades que influenciam a trabalhabilidade são:

- Resistência ao atrito para se iniciar o escoamento.
- Mobilidade da massa após o escoamento ter iniciado.
- Coesividade ou resistência à segregação.

Outros fatores que influenciam a trabalhabilidade incluem a quantidade e características do material aglomerante, granulometria e forma dos agregados, quantidade de água, quantidade de ar incorporado e tipo e quantidade de aditivos químicos ou material pozzolânico. A trabalhabilidade deve ser distinguida da consistência do concreto, a qual representa o grau de "umidade" do concreto. A idéia de consistência está relacionada apenas com a noção de força e escoamento.

Dentro de certos limites, concretos úmidos são mais trabalháveis do que concretos secos, entretanto, concretos com a mesma "umidade" (consistência) podem apresentar trabalhabilidades diferentes.

Os ensaios de trabalhabilidade e de consistência são observações relativas e portanto não representam as características fundamentais dessas qualidades.

Tendo-se que a caracterização da trabalhabilidade através de medições é difícil, senão impossível de se obter, destaca-se o valor da inspeção visual para a obtenção de um concreto trabalhável. Uma estimativa razoável da trabalhabilidade pode ser feita através da inspeção visual da mistura (coesividade, argamassamento, acabamento etc) combinada com uma medida da consistência. Essas observações são indispensáveis quando do início da aplicação de uma mistura para se controlar a qualidade do concreto.

5.3.1.2 Consistência

A consistência, sendo um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade, torna-se útil no seu controle. Normalmente ela é determinada através do ensaio de abatimento do cone ("Slump"), o qual indica a fluidez ou umidade da massa. O ensaio de abatimento do cone é uma indicação prática e útil da trabalhabilidade.

Esse ensaio é padronizado pela ABNT (ver Capítulo 17) e, em resumo, consiste na colocação do concreto em uma forma de tronco de cone padronizada (ver Figura 9.20), socá-lo, em seguida retira-se a forma e então o bloco de concreto sofre um abatimento. A consistência ("Slump") é representada pela diferença das alturas da forma e do bloco de concreto após abatimento. Esta medida é dada em centímetros. No Capítulo 7 indicam-se valores da consistência para concretos trabalháveis, em geral recomenda-se de 2 a 4 cm para concreto massa e de 4 a 8 cm para concretos estruturais. Acima de 8 cm são para concretos com altas taxas de armadura, para concretos bombeados etc. Existem outros métodos para determinação da consistência, porém o do abatimento do cone é o mais empregado, tanto nos estudos de laboratórios como no controle de campo.

Mantendo fixa a proporção de cimento para agregado, na condição seca, o efeito do aumento de água na mistura pode ser compreendido seguindo os seguintes passos: com as primeiras aplicações de água a massa seca aumenta de volume (empolamento). À medida que se aumenta a quantidade de água, o volume da massa continua aumentando até um máximo, dependendo do tipo e da natureza dos materiais; a partir daí, para novos incrementos de água o volume começa a diminuir, até que a densidade máxima seja atingida. Neste ponto, a massa torna-se plástica; para novos aumentos de água o volume da massa aumenta novamente e ela torna-se mais fluida, até um ponto em que a pasta fica tão rala que não se consegue manter mais os agregados em suspensão; neste ponto inicia-se o fenômeno da segregação, causado pela diluição da mistura; a quantidade mínima de água a ser utilizada é aquela em que o volume começa

reduzir ou se atinja a máxima densidade, e o máximo é aquela na qual o processo de segregação seja iniciado.

5.3.1.3 Exsudação

Durante o transporte e/ou vibração do concreto certa parte da mistura tende a subir e atingir a superfície do concreto. Este processo continua mesmo após a vibração e é conhecido como "exsudação" do concreto. A exsudação resulta da incapacidade dos materiais constituintes, em reter toda água de mistura dispersada, à medida que as partículas mais pesadas vão se acomodando. Parte da água exsudada atinge a superfície do concreto, parte fica retida sob as barras de aço ou sob as grandes partículas de agregados, e outra parte da porção inferior do concreto dilui a pasta de água e cimento da porção superior.

Se a perda d'água por exsudação fosse uniformemente distribuída por toda a peça de concreto, ela melhoraria suas qualidades, devido à redução do fator água-cimento. Existem processos que se utilizam desse comportamento do concreto, ativando a retirada de água através de instalação de vácuo na sua superfície, com o objetivo de melhorar sua qualidade. Entretanto, normalmente, a exsudação ocorre de maneira desuniforme e seus efeitos são indesejáveis. Usualmente, a parte superior do concreto é mais fraca que a média total da peça. Os vazios ou bolhas de água acumulados sob as barras de aço ou do agregado irão reduzir a aderência e facilitar a percolação. Além disso, a parte da água que atinge a superfície tende carrear partículas leves, tornando a parte superior mais fraca e em muitos casos formando uma "nata" rala e fraca na superfície. Esta "nata" deve ser removida completamente por escoamento ou jateamento, a fim de melhorar a aderência com uma nova camada de concreto.

Alguns fatores que tendem reduzir a exsudação são utilizados de agregados bem graduados e proporcionados adequadamente, baixo conteúdo de água, alta quantidade de cimento com alta finura, agregado miúdo com adequada quantidade de finos, materiais pozolânicos e lançamento de pequenas alturas. Os aditivos incorporadores de ar são eficientes na redução da exsudação. A sedimentação ou contração causada pela exsudação em concretos e caldas de cimento tem sido evitada através do uso de cimento expansivo ou pó de alumínio na mistura, tomando-se certas precauções.

A determinação da exsudação é padronizada pela metodologia citada no Capítulo 17.

Em resumo, o método consiste em se colocar certa porção de concreto fresco em um recipiente cilíndrico, de aproximadamente 15 l, consolidar e cobrir. Após 10 minutos em intervalos regulares de 10 minutos a água exsudada é retirada e medida.

A exsudação é expressa pela percentagem de água retirada em relação à quantidade total de água utilizada na mistura. Até 4% a exsudação é considerada normal. Em caldas recomenda-se máximo de 2%.

5.3.1.4 Retração Plástica e Acomodação

Após o lançamento do concreto em fôrmas de altura, como em paredes e colunas, pode-se observar que o topo da superfície rebaixa. Também, após a retirada das fôrmas pode-se observar, algumas vezes, a existência de pequenas fissuras horizontais que indicam a tendência de acomodação da massa de concreto.

Essa redução do volume de concreto é chamada de retração plástica, ou de acomodação. A retração plástica é em grande parte devido a exsudação do concreto, em parte ela pode resultar da fuga ou absorção de água pelas fôrmas, absorção de água pelos agregados e/ou combinação da água com cimento. Afora a redução do volume, uma causa que contribui para a acomodação do concreto é a acomodação da fôrma.

Em lajes, a secagem rápida do concreto fresco, a poucos minutos do lançamento, pode causar uma evaporação da água que exceda a velocidade da exsudação da água para a superfície. Nessas condições o concreto da superfície adquire certa rigidez que não permite que ele acomode devido à rápida variação de volume causada pela retração plástica. Nesse instante, como ele ainda não atingiu resistência suficiente para suportar as tensões de tração, podem ocorrer trincas por retração plástica. Como medida corretiva recomenda-se umedecer a camada anterior, as fôrmas e os agregados; evitar lançamentos a altas temperaturas; iniciar a cura o mais cedo possível, usando cobertura temporária e nebulização de água entre o período de lançamento e acabamento; e usar proteções contra o sol e o vento. Dependendo das condições as trincas devido secagem precoce da superfície podem não ocorrer enquanto o concreto é ainda plástico, vindo a ocorrer posteriormente.

5.3.1.5 Endurecimento e Pega

Deixando o concreto fresco sem movimento, ele gradualmente vai endurecendo, até que se dê a "pega". Entretanto, não há um ponto bem definido no qual o concreto passa do estado plástico para o rígido. Em termos práticos, o concreto deve permanecer plástico no mínimo meia hora, ou preferencialmente uma hora ou mais, para que haja tempo suficiente para o transporte, lançamento e vibração, sem haver necessidade de medidas extraordinárias, e ele endureça em tempo suficiente para atender os propósitos da construção.

Em condições favoráveis, após várias horas da betonada o concreto pode ser reconsolidado por vibração.

O interesse prático em se determinar o tempo de pega consiste em se avaliar a necessidade de se regular o tempo máximo da betonada e/ou transporte, do uso de aditivos reguladores de pega, e de se prevenir contra condições meteorológicas adversas. Enquanto não se tem encontrado uma boa relação do tempo de pega do concreto com a do cimento, tem-se conseguido relacionar com o tempo de pega de argamassa. Como no caso do cimento, o tempo de pega do concreto é necessariamente um valor arbitrário tomado no processo gradual de endurecimento e definido em termos de um particular método de ensaio e aparelho. Vários métodos têm sido pesquisados, porém, o mais difundido e de maior aceitação é o desenvolvido por Tuthill e Cordon [5.13], para concretos com abatimentos maiores que zero. Em resumo, o método consiste em se retirar uma amostra de argamassa do concreto, por peneiramento, colocá-la em um recipiente e submetê-la a penetrações periódicas de uma "agulha" com superfície chata, na profundidade de 1 polegada (ver Figura 9.22). A área da superfície da agulha varia de 1 a 1/40 de polegada quadrada. Dessa forma, é determinada a resistência à penetração em libras por polegada quadrada.

Com esses dados é traçada uma curva relacionando a resistência à penetração com o tempo. Dessa curva é obtido o tempo de pega inicial para uma resistência à penetração de 500 psi e o tempo final de pega para 4.000 psi. Embora esses pontos tenham sido escolhidos arbitrariamente, eles são práticos para estudos comparativos e na especificação de limites no endurecimento do concreto em construções. A resistência à penetração de 500 psi corresponde a um limite além do qual o concreto não mais deve

ser revibrado e a de 4.000 psi corresponde a uma argamassa com resistência de 7 kg/cm, aproximadamente.

A velocidade de endurecimento do concreto é largamente afetada pela temperatura. Para temperaturas muito baixas, o tempo de pega pode ser excessivamente retardado e para temperaturas altas ele pode ser excessivamente acelerado. Para evitar situações inadequadas com relação à pega do concreto úmido, deve-se observar nas condições de campo, além da temperatura, a absorção da água pelos agregados, a graduação dos agregados e a quantidade de água misturada. Uma forma de controle é se limitar a perda de trabalhabilidade em 2 cm entre a saída da betoneira e o momento do lançamento; outra maneira é se limitar o tempo entre essas duas operações. Em determinadas condições, ainda quando o concreto esteja sendo betonado, pode ocorrer uma secagem rápida da mistura, seguida de um endurecimento sem evolução do calor, esse fenômeno é conhecido como "falsa" pega. A "falsa" pega ocorre para determinados tipos de cimento, e quando a temperatura dos materiais e do ambiente for muito alta e pode ser contornada remisturando os materiais.

5.3.1.6 Ar Incorporado

Durante a produção do concreto certa quantidade de ar é introduzida ocasionalmente na massa. Essas inclusões variam em quantidade, dimensão e forma dos vazios e podem não ser adequadas para o concreto. Por outro lado, pode-se introduzir intencionalmente ar na mistura de modo uniformemente distribuído de pequenas bolhas (de 25 a 250 mm), numa quantidade adequada, com um distanciamento desejado interbolhas, resultando em efeitos vantajosos. Esse volume de ar é conhecido como ar incorporado. Os aditivos utilizados foram comentados nos itens anteriores deste Capítulo. Do ponto de vista do concreto fresco, o ar incorporado reduz a quantidade de água de mistura, aumenta a plasticidade, reduz a exsudação, a segregação e a densidade do concreto. A trabalhabilidade do concreto é melhorada não só pelo aumento de argamassa que o ar incorporado acarreta, mas também pela flexibilidade das bolhas de ar que auxiliam o movimento das partículas rígidas de agregado.

Muitos fatores influenciam a quantidade de ar incorporado. Mantendo-se as condições de produção de concreto e dentro de limites práticos, pode-se dizer que no final da betonada o volume de ar incorporado é maior para:

- Maiores quantidades de aditivos.
- Para misturas pobres.
- Maior agregado miúdo.
- Concreto com agregado de menor D Máx.
- Menor quantidade de materiais pozolânicos.
- Menores temperaturas.
- Betonada rigorosa e maior tempo de mistura.

Em geral, a quantidade de ar incorporado tende a reduzir durante as operações de transporte, lançamento e vibração do concreto. Em função disso, além do controle dos materiais e de seu proporcionamento, é importante manter uniformes as operações de betonada, mistura e lançamento.

A determinação do ar incorporado é feita por três processos:

- O método da pressão.
- O método volumétrico.
- Método gravimétrico.

O primeiro e o último são indicados para agregados normais, e o segundo para agregados leves e/ou porosos. Entre esses três métodos, o mais difundido em nosso meio é o de pressão.

No Capítulo 17 estão indicadas as metodologias usuais.

O método de pressão é baseado no princípio da lei de Boyle, a qual estabelece que o aumento na pressão de um gás reduz proporcionalmente seu volume e também parte do princípio que na mistura de concreto apenas o ar é compressível. Em resumo, o método consiste em coletar amostra do concreto fresco, colocá-la em recipiente, consolidar e rasar a superfície. Através de um equipamento (ver Figura 5.21) acoplado para tampar o recipiente é aplicada uma pressão na superfície do concreto e um mostrador, previamente aferido, indica diretamente o volume de ar incorporado previamente aferido, indica diretamente o volume de ar incorporado em porcentagem do volume total do concreto. Dois aparelhos foram desenvolvidos, conforme pode ser observado nas Figuras 5.21 e 5.22, sendo que o primeiro, onde a pressão é aplicada através de tubos de ar comprimido, é recomendado para laboratórios e controle de

concreto em centrais fixas, e o segundo, onde a pressão é aplicada manualmente, é mais prático para o controle de campo.

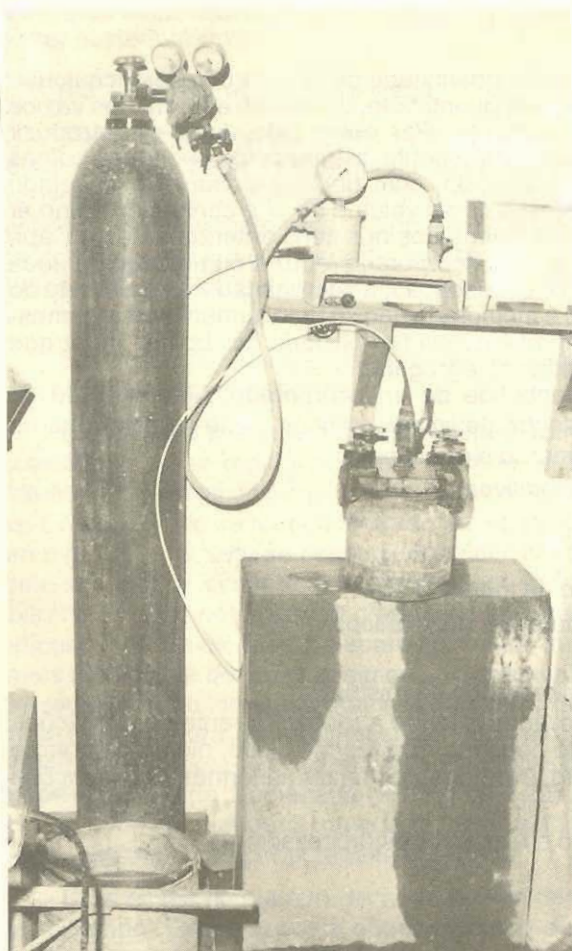


Figura 5.21 - Aparelho para determinação do ar incorporado, utilizando tubos de ar comprimido, recomendado para laboratórios e centrais fixas

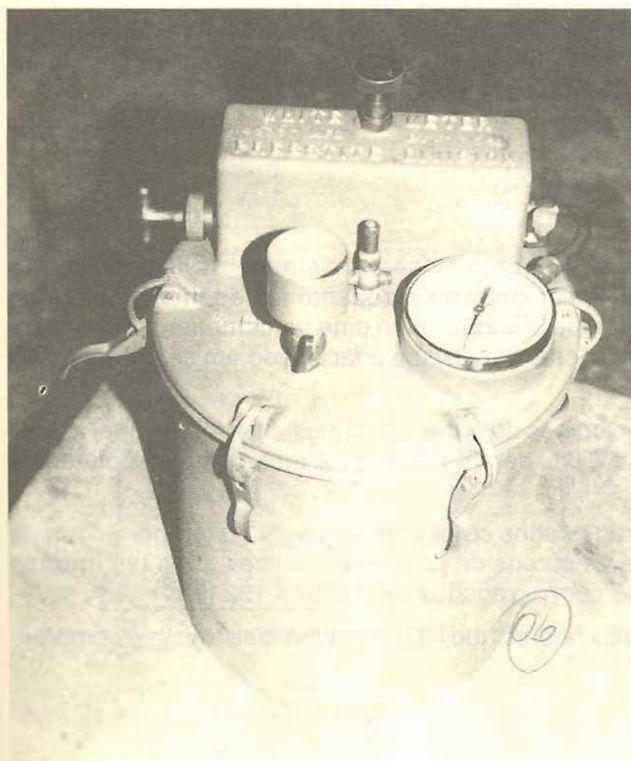


Figura 5.22 - Aparelho para determinação do ar incorporado, utilizando processo de aplicação manual de pressão, recomendado para controle do concreto no campo

5.3.2 Concreto Endurecido

Uma função básica de todas as estruturas é a de suportar cargas ou resistir forças de várias naturezas, outra função é a de retenção de líquidos e uma outra é a de resistir à ação do intemperismo ou outros agentes de deterioração. Em função desses requisitos, a resistência à compressão, a permeabilidade e a durabilidade do concreto passam a ser propriedades importantes.

Uma outra condição, em certas estruturas, é a de se evitar trincas, e nesse caso a resistência à tração e propriedades elásticas do concreto são importantes. No caso do concreto, a resistência à tração é baixa, como se vê adiante e nesse caso utiliza-se de armadura para suportar as elevadas tensões de tração. Em certas estruturas, como no caso de barragens, o conhecimento das propriedades térmicas e elásticas é indispensável para se conhecer o comportamento do concreto.

5.3.2.1 Resistência à Compressão

O conceito aceito para a resistência à compressão é o da habilidade de resistir forças. Com relação ao concreto para fins estruturais ela pode ser definida como sendo uma força necessária para causar a ruptura. A resistência do concreto é um bom indicador das demais propriedades, tanto direta quanto inversamente proporcional. De maneira geral, os concretos mais resistentes são mais impermeáveis, mais resistentes ao intemperismo, mais duráveis, entretanto, por outro lado, os concretos mais resistentes apresentam maior retração por secagem, são menos elásticos e portanto mais sujeitos

a fissuras. Em função disso, e pela maneira relativamente simples de se determinar a resistência à compressão, ela é usada normalmente como índice para controle da qualidade e da avaliação de vários fatores, tais como:

- Proporção dos materiais.
- Equipamentos de produção.
- Condições de cura.

De modo geral, as estruturas de concreto são projetadas assumindo que o concreto resiste apenas a tensões de compressão e portanto ela é tomada como um índice, e as tensões de trabalho são especificadas como uma porcentagem da resistência à compressão. Uma condição adicional para isso é a facilidade em se determinar a resistência à compressão.

Os ensaios usuais empregam corpos de prova cilíndricos, com altura igual a duas vezes o diâmetro, sob cura úmida a 21°C durante 28 dias. A metodologia adotada é a ABNT-NBR-5739.

Para concretos estruturais são usados corpos de prova de 15 cm por 30 cm de altura. No caso de concreto massa os corpos de prova são maiores, com um máximo de 45 cm por 90 cm, para concretos com agregados de $D_{\text{Máx}} = 152 \text{ mm}$.

Pode-se dizer que os principais fatores que influenciam a resistência à compressão são:

- Teor de cimento.
- Fator água-cimento.
- Grau de compactação.
- Idade.

No concreto estrutural com resistências variando de 150 a 350 kgf/cm^2 , normalmente o controle é feito na idade de 28 dias, entretanto, para concretos mais "pobres", como no caso dos concretos massa, onde são indicadas resistências variando de 180 a 120 kgf/cm^2 , adota-se idade de controle de até um ano, pois, nesse caso, existe significativa evolução de resistência de 28 para 365 dias.

Contemporaneamente, estão sendo empregados concretos de elevada resistência (alto desempenho) com valores ao redor de 800 kgf/cm^2 .

Alguns países, principalmente na Europa, adotam corpos de prova cúbicos (ver Figura 5.24).

Grandes variações podem ser causadas aos resultados dos ensaios de compressão se não forem tomados cuidados na moldagem, estocagem e manuseio dos corpos de prova.

Para a moldagem de corpos de prova são adotados os procedimentos mostrados na Figura 5.23.

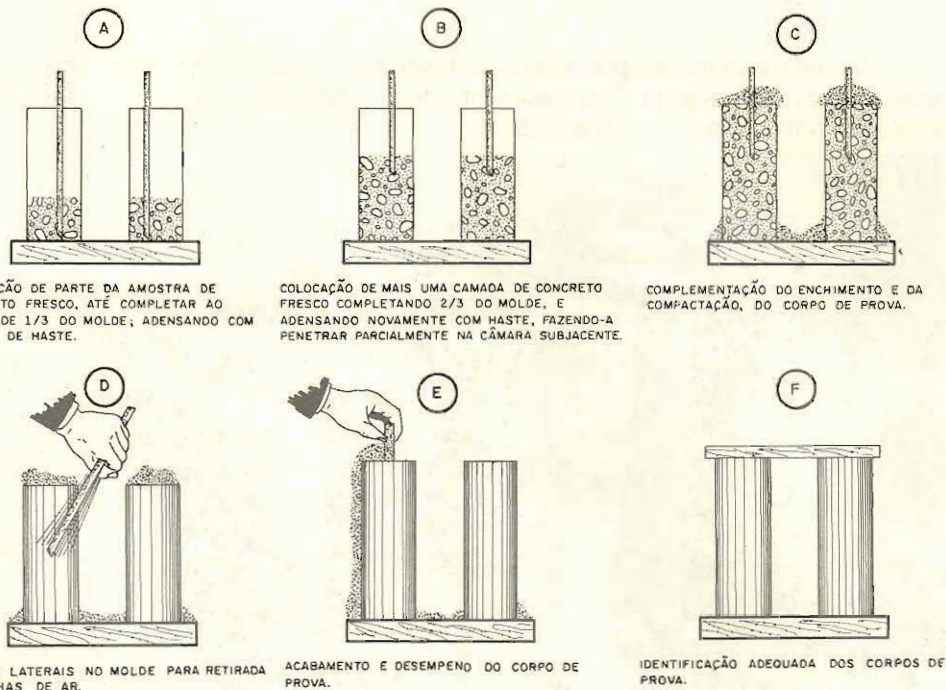


Figura 5.23 - Sequência usual para moldagem e identificação de corpos de prova cilíndricos ϕ 15 X 30 cm

Os procedimentos A, B e C da Figura 5.23 podem ser substituídos pelo adensamento através de vibrador de imersão, como mostram as Figuras 5.24 e 9.23.

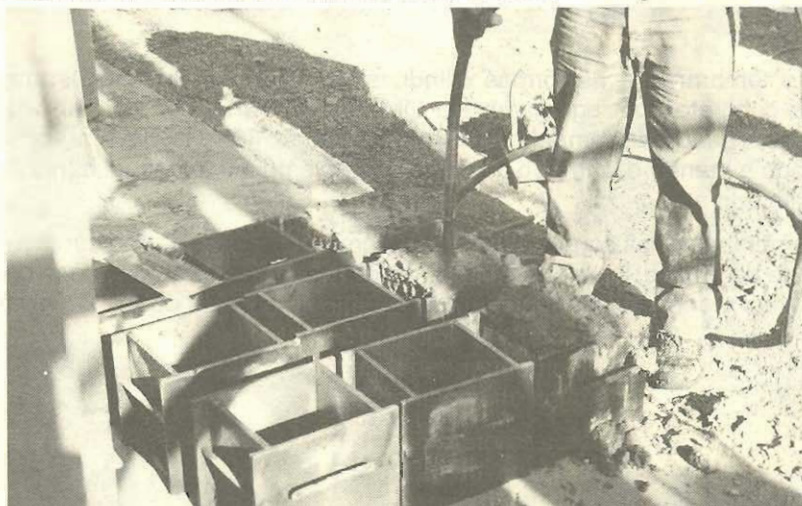


Figura 5.24 - Moldagem de corpos de prova cúbicos, com adensamento executado por vibradores de imersão

O manuseio dos corpos de prova, desde o local de moldagem até o local de cura e/ou ensaio, deve ser, preferencialmente, feito ainda dentro dos seus moldes, como exemplificam as Figuras 5.25 e 9.25.

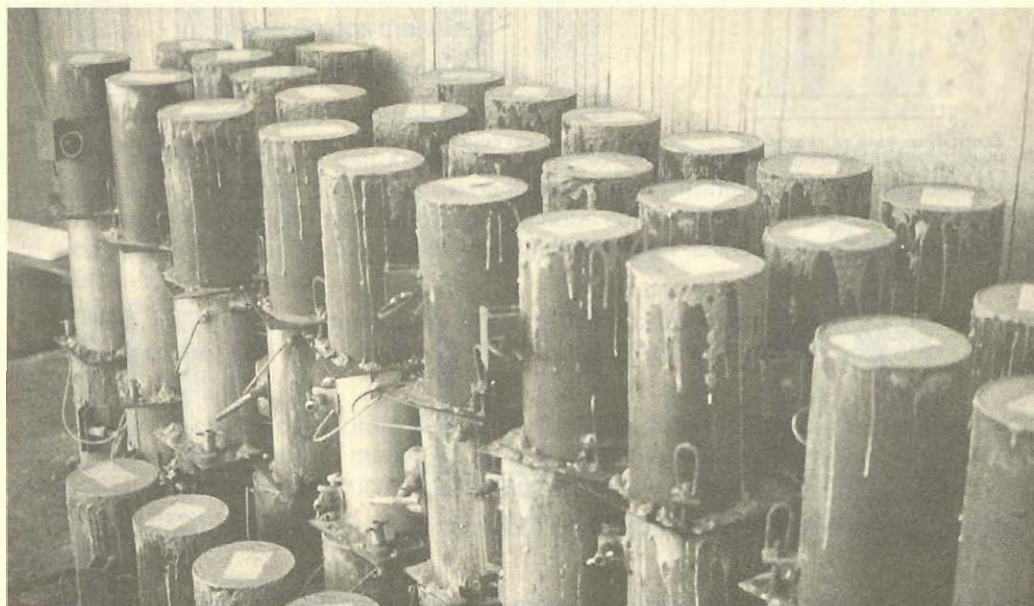


Figura 5.25 - Corpos de prova moldados e identificados, aguardando o momento para o transporte

Deve-se lembrar que as fôrmas cilíndricas ϕ 15 X 30 cm são usadas para moldagem de concreto com agregados de DMáx até 38 mm. Ao se trabalhar com concretos de agregados de tamanho máximo superior a 38 mm, devem ser usados moldes de modo a manter o diâmetro do corpo de prova no mínimo igual a três vezes o tamanho máximo do agregado.

Após a moldagem, os corpos de prova devem ser sazoados sob condições-padrão até a idade do ensaio. De maneira geral, as normas requerem condições bastante próxima para a cura, sendo que a temperatura deve estar ao redor de 21°C e a umidade acima de 90%.



Figura 5.26 - Cura de corpos de prova por imersão em água

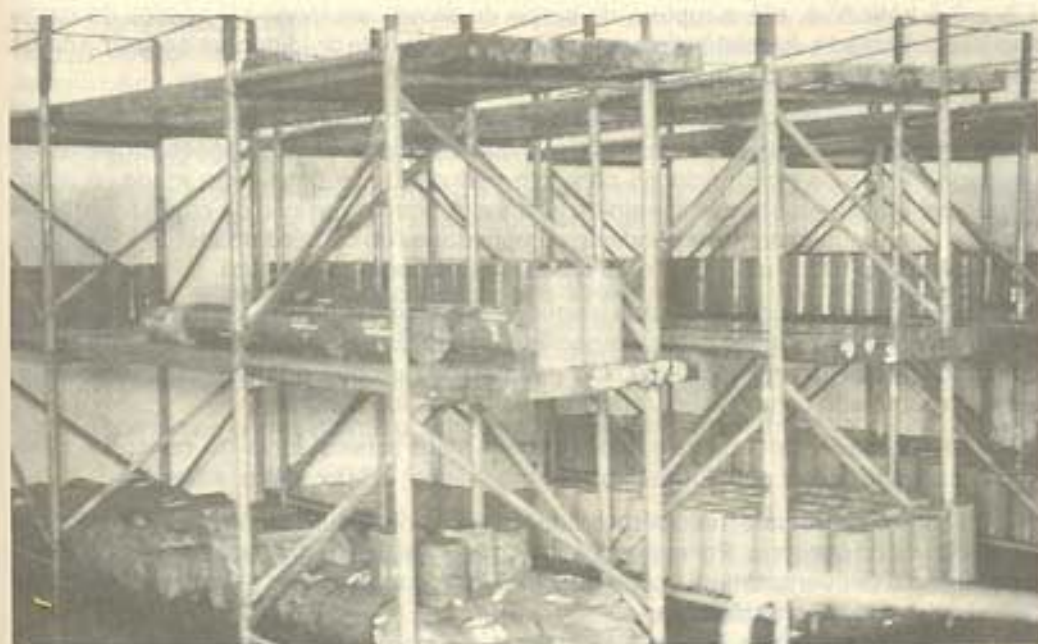


Figura 5.27 - Cura de corpos de prova em câmara úmida - Capanda - Angola

A condição de umidade para a cura é importante pois pode causar queda, no valor da resistência, em mais de 10% [5.16]. A temperatura do ambiente durante o período de sazonalização também é de fundamental importância no valor da resistência do concreto. A temperatura é usada, no processo de cura a vapor, como elemento acelerador do processo de hidratação, principalmente na fabricação de peças pré-moldadas em concretos.

Assim é que corpos de prova moldados em dias frios normalmente apresentam menores valores de resistência a baixas idades que corpos de prova moldados com o mesmo concreto, porém em dias mais quentes.

A ocorrência de temperatura elevada no período inicial de cura resulta em uma evolução rápida da resistência, mas leva à resistência final, inferior à obtida com cura sob condição padronizada.

Para a execução do ensaio de compressão axial dos corpos de prova de concreto, é necessário que as superfícies, onde se aplicam as cargas, sejam planas, paralelas e lisas, de modo ao carregamento ser uniforme. As faces devem, ainda, ser ortogonais ao eixo do corpo de prova. Os corpos de prova cúbicos levam vantagem nesse particular, visto que, ao se usar moldes adequados, é fácil se obter pelo menos duas faces paralelas, entre as seis existentes. Isso não acontece facilmente com corpos de prova cilíndricos, visto que as duas faces paralelas usadas para carregamento, no ensaio de compressão axial, são as duas únicas existentes.

Para a execução do ensaio o corpo de prova é colocado e centrado sobre o prato da máquina de ensaio, sendo que a aplicação da carga é feita a uma velocidade entre 1,5 a 3,5 kgf/cm².s, até a ruptura do corpo de prova, anotando-se o valor da carga máxima observada. A resistência à compressão é calculada dividindo-se a máxima carga lida pela área da seção transversal do corpo de prova.

Sendo os materiais constituintes do concreto proporcionados adequadamente, de modo a se obter uma mistura trabalhável e que se hidrata sob condições propícias de umidade e cura, a resistência do concreto endurecido, a uma certa idade, é muito influenciada pelo fator água/cimento da mistura. A correta posição da curva resistência contra o fator água/cimento depende das propriedades de cada componente, do proporcionamento, da trabalhabilidade e do processo (temperatura) de cura.

Decorrente do fator A/C, sabe-se que para concretos de mesma trabalhabilidade, mesmos materiais, mesma massa específica, a resistência do concreto aumenta com o aumento do teor de aglomerante. Não resta dúvida de que a finura do aglomerante, também como sua composição, reflete na resistência do concreto.

O agregado, adequado e são, também afeta a resistência do concreto. Essa influência se faz notar pela forma, textura, graduação, D Máx, entre outros.

O tipo de agregado, natural ou britado, geralmente influi de maneira indireta sobre a resistência do concreto. Por exemplo, devido à forma das partículas os teores de água e de cimento (e eventualmente cimento + material pozzolânico) se alteram, acarretando resistências de valores diferentes.

Observa-se que os concretos com britas de rochas sempre requerem maior teor de água, em um mesmo fator A/C_{eq}, para atender a uma certa trabalhabilidade, que os concretos correspondentes com seixos rolados.

A variação da finura da areia acarreta variações no consumo de água e, por conseguinte, do aglomerante, mantidas as características de trabalhabilidade da mistura.

O tipo da areia, decorrente do processo de produção, natural ou britada (ou moída), também influencia a resistência do concreto, quando se comparam concretos de mesma trabalhabilidade e incorporação de ar.

A utilização de uma pozolana de boa qualidade em substituição a uma parte do cimento pode trazer, além de outras melhorias ao concreto, uma modificação no processo de evolução da resistência do mesmo.

A resistência à compressão aumenta com a idade, na presença de umidade. Essa evolução depende da composição química do cimento, do teor de material pozolânico (se usado) e das suas características.

Os aditivos têm efeitos distintos na resistência do concreto. Esses efeitos variam muito em decorrência das propriedades do aditivo e com as características da mistura do concreto, e do desempenho conjunto dos componentes.

Os aditivos redutores de água atuam diminuindo o teor de água, o que pode resultar em uma variação na resistência do concreto. Isso depende da atuação do aditivo. O mesmo pode ser obtido com o uso de aditivos retardadores.

Os aditivos incorporadores de ar, por atuarem dando maior consistência à mistura, permitem uma redução do teor de água, o que pode resultar em uma alteração no consumo de cimento, ou de outra maneira em uma variação na resistência.

Como citado anteriormente, ao se trabalhar com concretos de D Máx superior a 38 mm, os moldes devem ter dimensão mínima superior a três vezes o D Máx. Isso leva ao manuseio de moldes de grandes dimensões, como pode ser observado na Figura 9.24.

Para contornar essa dificuldade, lança-se mão do controle de qualidade através de corpos de prova cilíndricos de ϕ 15 X 30 cm, moldados com concretos da fração passante pela malha de 38 mm, através do peneiramento, úmido, do concreto integral fresco.

A partir de ensaios comparativos se estabelece um fator de correlação, denominado fator "q" (fator de forma), que é a relação entre a resistência do concreto obtida através dos corpos de prova moldados com concreto passante pela malha de 38 mm e a obtida pelos corpos de prova moldados com concreto integral.

Os valores normalmente obtidos no Brasil situam-se ao redor de:

$$1,20 < q \text{ (D Máx 76 mm)} < 1,30 \text{ e}$$

$$1,05 < q \text{ (D Máx 152 mm)} < 1,25$$

O adensamento do concreto pode, também, afetar sua resistência. Isso pode ser demonstrado pela ação da revibração. Estudos efetuados durante a construção da obra de Itaipu [5.17] mostraram que a resistência do concreto pode ser aumentada sensivelmente, como mostra a Figura 5.28, onde os valores foram obtidos sobre testemunhos extraídos de áreas revibradas.

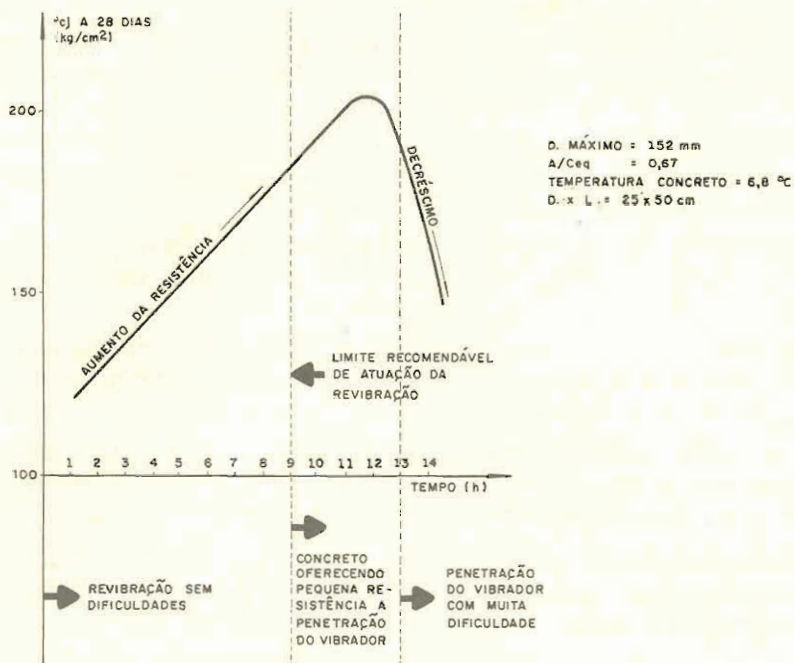


Figura 5.28 - Influência da revibração na resistência do concreto à compressão axial simples [5.17] - Itaipu

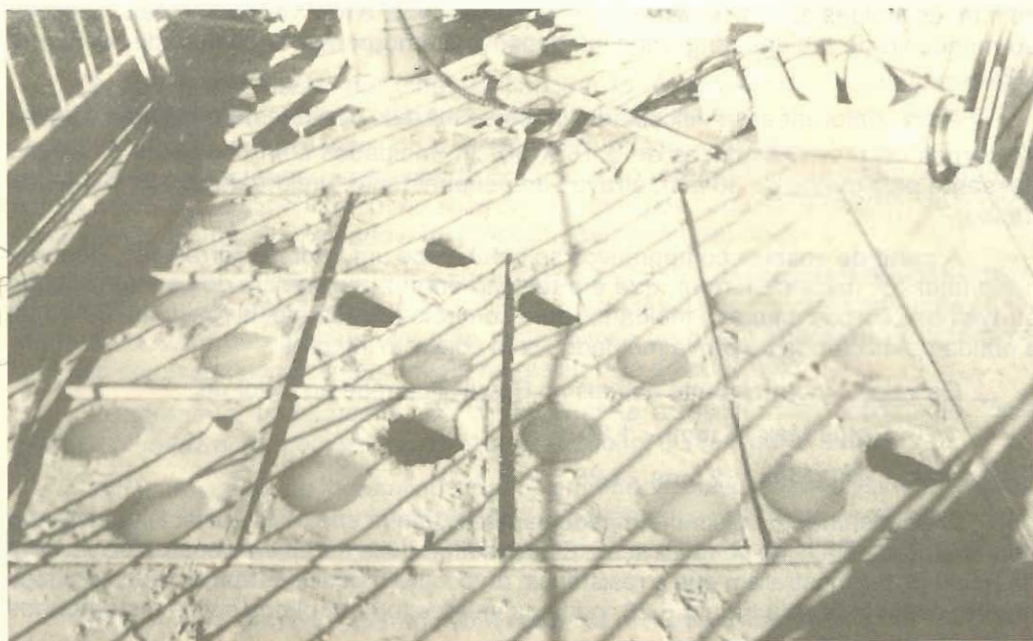


Figura 5.29 - Regiões onde se aplicou a revibração e se extraiu corpos de prova - Itaipu

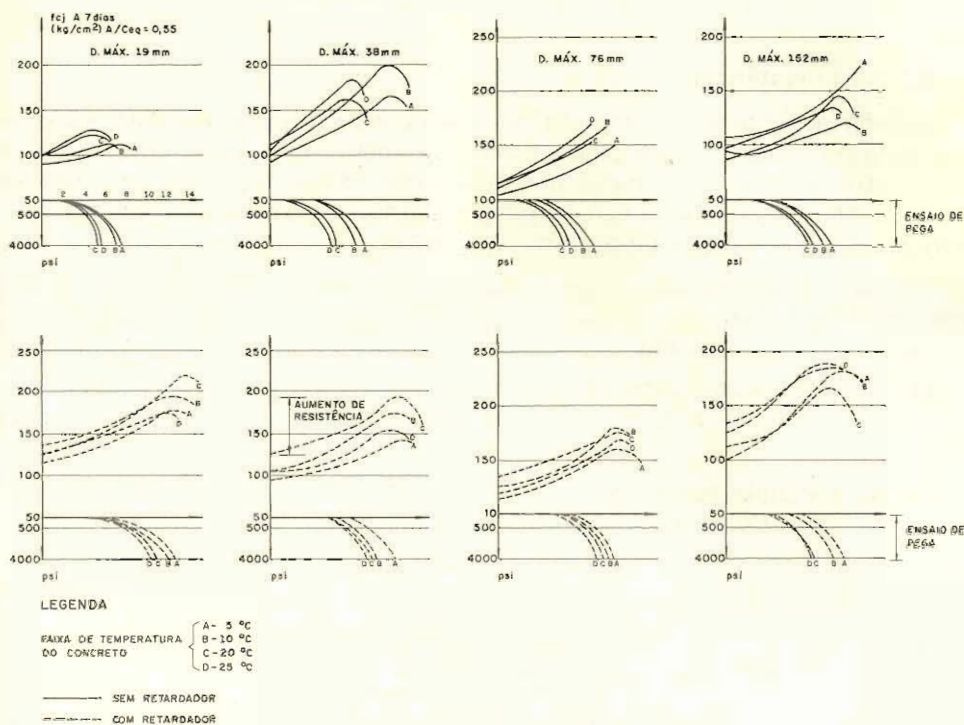


Figura 5.30 - Resultados dos estudos de revibração - Itaipu

Como citado anteriormente, uma das maneiras de se avaliar a resistência do concreto de uma estrutura é pelo ensaio sobre os corpos de prova obtidos a partir de testemunhos extraídos da própria estrutura.

Nessas oportunidades, com o intuito de melhor aproveitar toda a extensão do testemunho, é comum utilizar corpos de prova com relação comprimento/diâmetro de diversos valores. Há então necessidade [5.18] [5.19] de uma correção.

Corpos de prova obtidos a partir de testemunhos extraídos da estrutura de concreto normalmente apresentam [5.20] resistências superiores (entre 5% e 20%) em relação aos corpos de prova moldados com o concreto da estrutura.

O resultado da resistência à compressão do concreto também é afetado pela velocidade do carregamento. Essa influência pode ser avaliada também em correspondência com as deformações que ocorrem durante o carregamento.

É o "fator velocidade de carregamento" que caracteriza a influência do fator tempo no valor da resistência, a influência do carregamento e a influência do comportamento elastoplástico. Em um ensaio rápido convencional obtém-se a tensão de ruptura em aproximadamente cinco a dez minutos. Interrompendo-se o ensaio ligeiramente abaixo do valor do ensaio rápido e mantendo-se a tensão constante, pode-se ter uma ruptura após um tempo maior com uma deformação também maior. Esse processo não caminha indefinidamente, pois pode existir uma tensão mínima, na qual o material se rompe após tempo infinitamente grande, representada pela tensão que é a resistência sob a carga constante.

5.3.2.2 Resistência à Tração

Embora a resistência à compressão seja a propriedade mais utilizada nos cálculos de estruturas de concreto, ou explorada como parâmetro como índice de qualidade do mesmo, em determinadas estruturas, armadas ou não, as solicitações de tração passam a ser determinantes, tendo-se como exemplo clássico os blocos de concreto massa tracionados por gradientes térmicos e os pavimentos.

O ensaio de resistência à tração na flexão é bastante utilizado pela caracterização dessa propriedade. O ensaio normalizado é realizado em corpos de prova prismáticos de seção transversal quadrada.

Os moldes devem proporcionar corpos de prova com variação máxima de 5% no comprimento e de 1% em qualquer seção transversal, relativamente às dimensões nominais.

As faces laterais, bem como o fundo dos moldes devem ser travados, a fim de se evitar deformações excessivas das paredes dos mesmos.

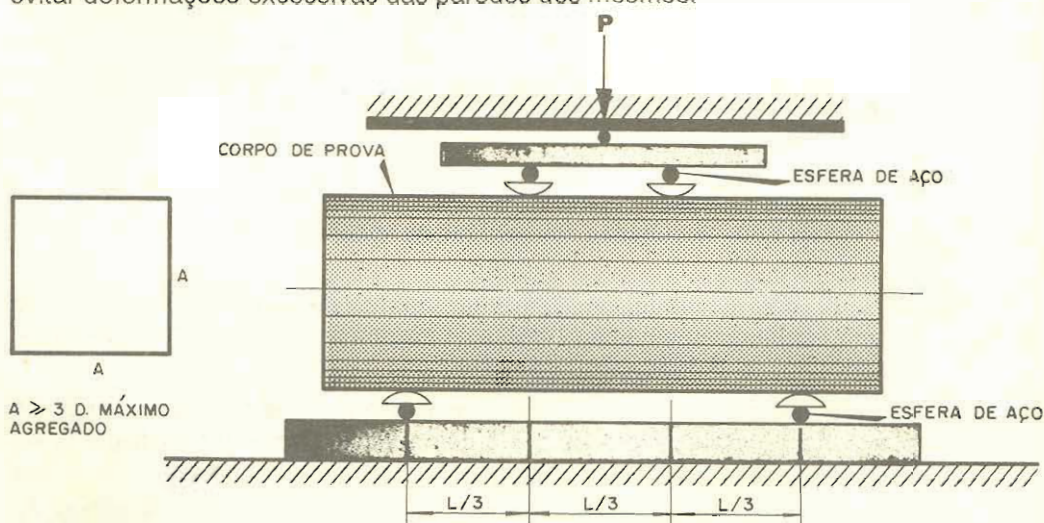


Figura 5.31 - Esquema de ensaio e carregamento para determinação do módulo de ruptura

A tensão teórica máxima de tração, atingida na fibra externa, é calculada como "Módulo de Ruptura", de acordo com a expressão:

$$R = \frac{2.P}{a^3} \quad \text{onde}$$

R = Módulo de Ruptura

P = Carga Máxima aplicada

L = Comprimento do vão

a = Largura do corpo de prova

Considerando que a expressão da flexão não é verdadeira para os esforços próximos da ruptura, o Módulo de Ruptura é um valor estimativo (não real) da resistência à tração, sendo entretanto um índice utilizado. Nessas condições, o Módulo de Ruptura apresenta-se como um valor superestimado da tensão direta. Os valores obtidos variam, aproximadamente, entre 10 e 45 kgf/cm² aos 28 dias de idade.

As vigas são preferencialmente moldadas na própria sala de ensaios, a fim de se evitar manuseio excessivo das mesmas na preparação para ensaio [5.21] [5.22].

A cura é iniciada imediatamente após a moldagem, através de sacos de aniagem úmidos aplicados à superfície exposta, ou areia úmida. Os corpos de prova auxiliares são curados no mesmo local e nas mesmas condições das vigas.

Assim como na resistência à compressão, a velocidade de carregamento influi no valor final da resistência à tração determinada por flexão de vigas.

A resistência à tração pode ser também determinada de maneira indireta pelo método de ensaio desenvolvido por Lobo Carneiro [5.23] através da aplicação de compressão diametral de corpos de provas cilíndricos iguais aos usados na determinação da resistência.

Para essa determinação da tensão de tração utiliza-se de um corpo de prova cilíndrico submetido a um carregamento, como ilustra a Figura 5.32.

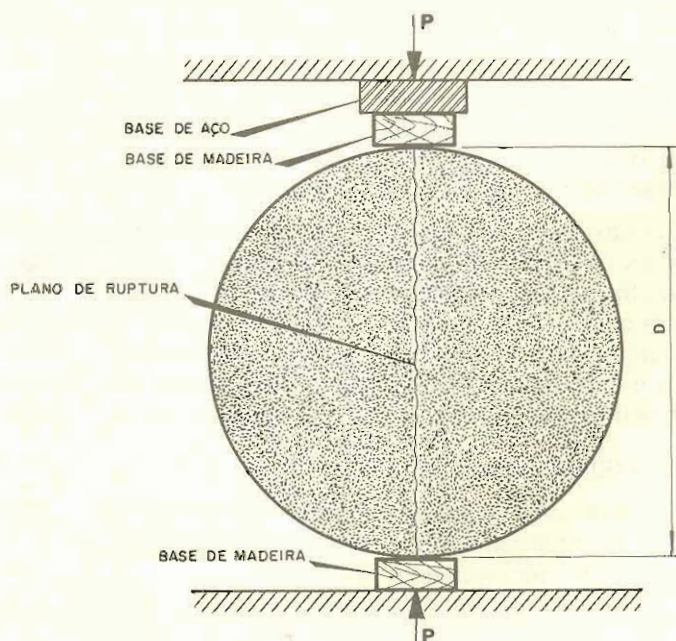


Figura 5.32 - Esquema para o ensaio de tração por compressão diametral

A tensão de tração é determinada pela seguinte expressão, baseada na Teoria da Elasticidade:

$$E = \frac{2.P}{\pi.L.D} \quad \text{onde}$$

E = Tensão de Tração por compressão diametral

ϕ = Carga máxima aplicada

L = Comprimento do corpo de prova

D = Diâmetro do corpo de prova

O valor obtido para a tensão de tração por esse ensaio tem-se mostrado maior que o valor da tensão através do ensaio direto e varia de 8 a 15% do valor da resistência à compressão axial simples.

A determinação da resistência do concreto à tração por ensaios diretos, conhecida como tração pura, esbarra sempre na dificuldade de se obter cargas suficientemente concêntricas de tal forma que as excentricidades eventuais, existentes, não falseiem o resultado final. Essas dificuldades são conseqüências diretas da baixa resistência à tração do concreto e das dimensões mínimas necessárias do corpo de provas em função do tamanho dos agregados.

A correlação entre as resistências à compressão axial simples e tração na flexão têm sido perseguida pelos pesquisadores para que seja possível a previsão da resistência à flexão do concreto, com razoável nível de confiança, a partir da resistência à compressão por sua maior facilidade e rapidez de execução.

Das correlações entre as resistências à tração e à compressão axial simples, é conclusivo que todos os fatores que influem na resistência à compressão influem também na resistência à tração. Há, no entanto, um agravante com relação à resistência à tração e que se refere à textura do agregado. Para concretos de mesmo consumo e quantidade de pasta, agregados com textura lisa, em geral seixos rolados, podem proporcionar concretos menos resistentes à tração que quando se usa agregados com textura mais rugosa, devido a sua aderência com a pasta.

5.3.2.3 Módulo de (Elasticidade) Deformação

Um material é considerado elástico se possuir a capacidade de se deformar quando submetido a um carregamento e que essas deformações sejam reversíveis e recuperáveis quando retirado o carregamento.

O Módulo de Deformação é definido como a variação da tensão em relação à deformação observada, e pode ser calculado por:

$$\text{Módulo de Deformação} = \text{Tensão/Deformação específica}$$

É uma medida da dificuldade ou da resistência que o material oferece à deformação.

O concreto não é um material tipicamente elástico, para qualquer estágio de carregamento a que está submetido e portanto a lei de Hooke tem, no mesmo, uma aplicação apenas aproximada e grosseira. Devido a essa falta de proporcionalidade entre tensões e deformações, o módulo de deformações não é constante para qualquer intervalo de carga. Quando o concreto é submetido a um único carregamento, o diagrama tensão/deformação tem o desenvolvimento apresentado na Figura 5.33. Esse comportamento é ainda influenciado pela velocidade com que a tensão é aplicada, ou seja, carregamentos mais rápidos resultam em relação tensão/deformação mais próximas de material elástico, e carregamentos com incrementos mais lentos de carga resultam em comportamento do concreto mais próximo de material elastoplástico.

Dentro dos limites de trabalho, entretanto, e para solicitações rápidas, pode-se admitir um comportamento elástico.

A determinação do Módulo de Deformação é feita com base no método ABNT-NBR-7222, através do qual um corpo de prova cilíndrico (ϕ 15 X 30 cm ou maior - ver Figura 9.29) é submetido a incrementos de cargas e medidas as deformações correspondentes. Como essa correspondência nem sempre é linear, calcula-se o módulo considerando as variações de tensões e deformações em determinado intervalo (módulo secante), com os pontos A e B, indicados na Figura 5.33.

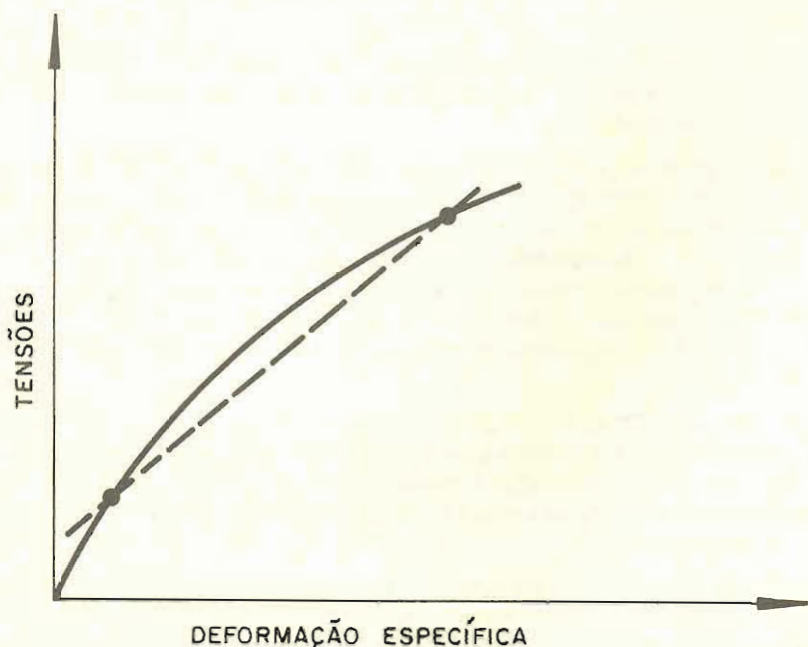


Figura 5.33 - Diagrama de tensões e deformações para a determinação do módulo de deformação

A maioria dos valores de módulo de deformação do concreto se situa entre 100 mil e 500 mil kgf/cm^2 .

O módulo de deformação estático do concreto sofre variações fundamentalmente em função dos seguintes fatores:

- Tipo e consumo de aglomerante.
- Idade do concreto.
- Tipo e quantidade do agregado.
- Porcentagem de ar incorporado.

Da mesma forma que a resistência à compressão, o módulo de deformação aumenta com a idade, porém não obedecendo a mesma velocidade de crescimento, mas as curvas de ambas as propriedades para uma mesma mistura apresentam um mesmo sentido de evolução.

Às primeiras idades, 3 e 7 dias, o módulo de deformação do concreto atinge valores médios entre 65 e 85% em relação aos 28 dias, enquanto o percentual de resistência aos 7 dias, em relação aos 28 dias, é ainda em média 55%.

A partir da idade de 28 dias até ao redor de 180 dias, o módulo de deformação cresce, relativamente aos valores de 28 dias, ao redor de 20%, quando praticamente se estabiliza. No entanto, a resistência à compressão tem percentual de aumento em relação aos 28 dias, às idades mais avançadas (1, 2 e 5 anos) que, dependendo do tipo e quantidade de cimento e uso ou não de material pozolânico, pode chegar a ser da ordem de 100%.

Esse comportamento de velocidade de crescimento diferenciado se explica fundamentalmente pela influência do agregado nos valores do módulo de deformação do concreto a elevadas idades.

De maneira geral, o concreto apresenta módulo de deformação crescente, em todas as idades, com o aumento do consumo de aglomerante. Analisando, no entanto, as evoluções percentuais do módulo de deformação em relação à idade de 28 dias, em função do consumo de aglomerante, nota-se que às baixas idades (até 28 dias) os concretos mais ricos têm maior evolução ao passo que a partir de 90 dias a evolução percentual do módulo passa a independe do consumo de aglomerante. Novamente credita-se à influência do agregado no módulo de deformação esse comportamento, nas idades mais avançadas.

O agregado até certo ponto considerado inerte entra na composição do concreto com volumes sólidos que variam entre 65 e 85% do volume total do concreto. Por outro lado, os módulos de deformação dos agregados em geral são superiores a 800 mil kgf/cm^2 e, dependendo do tipo de rocha da qual se originam, podem atingir valores da ordem de 2 milhões de kgf/cm^2 .

Estes dois fatores conferem ao agregado importância significativa sobre o módulo de deformação do concreto. Este fato é evidenciado, no entanto, a idades mais avançadas já que às primeiras idades, a pasta de cimento, por ser o ligante dos agregados e por apresentar módulo baixo, exerce grande influência no módulo de deformação da mistura.

5.3.2.4 Coeficiente de Poisson

Um corpo de prova ao ser submetido a um carregamento axial simples apresenta deformações na direção da aplicação da carga e lateralmente. A relação entre a deformação lateral e a deformação axial dentro dos limites da elasticidade é denominada de "Coeficiente de Poisson" por ter sido esse Físico quem demonstrou ser teoricamente, essa relação igual a 0,25, para materiais isotrópicos.

O Coeficiente de Poisson não é considerado na maioria dos cálculos de concreto; entretanto, em casos específicos esse conhecimento é necessário.

A determinação do Coeficiente de Poisson é feita pelo mesmo método de ensaio que usado para a determinação do Módulo de Deformação, complementando-se com a medida de deformação lateral (ver Figura 9.29).

Na maioria dos concretos observa-se valores entre 0,16 e 0,20, podendo-se ter valores extremos entre 0,11 e 0,27.

Nos concretos usuais, o Coeficiente de Poisson é muito pouco influenciado pela resistência do concreto, conteúdo de cimento ou graduação dos agregados. Alguns resultados mostram que o Coeficiente de Poisson é ligeiramente maior para menores tensões e que aumenta com a idade do concreto até 1 ou 2 anos.

5.3.2.5 Fluência

A complexidade do fenômeno das deformações que o concreto apresenta quando submetido a um estado de tensão (seja por cargas externas ou internas, tais como variações volumétricas devidas à retração hidráulica, variações de temperatura etc.) tem sido objeto de pesquisas, teorias e ensaios desde os primórdios da tecnologia desse material.

A própria conceituação de módulo de deformação bem como sua determinação tem sido feita por diferentes pesquisadores, de diferentes nacionalidades, em função do comportamento peculiar desse material.

É sabido que, de maneira geral, vários materiais, quando submetidos a um estado de tensão constante, apresenta uma deformação inicial seguida por um aumento gradual, não mais linear, de deformação, sem que haja alterações no estado das tensões iniciais aplicadas. Um exemplo clássico para ilustrar esse comportamento bem como as consequências do mesmo são considerações feitas para a perda de carga dos cabos protendidos.

O concreto também se comporta de maneira similar só que de modo bem mais complexo em razão da heterogeneidade dos materiais que o constituem (aglomerantes, água, agregados de diferentes tipos e dimensões, ar incorporado e aditivos) e do próprio processo de hidratação, colocação, adensamento e cura do mesmo.

As propriedades do concreto são ainda modificadas pelo tempo após moldagem e condições de umidade e temperatura, às quais está exposto durante sua vida útil.

Ao fenômeno de aumento de deformação com o tempo que o concreto apresenta quando submetido a uma carga constante tem-se chamado quase que internacionalmente, de "Creep". No meio tecnológico brasileiro, o fenômeno tem sido mais conhecido como fluência ou, deformação lenta.

Às consequências desse fenômeno, ou seja, perda de carga sob deformação constante, denomina-se relaxação de tensões por fluência.

As considerações a respeito da fluência do concreto devem levar em consideração os dois componentes básicos do mesmo, ou seja, a pasta e o agregado.

Também se tem verificado experimentalmente que a fluência é tanto maior quanto maior a tensão aplicada, aumentando ainda mais quando o gradiente de umidade na peça de concreto cresce, em relação ao ambiente.

Com efeito, à medida que crescem as tensões aplicadas ou os gradientes da umidade, mais fácil se torna o escoamento ou movimento da água de uns para outros locais.

Assim como a deformação "elástica" instantânea é proporcional à carga aplicada, também o valor de fluência, bem como a velocidade com que a mesma se processa, dependem da intensidade da carga aplicada.

O ensaio da fluência consiste em se determinar a deformação total provocada por uma carga constante aplicada e mantida por um período mínimo necessário para que as deformações se estabilizem.

A intensidade da carga aplicada é limitada ao redor de 40% da tensão de ruptura do concreto na idade do carregamento.

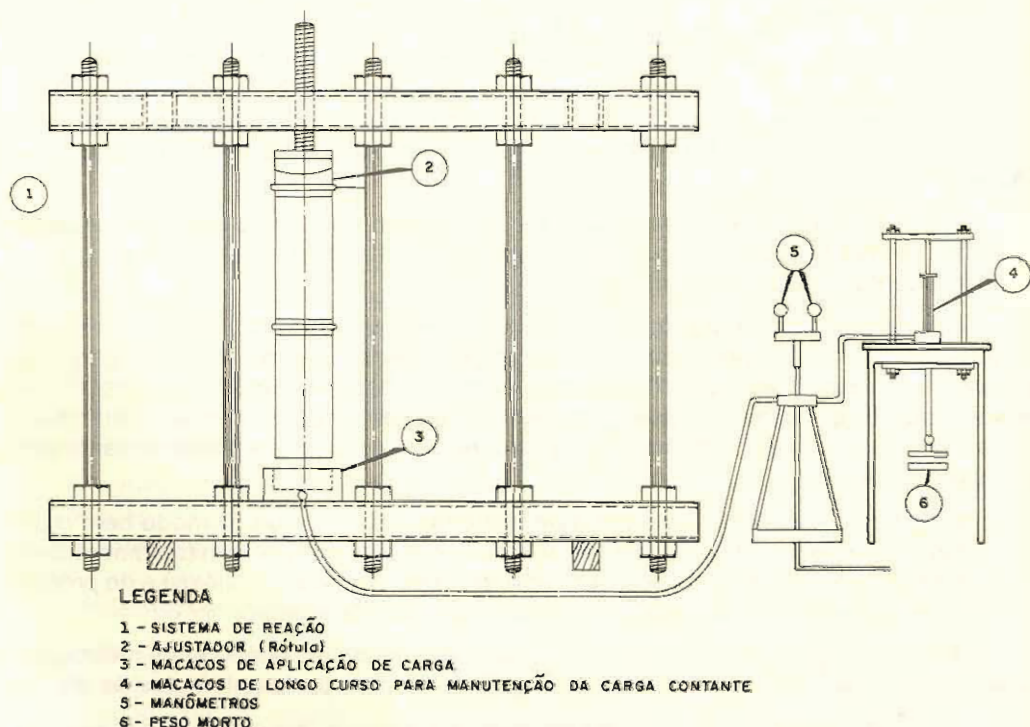


Figura 5.34 - Esquema de aparelhagem e ensaio para determinação da fluência

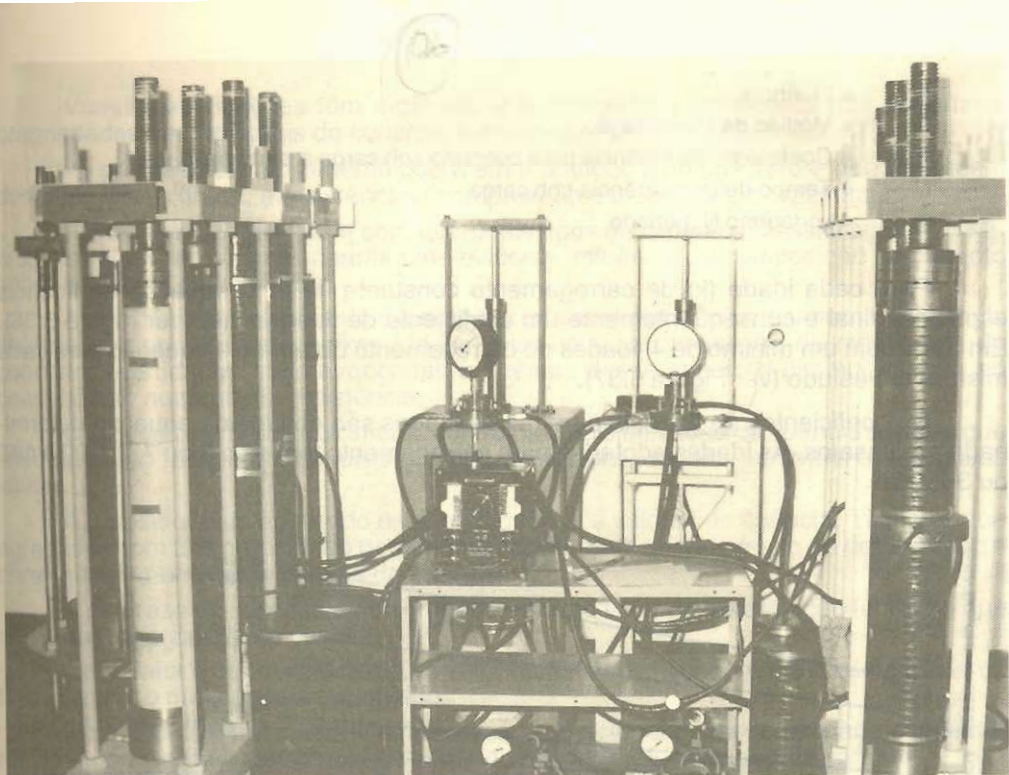


Figura 5.35 - Corpos de prova submetidos ao carregamento no ensaio de fluência - Itaipu

Após o ensaio, a fluência do concreto pode ser obtida com auxílio de funções, tais como:

- Funções de potência.
- Funções hiperbólicas.
- Funções exponenciais.
- Funções logarítmicas.

A função mais adotada é a expressão logarítmica, desenvolvida pelo U.S. Bureau of Reclamation [5.24] baseada na suposição de que o coeficiente de fluência específica é inversamente proporcional ao tempo.

Quando as deformações elásticas e as de fluência são consideradas juntas, a deformação específica total para qualquer idade após o carregamento é obtida pela expressão:

$$\epsilon = \frac{1}{E} + f(k) \lg(t+1) \quad \text{onde:}$$

- ϵ = Fluência
 E = Módulo de Deformação
 $f(k)$ = Coeficiente de Fluência para concreto sob carga a partir da idade K
 t = Tempo de permanência sob carga
 \lg = Logaritmo Neperiano

Para cada idade (k) de carregamento constante há uma equação da fluência específica final e conseqüentemente um coeficiente de fluência $f(k)$ (ver Figura 5.36). Em geral com um mínimo de 4 idades de carregamento obtém-se a equação para cada mistura em estudo (ver Figura 5.37).

Os coeficientes de fluência para outras idades são obtidos da equação determinada por ensaios. As idades adotadas para carregamento tem sido 3 ou 7, 28, 90 e 180 ou 365 dias.

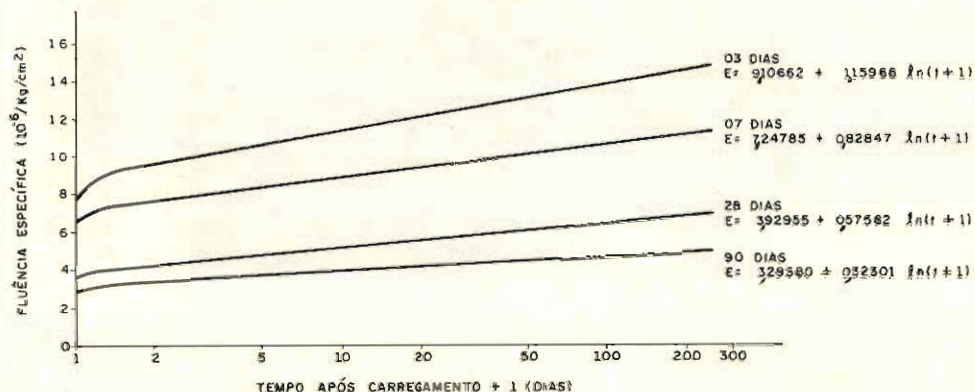


Figura 5.36 - Curvas de Fluência [5.25]

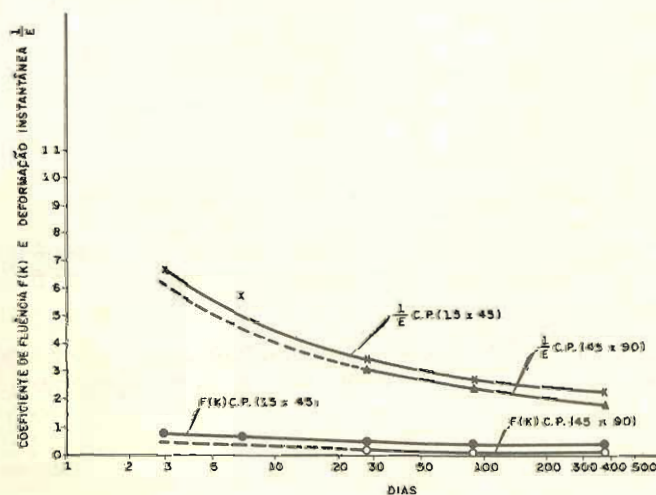


Figura 5.37 - Variação da fluência do concreto em função da quantidade de agregados comparando resultados de ensaios de concretos integrais e peneirados [5.25]

Várias investigações têm mostrado a complexidade de fatores que afetam as propriedades fundamentais do concreto e conseqüentemente a fluência.

As propriedades do cimento que afetam a fluência do concreto e que merecem destaque são: a finura, a resistência a compressão e a composição química.

Ensaio realizados [5.24] com diferentes tipos de cimento (Classificação ASTM), mostram de acordo com as finuras uma evidente influência da composição do cimento sobre a fluência de concretos.

A substituição de parte do cimento por material pozolânico, aumenta o valor da fluência do concreto para baixas idades, pois há uma diminuição da resistência do concreto. Nas idades mais avançadas a fluência desse concreto diminui, devido ao conseqüente aumento da resistência.

O aumento da finura do cimento conduz a uma diminuição da fluência sempre que esse aumento resulte em maiores tensões da ruptura preponderantemente às baixas idades.

A porosidade do agregado está interligada aos valores de fluência, uma vez que agregados com alta porosidade geralmente apresentam baixo módulo de deformação e conseqüentemente altos valores de fluência.

A natureza da superfície do agregado influi no valor da deformação lenta, no que se refere à ligação com a pasta.

Outro fator a ser considerado no valor da fluência do concreto é a intensidade da tensão a que o mesmo está submetido.

Para uma mesma mistura, a fluência é proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência do concreto na idade de aplicação da carga.

A umidade relativa do meio ambiente tem influência direta sobre a deformação lenta, afetando a umidade interior do concreto sob carga.

Observa-se que concretos ensaiados em ambientes secos apresentam coeficientes de fluência e fluência específica finais mais altos do que concretos saturados.

Deve-se distinguir a deformação devido à fluência da retração por secagem. Esta última ocorre ao longo do tempo, e é devida ao movimento da água do ou para o meio ambiente, independente da tensão aplicada.

Como concretos expostos a baixas umidades relativas contraem-se, é possível que o valor da fluência seja afetado pela retração por secagem. Entretanto, isso não deve ser necessariamente interpretado como sendo somente a retração por secagem que afeta a fluência, mas apenas que os dois fenômenos são influenciados por um processo comum durante a secagem.

A fluência não depende somente da perda da água do concreto durante a carga, mas também da umidade presente quando o carregamento é aplicado, isto é depende da umidade relativa durante a cura, antes do carregamento.

A fluência de um material está associada a outra propriedade, a relaxação. A fluência e a relaxação são dois aspectos de um mesmo fenômeno: a dissipação da energia de deformação em energia interna. Por definição, a relaxação é uma redução de tensão com o tempo sob uma deformação constante (material apresentando restrições à deformação).

Dessa forma, com o conhecimento prévio do valor da fluência e através de transformações, obtém-se a relaxação que é de fundamental importância para o projeto de estruturas de concreto, já que a mesma poderá gerar efeitos benéficos ou não.

No caso de estruturas massivas de concreto, a relaxação das tensões de origem térmica é benéfica ao comportamento da estrutura, porque quanto maior a fluência do concreto, maior a relaxação das tensões, reduzindo a possibilidade de aparecimento de fissuras oriundas de variações de temperatura.

Para estruturas de concreto protendido, a relaxação provoca a redução no valor da protensão do aço e conseqüentemente modificações no estado de tensões. Portanto, nessas estruturas o uso de concreto de menor fluência acarreta menores perdas à estrutura protendida.

Nos casos de protensão, o conhecimento prévio da fluência do concreto possibilita acrescer o valor de carregamento de modo a obter, no final, a carga de projeto.

5.3.2.6 Variações de Volume e Retração por Secagem

As principais variações de volume que podem ocorrer no concreto são causadas por sedimentação do concreto fresco, reações químicas entre o cimento e água, reações dos álcalis do cimento com certos agregados reativos, variações na umidade do concreto, variações na temperatura e pela aplicação da carga.

As variações de volume devido às reações intrínsecas do concreto são chamadas de variações autógenas, como no caso do interior de grandes blocos de concreto. As variações de volume causadas pela variação de umidade são conhecidas como retração por secagem. Quando o concreto perde umidade ele se contrai e quando ganha umidade expande.

Como a maioria dos materiais, o concreto expande com o aumento de temperatura e retrai em caso contrário. Esse comportamento é amplamente analisado nos estudos e projetos de concretos massa para barragens.

Cimentos com álcalis reagindo com certos agregados podem apresentar expansões. O efeito de carregamentos rápidos também causam deformações, geralmente elásticas, e que podem ser consideradas pelo Módulo de Deformação e pelo Coeficiente de Poisson.

Em termos práticos, as variações de volume, normalmente, são determinadas pela variação de comprimento. A maneira mais usual é utilizando a deformação específica multiplicada por 10^{-6} . Por exemplo 1.000×10^{-6} corresponde a 0,1% ou 0,1 cm por metro. Com base no ACI-207 [5.26], a retração por secagem varia de 200×10^{-6} , para misturas de baixo abatimento, até acima de 1.000×10^{-6} para argamassas ricas ou concretos contendo alto teor de água e agregado de má qualidade.

O efeito da variação de volume nas estruturas de concreto não seria prejudicial se houvesse liberdade de se movimentar, entretanto, isso não acontece devido ao contato com a fundação, a existência de armadura, concretos adjacentes sujeitos a outras condições que ofereçam restrições impedindo a mobilidade da estrutura. Esse impedimento à movimentação induz ao aparecimento de tensões de tração que podem romper o concreto. Por outro lado, entretanto, uma fissura pode não ser prejudicial à integridade estrutural da peça de concreto, mas pode ter influência no aspecto arquitetônico e na durabilidade.

Quando o concreto em endurecimento é exposto a ambiente com umidade relativa baixa, ele tende a perder água para o ambiente e, decorrente disso, contrai-se.

Quando o cimento é misturado com a água dá-se início às reações de hidratação, cujos produtos consistem essencialmente em materiais cristalinos (principalmente hidróxido de cálcio) e uma grande quantidade de gel de silicato de cálcio endurecido conhecido como gel de tobermorita. Este gel é rígido e constituído de partículas de tamanho coloidal com uma superfície extremamente grande. Na pasta endurecida do

cimento parte da água excedente à necessária para a hidratação está nos poros, e capilares da mesma e outra parte, no interior do gel de tobermorita. Atribui-se a retração hidráulica à perda da água absorvida por esse gel.

Embora quando submetido a um processo de secagem a água que primeiro é perdida para o ambiente seja aquela que ocupa os poros e capilares da pasta, a retração devida a essa perda é desprezível.

São as forças capilares devidas à perda da água absorvida pelo gel as responsáveis pela retração por secagem e, conseqüentemente, pelo aumento de volume no processo inverso.

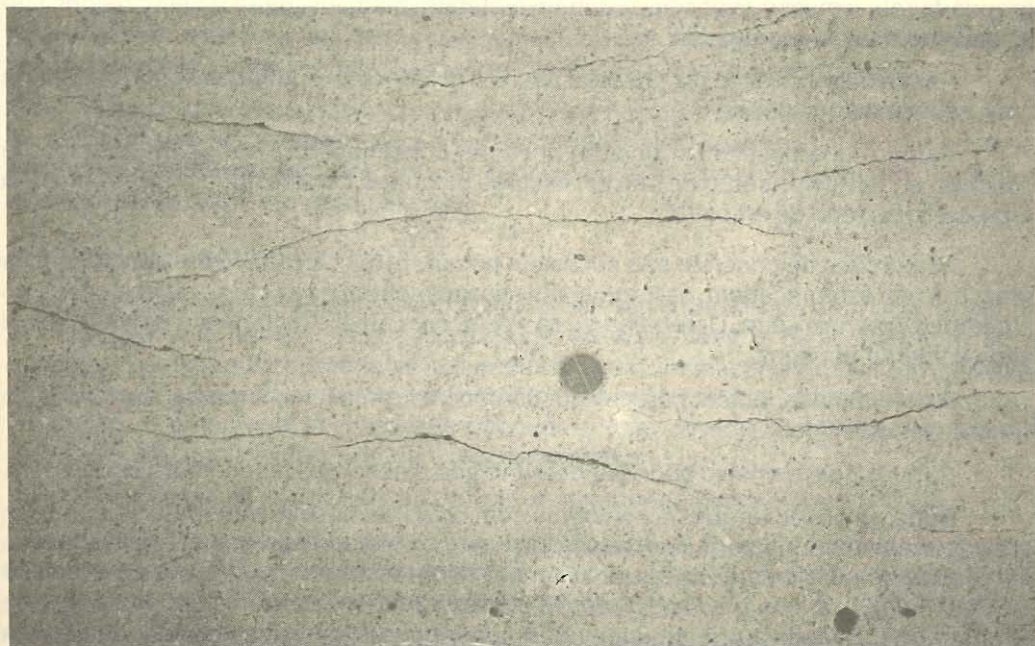


Figura 5.38 - Fissuração devida à retração por secagem

Os fatores de maior influência na intensidade da retração por secagem do concreto são a quantidade de água por metro cúbico da mistura, tipo e quantidade agregado, composição e finura do cimento e as próprias dimensões das peças concretadas.

Como as variações volumétricas do concreto ocorrem fundamentalmente como conseqüência da água absorvida pelo gel de tobermonita, a quantidade de água usada na mistura passa a ser o principal fator de influência na intensidade do fenômeno.

Os agregados que ocupam um volume da ordem de 80% do concreto alteram o valor da retração por secagem, agindo como restrição interna às variações de volume da pasta, em intensidade que varia com a própria quantidade do agregado e rigidez do mesmo e/ou pela retração ou expansão do próprio agregado em função de sua absorção.

Portanto, o uso de agregados com baixa absorção e o baixo módulo de elasticidade são, do ponto de vista da retração por secagem, aconselháveis para minimizar fissuras devidas a esse fenômeno.

Não resta dúvida também de que concretos com agregados de diâmetros máximos maiores apresentam menor tendência a retração por secagem.

5.3.2.7 Massa Específica do Concreto Endurecido

A massa específica é uma das características importantes do concreto, principalmente levando-se em conta sua aplicabilidade em estruturas quer do tipo gravidade, quer sejam peças estruturais leves, quer sejam peças divisórias etc... Como outras propriedades, a massa específica também é afetada pela qualidade e pela composição granulométrica dos agregados.

Para a determinação da massa específica do concreto endurecido deve ser usada uma balança hidrostática.

Sempre que possível a amostra deve ser constituída por vários fragmentos do concreto endurecido, isento de trincas, fissuras ou outros detalhes que possam afetar a representatividade da amostra.

As porções de concreto são secas em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ até a constância de massa. Após essa secagem, os fragmentos são imersos em água até se obter a condição saturada superfície seca. Determina-se também, com auxílio da balança hidrostática, a massa imersa em água.

É determinada, então, por meio da diferença das massas, a massa específica do concreto endurecido.

Através desse ensaio pode ser determinada a absorção do concreto endurecido.

Pode-se observar que os concretos com britas de basalto têm massa específica sensivelmente maior do que concretos com seixos rolados de quartzito. Isto porque os agregados britados a partir do basalto (Ver item 3.5) têm massa específica maior ($\gamma_{\text{SSS}} = 2.900 \text{ kg/m}^3$) do que o seixo rolado de quartzito ($\gamma_{\text{SSS}} = 2.600 \text{ kg/m}^3$). Observa-se também que, à medida que se aumenta o tamanho máximo do agregado, se eleva a massa específica do concreto. Isto devido aos concretos mais "grossos" (com elevado diâmetro máximo) possuírem menor quantidade de vazios a ser preenchido por argamassa que, normalmente, tem menor massa específica do que o agregado.

A incorporação de ar, embora reduza o teor de água da mistura (o que poderia ser um fator para o aumento da massa específica do concreto), diminui a massa específica do concreto.

Concretos pesados, como agregados metálicos, apresentam massa específica ao redor de 4.000 kg/m^3 . Concretos leves ou expandidos podem apresentar baixa massa específica. Nestes casos, o aumento do teor de argamassa aumenta a massa específica.

O adensamento também afeta a massa específica, além de alterar outras propriedades.

5.3.2.8 Propriedades Térmicas

A elevação adiabática de temperatura, expansão térmica, difusividade, calor específico e condutividade térmica são fenômenos sempre associados ao concreto e

que podem ter, isolada ou conjuntamente, importância fundamental no projeto e planejamento de construção das estruturas. Em obras de concreto massa ou sujeitas a gradientes de temperaturas extremas (vazos de reatores nucleares por exemplo) as considerações dessas propriedades podem ser prioritárias em relação a outras, tais como resistências, módulo de deformação etc. para se manter a integridade da estrutura em serviço.

Mesmo em obras de outras características estruturais e menos sujeitas a grandes gradientes de temperatura, tais como pontes, pavimentos, edifícios etc., a consideração de uma ou mais dessas propriedades está sempre vinculada, com menor ou maior grau de importância, aos critérios de dimensionamento.

Os valores dessas propriedades são, no entanto, variáveis de concreto para concreto, em razão da própria heterogeneidade dos materiais que o compõem, do proporcionamento desses materiais e das condições a que ficam expostos.

As análises dos principais fatores que exercem influência nessas propriedades e os procedimentos de ensaio para suas determinações, a serem feitas nos subitens seguintes, estão mais voltadas para as condições de temperatura ambiente normais a que o concreto está, em geral, exposto.

Expansão Térmica

O coeficiente de expansão térmica (α) é definido como sendo a variação linear de um comprimento unitário, causada por uma variação unitária de temperatura ou a variação causada por uma variação volumétrica de um volume unitário também causada por uma variação unitária de temperatura. Como o concreto é um material considerado isotrópico, a determinação dessa propriedade é feita através da variação linear e é definida como coeficiente linear de expansão térmica.

É expresso normalmente em termos de deformação específica por 0°C .

A determinação do coeficiente de expansão térmica linear do concreto se resume em conhecer a relação entre a variação de comprimento do concreto e a variação de temperatura que provocou essa variação de comprimento.

O concreto deve ser moldado integral (sem peneiramento) em corpos de provas cilíndricos de dimensões compatíveis com o diâmetro máximo do agregado. Após a desmoldagem e antes do início de ensaio o corpo de prova deve permanecer imerso em água por um período mínimo de 48 horas.

O corpo de prova deve permanecer em cada câmara pelo tempo necessário para que todo o concreto entre em equilíbrio térmico com o ambiente. Para corpos de prova de até ϕ 25 x 50 cm têm-se constatado que 24 horas são suficientes para essa estabilização.

Para corpos de prova maiores, ensaios prévios devem ser feitos para se determinar o tempo mínimo de permanência do mesmo em cada câmara, para que todo o concreto entre em equilíbrio com o ambiente.

Para que não haja perda de umidade do concreto durante o período de ensaio podem ser adotados dois procedimentos. O corpo de prova ser protegido com borracha natural na superfície e placas de aço nos topos ou permanecer imerso em água durante todo o período de ensaio.

A expansão térmica é um fenômeno físico comum a todos os materiais. A expansão térmica do concreto passa a ser um fenômeno físico complexo pela expansão diferencial e proporcionamento dos materiais básicos que o compõem, ou seja, a pasta de cimento e os agregados.

A composição mineral e a estrutura cristalina dos agregados são os fatores que maior influência exercem no coeficiente de expansão térmica do concreto, embora a pasta de cimento tenha em geral, coeficiente de expansão térmica superior ao do agregado.

Este fato é facilmente entendido quando se observa que os agregados representam de 70 a 85% do volume total do concreto endurecido.

O coeficiente de expansão térmica das rochas geralmente usadas como agregados para concreto variam de valores de $3,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $12,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Resultados de investigações científicas feitas em vários países [5.12] indicam que o principal fator que influencia a expansão térmica da rocha e, por conseguinte, do concreto, é a quantidade de quartzo. Rochas com formação predominantemente do quartzo, tais como quartzitos e arenitos, tem coeficientes de expansão térmica linear ao redor de $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. As rochas com baixa porcentagem de quartzo na sua composição tais como calcário apresentam baixos coeficientes de expansão térmica qual seja, da ordem de $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Os granitos, riolitos, basaltos, etc., têm porcentagens intermediárias de quartzo e também valores de expansão térmica entre 5 a $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

O grau de saturação do concreto tem também influência no valor do coeficiente de expansão térmica do mesmo. Concretos secos ou saturados apresentam coeficientes similares, mas situações intermediárias de umidade podem aumentar em até 20% este valor [5.28].

Outros fatores que podem exercer influência, embora em pequena intensidade, na expansão térmica do concreto são o tipo e finura do cimento e a quantidade de ar incorporado.

Quando o concreto é submetido a elevadas temperaturas, a variação de volume da pasta propriamente dita é uma outra variação baseada no movimento migratório das águas dos capilares e dos poros do gel.

Calor Específico

O calor específico de um material é definido como sendo a quantidade de calor necessária para elevar de uma unidade de temperatura, uma unidade de massa desse material. Para o concreto, o calor específico é definido dentro de faixas limitadas de temperatura e umidade.

O método para determinação do calor específico do concreto se resume em fornecer uma certa quantidade de calor a um bloco de concreto de massa conhecida, mantido isolado termicamente, e se medir, nessas condições a variação de temperatura em conseqüências do calor fornecido.

Usa-se um corpo de prova de concreto, de dimensões compatíveis com o equipamento de ensaio (diâmetro ϕ 0,20 x 40 cm), provido de um orifício central pelo eixo, para permitir a colocação do aquecedor e do agitador no interior do mesmo.

Mantém-se o corpo de prova imerso em água por um período mínimo de 48 horas para a saturação completa do concreto, já que este fator tem grande influência no valor do seu calor específico.

No instante da colocação do corpo de prova, dentro do calorímetro, o concreto deve estar na condição saturado superfície seca.

Para a execução de ensaios com o concreto não saturado, deve-se isolar o corpo de provas para que o mesmo mantenha constante, durante o período de ensaio, o teor de umidade.

Embora durante o ensaio o corpo de prova fique armazenado dentro de uma câmara isolada termicamente, há necessidade de uma aferição desse sistema, já que o isolamento não pode ser considerado suficiente para que as perdas possam ser desprezadas. É necessário também o conhecimento da parcela de energia absorvida pelos elementos que também recebem calor do aquecedor, quais sejam, recipiente interno e tampa, água, sistemas de agitação e medição da temperatura.

Para tanto, os componentes dos calorímetros são construídos de materiais de calores específicos conhecidos (aço e cobre) e a água usada deve ser destilada.

Conhecidas as massas exatas desses elementos, e usando-se um corpo de prova-padrão (tem-se usado alumínio), executa-se uma série de ensaios prévios a diferentes temperaturas, determinando-se perdas do calorímetro.

Após a colocação do corpo de prova na câmara adiabática é ligado o agitador por um período aproximado de 30 minutos, até se obter o equilíbrio térmico do concreto, da água e demais componentes internos da câmara.

Fornece-se então uma quantidade de calor conhecida para aumentar a temperatura do conjunto, com leituras periódicas dos valores intermediários de temperatura.

Desliga-se o aquecedor acompanhando os valores de temperatura até se obter o equilíbrio térmico do conjunto.

Nos cálculos do calor específico do concreto, leva-se em consideração a temperatura máxima do ensaio, as perdas do calorímetro e as quantidades de calor absorvida pela água destilada e demais componentes internos ao isolamento.

O calor específico do concreto é influenciado pelo tipo e quantidade dos elementos que o compõem (principalmente agregados) e pela temperatura a que está sujeito quando de sua determinação.

No entanto, é o grau de saturação o elemento que mais provoca variações nessa propriedade.

Condutividade Térmica

A condutividade térmica é a propriedade que mede a habilidade (facilidade) do material para conduzir calor, sendo definida como a razão do fluxo de calor para um gradiente de temperatura. Ela é medida em joules por segundo por metro quadrado de área, quando há uma diferença de temperatura de 1°C em uma espessura de 1 m do material.

A determinação da condutividade do concreto é feita normalmente em corpos de provas cilíndricos com um furo central ao longo de seu eixo.

Através de um sistema de aquecimento na parte interior do corpo de prova e de banho de água e temperatura constante na parte externa é mantido um gradiente de temperatura que provoca um fluxo de calor através do concreto.

Para que esse fluxo seja unidirecional, os topos do corpo de provas são isolados termicamente.

A preparação do corpo de prova para o ensaio consiste, basicamente, em se isolar termicamente a base e o topo do mesmo, após saturação por um período de 48 horas, e instalar o termômetro, aquecedor e agitador no furo central e completar o furo com água.

Complementarmente é feita a vedação desse furo para impedir trocas da água exterior com a do interior do furo.

Após a colocação do corpo de provas no tanque de ensaio, a determinação da condutividade térmica é feita mantendo-se um fluxo de calor do interior para o exterior, através de uma diferença de temperatura entre esses dois pontos, da ordem de 40°C .

O ensaio é dividido em suas etapas:

Na primeira etapa, com duração aproximada de 30 minutos, aquece-se a água do banho externo até a temperatura desejada, quando então, com auxílio de um sistema automático de controle, a mesma é mantida constante pelos aquecedores instalados no tanque de água "temperatura". A temperatura do centro do corpo de prova é conseguida através do aquecedor instalado no mesmo.

Em paralelo à fase de aquecimento, os sistemas de circulação e homogeneização das águas interna e externa ao corpo de prova já estão ligados.

Inicia-se o ensaio que consiste em manter constante, por um período de aproximadamente 2 horas, a diferença de temperatura (40°C) entre as faces (interna e externa) do corpo de provas. Nesse período, lê-se, a intervalos aproximados de 10 minutos, a quantidade de calor que está sendo fornecida ao centro do corpo de prova para manutenção do gradiente de temperatura pré-fixado.

Na consideração da quantidade de calor fornecida ao corpo de prova deve-se levar em conta o calor fornecido pelo agitador interno e o calor perdido. Esses parâmetros são obtidos por ensaios prévios de aferição do sistema.

A condutividade térmica dos concretos é grandemente influenciada pelas características mineralógicas e quantidade dos agregados que o compõe e pelo seu grau de saturação. Nos concretos com agregados leves, a influência do grau de saturação se torna mais pronunciada, em razão da grande diferença das condutividades térmicas do ar e da água.

A massa específica do concreto tem, também, pouca influência na condutividade térmica do concreto.

Difusividade Térmica

A partir do conhecimento do valor da condutividade térmica, do calor específico e da massa específica do concreto obtém-se a difusividade térmica do concreto, que representa a velocidade em que ocorrem variações da temperatura de uma massa e é calculada por:

$$h_2 = \frac{K}{\gamma C}, \text{ onde}$$

h_2	= Difusividade térmica
C	= Calor específico
γ	= Massa Específica
K	= Condutividade térmica

Desta expressão conclui-se que a difusividade térmica é influenciada por todos os fatores que exercem influência nas demais propriedades que a ela se relacionam.

Elevação Adiabática de Temperatura

Um corpo é considerado em condição adiabática quando não há trocas de calor entre ele e o ambiente que o envolve. A hidratação do cimento, sendo uma reação química exotérmica, provoca liberação de calor. Nesse sentido, a elevação adiabática do concreto é conceituada como sendo a diferença entre a temperatura máxima que a massa de concreto atinge, menos a temperatura da mistura dos vários ingredientes, diferença esta provocada unicamente pelo calor gerado pela hidratação do aglomerante, sem trocas com o meio ambiente.

O método para determinação da evolução adiabática de temperatura do concreto consiste em controlar a temperatura de uma câmara, dentro da qual fica o concreto em ensaio, de tal forma que a temperatura dessa câmara seja sempre "igual" (diferença máxima de $0,05^\circ\text{C}$) à do concreto em hidratação, determinando-se a curva da evolução de temperatura do concreto em ensaio.

O corpo de prova para ensaios de elevação adiabática de temperatura deve ter dimensões suficientes para um volume de concreto de no mínimo $0,3 \text{ m}^3$ e ser, de preferência, tronco cônico, de base e altura iguais, para facilitar a desmoldagem e distribuição do calor ao seu redor.

Embora o ambiente seja controlado para ter temperatura igual à do concreto, aconselha-se um sistema de isolamento do próprio molde, para aumentar a precisão do ensaio.

Fica evidente que a elevação adiabática do concreto é diretamente proporcional ao consumo e calor de hidratação do aglomerante usado e inversamente proporcional ao calor específico e à massa específica do concreto.

A influência da variação do calor específico passa no entanto a ser desprezível em função dos seguintes parâmetros:

- O principal elemento de influência sobre o valor do calor específico é o grau de saturação do concreto e esse fator não é variável na elevação adiabática do concreto, em função das próprias características do ensaio (início do ensaio com o concreto ainda fresco e procedimento até o final sem perdas de umidade).
- A influência do tipo de agregado no calor específico é da ordem de no máximo 10% e menor em comparação que a influência do consumo e

calor de hidratação do aglomerante. Desse fato, conclui-se também que a influência do tipo de agregado é pequena na elevação adiabática do concreto.

- A influência da massa específica está mais relacionada para concretos confeccionados com agregados normais (excluídos os agregados leves e pesados), com dimensão máxima do agregado usado, que ao tipo de agregado.

Esse elemento de influência está, no entanto, ligado ao consumo de aglomerantes, já que, para concretos de mesma resistência e trabalhabilidade, o aumento da dimensão máxima do agregado é seguido de uma queda no consumo de aglomerante necessário.

Conclui-se que os elementos que têm influência marcante na elevação adiabática do concreto são o tipo e a quantidade de aglomerante.

Os compostos principais do cimento C_3S , C_2S , C_4AF , C_3A liberam quantidades diferentes de calor durante as reações de hidratação [5.28]. Portanto a quantidade de calor liberada, responsável pela elevação adiabática de temperatura, está diretamente ligada à composição química do cimento usado.

A finura do cimento tem influência apenas na velocidade de desenvolvimento das reações e não no valor final da quantidade de calor gerado. Desse fato decorre que as curvas de elevação adiabática de temperatura podem ter desenvolvimentos iniciais diferenciados quando o cimento usado apresenta finuras diferentes.

O uso de materiais pozolânicos tem influência marcante tanto no desenvolvimento da curva de evolução adiabática do concreto quanto no valor final dessa propriedade. Embora usados como produtos para combater os efeitos das reações dos álcalis do cimento (Na_2O e K_2O) com certos tipos de agregados, o emprego das pozolanas tem se generalizado também como elemento de redução de picos térmicos elevados em estruturas de caráter massivo.

A substituição de parte do cimento por materiais pozolânicos provoca uma queda acentuada tanto na velocidade de subida da temperatura do concreto, quanto no valor final da temperatura. Esse comportamento são explicados em primeiro lugar porque os materiais pozolânicos reagem com um subproduto (hidróxido de cálcio) da hidratação do cimento em idades mais avançadas e, em segundo lugar, porque o calor gerado pela reação dos materiais pozolânicos com hidróxido de cálcio é menor (cerca de 50%) que o gerado pelos componentes de uma massa equivalente de cimento.

A influência da quantidade de cimento na elevação adiabática de temperatura é por si só auto-explicativa, já que o cimento é a única fonte de geração de calor.

Aditivos retardadores e aceleradores de pega têm influência principalmente nas velocidades de elevação de temperatura do concreto nas primeiras idades já que nessas idades modificam (retardam ou aceleram) as velocidades das reações de hidratação do cimento e, conseqüentemente, a quantidade de calor liberado. Dentro desse contexto, a temperatura de início de ensaios pode ser considerada como um "aditivo", já que temperaturas baixas provocam um retardamento nas reações do cimento sendo que à medida que a temperatura de betonagem do concreto aumenta, as velocidades das reações são também maiores.

5.3.2.9 Permeabilidade e Absorção do Concreto

Para ser possível moldar o concreto de modo adequado é utilizada na mistura uma quantidade de água superior àquela estritamente necessária para completar as reações com o cimento e, assim, de uma outra maneira, parte dessa água fica aprisionada no interior, tornando-o poroso. Essa porosidade é aumentada devido a certa quantidade de ar que se introduz durante o preparo da mistura de concreto. Essa porosidade implica em uma permeabilidade do concreto.

A permeabilidade não é uma característica considerada nas estruturas usuais de concreto, entretanto, torna-se importante em estruturas como barragens e reservatórios. Em estruturas sujeitas a agentes agressivos à impermeabilidade do concreto é de relevante importância.

A água penetra no concreto de forma semelhante ao fenômeno de fluxo através de qualquer corpo poroso, ou por capilaridade. O concreto, quando submetido a uma pressão hidrostática, sofre inicialmente um efeito composto de penetração da água por capilaridade, que aumenta com a pressão existente. Completada a saturação do concreto as forças capilares cessam e o fluxo d'água através do mesmo passa a ser estável a uma intensidade que depende fundamentalmente da pressão exercida e das características do próprio concreto.

O método de ensaio mais difundido para determinação do coeficiente de permeabilidade de concretos foi desenvolvido pelo "Bureau of Reclamation - USA" com base na Lei de Darcy, onde a água é forçada através do corpo de prova com uma pressão (ao redor de 21 kgf/cm^2), e é medida a vazão de saída da água. Na Figura 5.39 é mostrado o aparelho e o esquema de ensaio. O corpo de prova é cilíndrico com $\phi 15 \times 15 \text{ cm}$, $\phi 25 \times 25 \text{ cm}$, $\phi 45 \times 45 \text{ cm}$, respectivamente para concretos com D Máx 38, 76 e 152 mm.

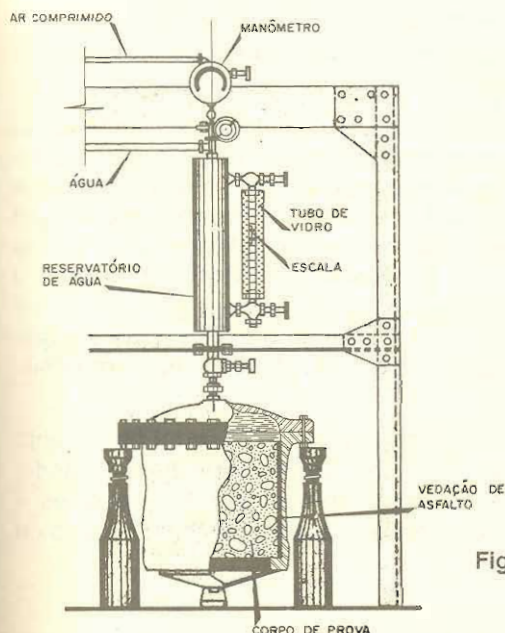


Figura 5.39 - Esquema e aparelho para ensaio da permeabilidade do concreto

O coeficiente de permeabilidade é calculado utilizando-se a Lei de Darcy, com a expressão:

$$K_p = \frac{Q.L}{A.H} \quad \text{sendo}$$

Q	= Vazão de água na entrada
L	= Comprimento do corpo de prova
A	= Área da seção transversal
H	= Pressão manométrica
K _p	= Coeficiente de permeabilidade

Na execução desse ensaio, os cuidados maiores a serem tomados referem-se à preparação e montagem do corpo de prova, controle da pressão aplicada e medida da vazão de água.

No que se refere à preparação dos corpos de prova, principalmente os moldados, há necessidade de um jateamento ou escovamento das superfícies para eliminação da nata que nelas se deposita e que pode falsear o valor da permeabilidade. Por outro lado, o espaço entre a superfície lateral do corpo de prova e a campânula de ensaio deve ficar perfeitamente estanque para que a água percole apenas pelo concreto.

A análise dos fatores que exercem influência na permeabilidade do concreto é feita considerando os concretos íntegros e bem adensados. O aumento de permeabilidade de um concreto em consequência de microfissuras e porosidade por deficiência de vibração é considerado como consequente de fatores alheios à propriedade do material.

Embora os agregados representem 65 a 85% do volume total do concreto são a composição da pasta e o seu grau de hidratação (e portanto a idade do concreto) os fatores de maior importância na permeabilidade e absorção do concreto.

Para pastas de mesma idade a permeabilidade, absorção e capilaridade do concreto são tanto menores, quanto maior o teor de cimento na mistura, ou seja, quanto menor for a relação água/cimento. A composição do cimento só afeta a permeabilidade no que concerne a sua maior ou menor rapidez de hidratação. Terminada a hidratação nem a porosidade nem o coeficiente de permeabilidade finais são influenciados. Dessa forma, pode-se concluir que há uma queda na permeabilidade do concreto com o aumento da idade, até que, terminada a hidratação, esses fatores passam a ser constantes. Deve-se considerar que a falta de cura adequada provoca a interrupção parcial ou total da hidratação do cimento tendo, dessa forma, influência na permeabilidade e porosidade do concreto.

É necessário ter em mente que a análise da influência do consumo de cimento na permeabilidade do concreto deve ser feita para concreto de mesma trabalhabilidade, tipo e dimensão máxima de agregado, já que o índice de vazios dos agregados é influenciado por esses fatores, trazendo como consequência, alterações no volume de pasta por metro cúbico do concreto.

Na Figura 5.40 pode ser observado o efeito do fator água/cimento no coeficiente de permeabilidade [5.29].

O uso de materiais pozolânicos é em geral benéfico do ponto de vista da permeabilidade do concreto, agindo como "filler" e, portanto, preenchendo os poros da pasta e, principalmente, reagindo com a cal liberada na hidratação do cimento. A cal sendo solúvel em água pode ser carregada, deixando poros e aumentando a permeabilidade e absorção do concreto.

O uso de aditivos plastificantes e incorporadores de ar tem também efeitos benéficos no que se refere à permeabilidade dos concretos. Os primeiros auxiliam na redução do fator água/cimento e os incorporadores formam microbolhas de ar isoladas e dificultam a formação de capilares durante a fase plástica do concreto.

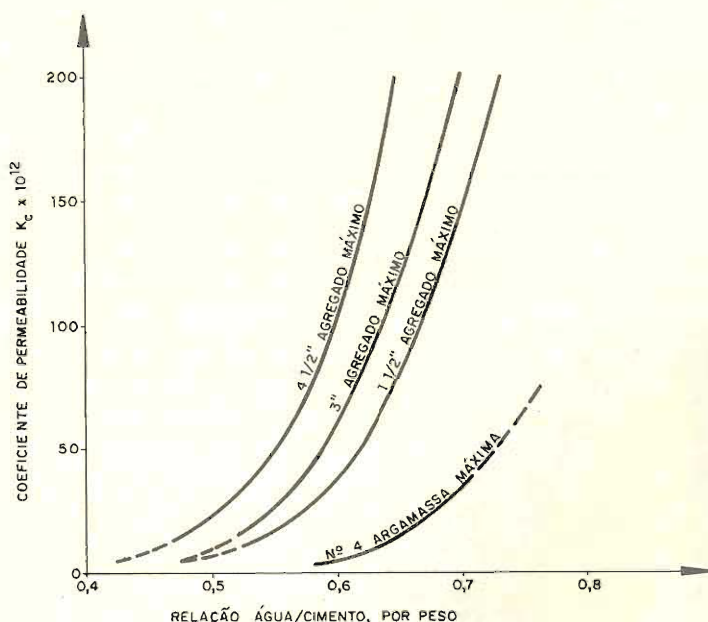


Figura 5.40 - Efeito do fator água/cimento na permeabilidade do concreto [5.29]

5.3.2.10 Durabilidade

O termo durabilidade engloba uma série de propriedades do concreto, estando intimamente ligado ao projeto estrutural, aos materiais, ao manuseio e às condições de exposição. De um modo geral pode-se dizer que a durabilidade é afetada pelos seguintes fatores:

- Características dos materiais componentes do concreto.
- Propriedades físicas do concreto endurecido.
- Condições de exposição.
- Cargas impostas à estrutura.

- Práticas usadas durante a construção.
- Projeto estrutural.

A durabilidade está inversamente relacionada com a relação A/C. Um concreto durável requer um bom adensamento, impermeabilidade, baixa absorção, baixa retração, isento de trincas e adequada quantidade de ar, um projeto estrutural adequado, inclusive com boas condições da fundação e sem mudanças abruptas de seção, uma armadura suficiente e corretamente colocada, especialmente ao redor de aberturas e cantos, juntas posicionadas criteriosamente, drenagem suficiente etc...

A durabilidade requer, também, materiais adequados, mão-de-obra qualificada.

Materiais deletérios podem causar a diminuição da durabilidade do concreto. No caso dos agregados, há necessidade de uma análise cuidadosa, a fim de verificar a qualidade dos mesmos. A reação álcalis-agregados pode ser adequadamente controlada por meio de providências tomadas com base em ensaios criteriosos.

Certas substâncias podem atacar o concreto, de modo a diminuir a sua durabilidade. Substâncias como ácido sulfúrico, nítrico, fluorídrico, alguns sais inorgânicos como cloretos, sulfatos de alumínio, cálcio amônia, alguns ácidos orgânicos como o acético e o láctico produzem desintegrações ou ataques ao concreto.

A água do mar pode causar deterioração do concreto, quer seja por ação química, quer seja por ação física, como devido à tumefação causada pela oxidação de materiais ferrosos - quer pela ação múltipla dos dois processos (ver Figuras 5.41 e 5.42).



Figura 5.41 - Desagregação do concreto devido à expansão por corrosão da armadura. Concreto de elevada permeabilidade e pequeno recobrimento da armadura

As regiões de clima severamente frio podem ter problemas quanto à durabilidade do concreto, causada pela ação do gelo-degelo. Essa deterioração pode ser causada também quando ocorrer grandes diferenças no coeficiente de expansão térmica dos agregados e da argamassa.

A durabilidade dos concretos pode ser acompanhada, ao longo do tempo, através de ensaios do tipo não destrutivo, tais como ciclagens e determinações do módulo de elasticidade dinâmico, ultra-som, esclerômetros etc.

O concreto também pode sofrer danos causados pela cavitação ou pela abrasão. A cavitação pode ocorrer em regiões sujeitas a alta velocidade d'água, onde houver uma deflexão abrupta, entre a linha de fluxo e a superfície de escoamento, resultando em turbulência, e conseqüentemente em áreas de subpressões, causando a remoção das partículas do concreto. Tais turbulências podem ocorrer devido a ângulos, cantos vivos, projeções ou depressões. A superfície erodida por cavitação é áspera, rugosa, com agregados à vista, dando o aspecto de uma "bicheira".

A erosão do concreto, por abrasão, pode ocorrer devido a sólidos (argila, areia, cascalhos etc.) carregados pela água. Bacias de dissipação de energia, que não tenham sido adequadamente limpas, podem ser erodidas pelo efeito abrasivo dos materiais sólidos na água.

A erosão do concreto pode resultar da formação de produtos solúveis que são removidos pelo fluxo de um líquido. O ataque por ácidos orgânicos ou inorgânicos pode ser desse tipo. A pasta de cimento tem desempenho distinto quando em contato com um desses ácidos.

Certos agentes podem combinar com elementos do cimento para formar compostos de baixa solubilidade mas que podem deteriorar o concreto por uma ação expansiva. É o caso das reações de soluções de sulfatos (sódio, magnésio e cálcio), com a cal hidratada, e o aluminato de cálcio hidratado, formando o sulfato de cálcio e cálcio sulfo aluminato, de caráter expansivo.

O concreto sendo submetido a ciclos alternados de molhagem e secagem, e na ocorrência de certos sais, tais como carbonato de sódio, pode sofrer deterioração na superfície, pela cristalização expansiva nos poros do concreto.

Alguns metais podem sofrer corrosão quando em contato com o concreto. O alumínio, ao ser exposto ao concreto fresco, pode ser atacado pelos álcalis na presença de água. O chumbo pode sofrer corrosão em contato com o concreto fresco, mas não sofre ataque após o endurecimento do concreto, ou na ausência de água.

A corrosão do aço da armadura evidencia-se pela fissuração e a esfoliação do concreto (ver Figuras 5.41 e 5.42).



Figura 5.42 - Desagregação do concreto devido à expansão por corrosão da armadura

6. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA (RECOMENDADA)

Neste item é apresentado um guia padrão para as ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS destinadas aos serviços de concretagem.

Este guia possui itens alternativos e comentários em vários pontos, procurando dar ênfase a determinados assuntos, ou buscando o esclarecimento dos mesmos.

6.1 Objeto dos Serviços

Esta seção trata da execução de todos os concretos das estruturas da obra. Os serviços compreendem o fornecimento de mão-de-obra, materiais, equipamentos e tudo o mais que for necessário para a confecção de concretos conforme definido no PROJETO, inclusive o suprimento, armazenamento, processamento e manuseio de cimento*, material pozolânico*, agregados, água, aditivos*, formas, armaduras*, fabricação, manuseio, transporte, colocação, compactação, proteção, cura acabamento e controle de qualidade dos materiais* e do concreto*, de acordo com estas ESPECIFICAÇÕES.

*NOTA: Em algumas obras, ou por preferência dos PROPRIETÁRIOS, alguns materiais, ou atividades (como o controle de qualidade) ficam fora do escopo do CONTRATO, fazendo parte de outro contrato ou até sob a responsabilidade do PROPRIETÁRIO ou de seu preposto.

6.2 Publicações e Normas Aplicáveis

"Normalmente neste item são feitas referências às publicações, normas e recomendações que eventualmente poderão complementar o arcabouço técnico das especificações.

De maneira geral este item é desenvolvido após a elaboração do texto, agrupando as referências citadas, e que especificamente neste texto recomendado pode ser baseado nas referências citadas no item 19."

6.3 Definições e Termos Técnicos

"Neste item faz-se constar uma listagem de termos técnicos e definições com o objetivo de, além de uniformizar o padrão dos trabalhos, facilitar a compreensão e entendimento, e ainda dar base legal ao CONTRATO. No Capítulo 18 é fornecida uma listagem de termos técnicos usuais para esses serviços."

6.4 Composição

O concreto será composto, basicamente, de cimento, água, agregado miúdo, agregado graúdo, aditivos, e material pozolânico*.

*NOTA: Alternativamente, em algumas especificações o material pozolânico é excluído.

O cimento deve ser o cimento Portland ("ou cimento Portland pozolânico, ou cimento Portland de escória de alto forno, ou outro tipo de cimento que se requeira especificamente para a obra ou para parte da obra").

Os aditivos podem ser do tipo incorporador de ar ("ou retardador de pega ou plastificante ou acelerador de pega ou retardador-plastificante").

A dosagem do concreto será de responsabilidade do CONSTRUTOR*, que fornecerá as misturas dos concretos a serem usados nas várias partes da obra.

*NOTA: Em algumas obras, a obrigatoriedade da dosagem é da FISCALIZAÇÃO, principalmente quando os materiais são supridos pelo PROPRIETÁRIO, e o aglomerante não é incluído no preço do concreto produzido.

6.5 Cimento

6.5.1 Características Gerais

O cimento a ser utilizado nas obras deverá ser o cimento Portland ("ou outro alternativamente"), cujas características deverão estar de acordo com a Figura A.

"A Figura A, na página seguinte, a título de exemplo fornece requisitos de várias especificações, que poderão cobrir a gama dos vários tipos de cimentos, normalmente utilizados nas obras".

6.5.2 Temperatura do Cimento

A temperatura do cimento à entrada do misturador não deverá exceder a 60°C, salvo se autorizado pela FISCALIZAÇÃO.

"O valor da temperatura máxima do cimento não tem sido um valor consensado, variando desde 40°C até 65°C. É prudente nessas oportunidades, tomar em consideração a temperatura e o clima da região onde se desenvolve a obra. Isto, pois um cimento com temperatura um pouco mais elevada, em uma região com temperatura mais baixa -o que significa agregados também com temperatura mais baixa- poderá ser menos prejudicial que o inverso, ou seja, temperatura do cimento um pouco mais baixa e os materiais com temperaturas próximas à do ambiente, com temperatura elevada".

6.5.3 Transporte

O cimento a ser utilizado poderá ser em sacos* ou a granel*.

*NOTA: A opção do transporte em sacos ou a granel está mais intimamente ligada às dimensões da obra do que como item de qualificação técnica.

Na utilização de cimento a granel, o transporte para o canteiro de obras deverá ser efetuado em veículos equipados com silos estanques, adequadamente construídos de forma a proteger completamente o cimento contra a umidade.

No transporte de cimento ensacado* as cargas deverão ser permanentemente protegidas por uma cobertura impermeável.

*NOTA: Alternativamente pode ser considerada a utilização de sacolões plásticos (com capacidade ao redor de 1,0 a 1,5 m³) que deverão ser protegidos da mesma forma que o cimento ensacado.

6.5.4 Armazenamento

No canteiro de obras, imediatamente após o recebimento, o cimento deverá ser armazenado em silos ou depósitos secos, convenientemente ventilados e estanques, equipados para impedir absorção de umidade pelo material. Todas instalações de armazenamento deverão ser submetidas à aprovação e deverão dispor de acesso fácil para inspeção e identificação.

Os silos ou galpões de armazenamento deverão ser construídos de tal forma a não estabelecer volumes mortos, e com uma capacidade que permita atender à demanda da obra, sem causar atrasos na programação de construção.

Figura A - Especificação Para Cimento

"Algumas especificações indicam a capacidade mínima de estocagem. Entretanto, é importante lembrar que essa capacidade mínima deverá refletir todas as dificuldades no suprimento e na demanda. Assim é que, por exemplo, uma obra no interior da Amazônia deverá ter um estoque mínimo, proporcionalmente maior que o de uma obra de mesmas dimensões, localizada próxima aos centros produtores de cimento."

O cimento ensacado não deverá ser armazenado em quantidade superior a 12 (doze) sacos por pilha, por um período de estocagem superior a 30 dias, nem com mais de 8 sacos por pilha, quando por períodos maiores.

"Não há plena concordância entre as várias especificações quanto aos parâmetros estabelecidos nesse parágrafo. Há variações de 10 a 15 sacos por pilha e um prazo de 15 a 30 dias, sendo que no caso de armazenagem mais prolongada há variação de 7 a 10 sacos por pilha."

Para evitar a utilização de cimento envelhecido, o Construtor deverá sempre utilizar o cimento na ordem cronológica de chegada à obra.

O cimento com mais de 4 (quatro) meses de armazenamento não deverá ser utilizado, salvo se, por meio de ensaios, ficar comprovada a obediência aos requisitos estabelecidos.

REQUISITOS FÍSICOS-QUÍMICOS	LIMITE	UNIDADE	ITAÍPU	TUCURUI		ILHA SOLT	ABNT	ÁGUA VERMELHA
			CINZA VOLANTE	ARGILA	CINZA VOLANTE	POZOLANA ARGILA		
DIÂMETRO MÉDIO DAS PARTÍCULAS	MÁX.	MICRON	-	-	-	9,0		9,0
RESTO DO RETIDO NA PENEIRA 325	MÁX.	%	34	34	34	12		12
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA - BLAINE-ARGILA CAULÍNICA	MÍN.	cm ² /g	-	-	-	-		6200
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA - BLAINE-CINZAS VOLANTES	MÍN.	cm ² /g	3500	-	-	-		4000
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA - BLAINE - DIATOMITO	MÍN.	cm ² /g	-	-	-	-		10000
EXPANSÃO EM AUTO-CLAVE	MÁX.	%	0,8	0,8	0,8	0,5		0,5
REATIVIDADE COM ÁLCALIS DO CIMENTO:								
- REDUÇÃO DA EXPANSÃO AOS 14 DIAS	MÍN.	%	-	-	-	75		75
- EXPANSÃO DA ARGAMASSA AOS 14 DIAS	MÁX.	%	0,02	-	-	0,02		0,02
ÍNDICE DE ATIVIDADE COM CIMENTO - 28 DIAS	MÍN.	%	75		75	75		75
ÍNDICE DE ATIVIDADE COM CAL AOS 7 DIAS	MÍN.	kg/cm ²	56	55	55	63		56
ÁGUA REQUERIDA EM RELAÇÃO AO CONTROLE	MÁX.	%	105	115	105	115		110
RETRAÇÃO POR SECAGEM DE BARRAS DE ARGAMASSA - 28 DIAS	MÁX.	%	0,03			0,03		0,03
UMIDADE	MÁX.	%	3,0	3,0	3,0	3,0		3,0
PERDA DE FOGO	MÁX.	%	12,0	10,0	12,0	10,0		10,0
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	MÍN.	%	70,0	70,0	70,0	70,0		70,0
ÓXIDO DE MAGNÉSIO	MÁX.	%	5,0	5,0	5,0	5,0		5,0
ANIDRIDO SULFÚRICO - SO ₃	MÁX.	%	3,0	4,0	5,0	3,0		3,0
EQUIVALENTE ALCALINO EM Na ₂ O	MÁX.	%	1,5	1,5	1,5	1,5		1,5
VARIAÇÃO DA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA EM RELAÇÃO A MÉDIA	MÁX.	%	15	-	-	-		-
VARIAÇÃO DO PESO ESPECÍFICO EM RELAÇÃO A MÉDIA	MÁX.	%	5	5	5	-		-
VARIAÇÃO DO RESÍDUO NA PENEIRA 325 EM RELAÇÃO A MÉDIA	MÁX.	%	-	5	5	-		-

Figura B: Especificações para material pozolânico

"A Figura B fornece, a título de exemplo, requisitos de materiais pozolânicos utilizados em algumas obras brasileiras."

6.6 Material Pozolânico

6.6.1 Características Gerais

O material pozolânico, se utilizado*, deverá atender aos requisitos da Figura B.

* NOTA: O emprego de material pozolânico não tem sido obrigatório nem tampouco genérico nos concretos das diversas obras brasileiras. Mesmo para a construção de barragens há especificações que não fazem exigências e sim uma opção alternativa.

6.6.2 Transporte

É válido o citado no item 6.5.3

6.6.3 Armazenamento

É valido o citado no item 6.5.4

6.7 Aditivos

6.7.1 Generalidades

Serão* empregadas no preparo dos concretos substâncias de ação química, física ou combinada, em dosagens estudadas, definidas e aprovadas, que proporcionem melhorias ou permitam controlar as propriedades dos concretos.

Os aditivos a serem utilizados nos concretos poderão* ser dos tipos descritos a seguir:

- Incorporador de ar.
- Redutor de água.
- Controlador de pega.
- Expansor.
- Outros.

*NOTA: A utilização de aditivos, ou de uso combinado de diversos aditivos, também não tem sido obrigatória nas especificações de concretos.

"Em algumas especificações há ainda contradições quanto ao uso, como por exemplo: o concreto é dosado pelo preposto do Proprietário, e o aditivo está considerado embutido no próprio custo do Construtor, mesmo sendo uma eventual melhoria das propriedades do concreto."

6.7.2 Características

Os aditivos deverão atender aos requisitos do ASTM-C 260 e ASTM-C 494*.

*NOTA: As especificações usualmente citam os requisitos do ASTM e os requisitos citados no Capítulo 8.

6.7.3 Armazenamento

Os aditivos devem ser armazenados em local abrigado de altas temperaturas.

Qualquer aditivo que for armazenado na obra por um período superior a seis meses não poderá ser usado antes que novos ensaios comprovem suas condições satisfatórias.

"São recomendáveis os cuidados e advertências citados no Capítulo 8."

6.8 Água

6.8.1 Água para mistura

A água para a mistura do concreto deverá atender aos requisitos da Figura C.

A água poderá ser adicionada como líquido ou sólido (gelo em escamas), devendo nesse caso o volume de cada escama permitir sua rápida mudança de estado (sólido-líquido) e mistura.

DISCRIMINAÇÃO DOS ITENS	VALORES MÁXIMOS ADOTADOS		
	CESP	ITAIPU	NB1 ABNT
CLORETOS (EXPRESSO EM IONS DE Cl^-)	500 mg/ℓ	5.000 mg/ℓ	500 mg/ℓ
SULFATOS (EXPRESSO EM IONS DE SO_4^{--})	300 mg/ℓ	5.000 mg/ℓ	300 mg/ℓ
SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO	5.000 mg/ℓ	2.000 mg/ℓ	5.000 mg/ℓ
CO ₂ LIVRE (PARA ÁGUA PURA)	5 mg/ℓ	-	-
MATÉRIA ORGÂNICA (EXPRESSA EM OXIGÊNIO CONSUMIDO)	3 mg/ℓ	-	3 mg/ℓ
AÇÚCAR	-	-	5 mg/ℓ
DIMINUIÇÃO DA RESISTÊNCIA	15 %	-	-
P H	5,8 A 8,0	-	5,8 A 8,0

Figura C: Requisitos para a Água de Mistura do Concreto

6.8.2 Água de Beneficiamento de Agregados

A água para o beneficiamento de agregados deverá atender aos requisitos da Figura C.

6.8.3 Água para a Cura do Concreto

A água para a cura do concreto deverá atender aos requisitos da Figura C.

"Em algumas especificações é comum se observar a ausência dos requisitos citados, aparentemente no lugar a frase: - a água para lavar os agregados e para a mistura e cura do concreto deverá ser doce e isenta de quantidades nocivas de óleos, ácido, sal, álcalis, matéria orgânica, silte, ou outras substâncias prejudiciais à qualidade do concreto: -; ou simplesmente a água deverá ser potável. Nota-se que essas citações, embora englobem um conceito qualitativo, são desprovidas de base quantitativa, o que dificulta a sua obediência."

6.9 Agregados

6.9.1 Origem e Beneficiamento dos Agregados

Os agregados deverão ser obtidos ou produzidos a partir de rochas ou fragmentos de rocha sã, densa, durável, resistente, inerte e livre de impurezas químicas ou películas de materiais que possam prejudicar a aderência da pasta de cimento.

Os agregados graúdos e miúdos serão produzidos de materiais aprovados provenientes de escavações a serem executadas* (ou de jazidas aprovadas* ou de depósitos naturais*).

*NOTA: A definição da fonte de agregados decorre dos estudos técnicos e econômicos que devem ser feitos antes do início da obra.

"A definição da fonte e das dimensões dos agregados levam o Construtor a definir seus equipamentos e infra-estrutura para produção dos agregados e decorrente disso os seus custos. Dessa forma é de extrema importância que essa escolha seja feita com cuidado e detalhadamente.

Não raramente se observa em especificações, citações do seguinte tipo: - as investigações das fontes dos agregados estão em andamento e serão definidas no transcorrer da construção da obra: - Isso pode levar a transtornos técnicos e econômicos.

As especificações (normalmente de obras internacionais) procuram deixar a escolha e definição da jazida para o Construtor, sendo que a qualidade do produto deve atender aos requisitos especificados. Isso não tira a autonomia da Fiscalização no aspecto técnico e facilita o aspecto gerencial do Contrato."

6.9.2 Agregado Miúdo

6.9.2.1 Generalidades

É designado como agregado miúdo o agregado cuja dimensão máxima da partícula é 4,8 mm. O termo "areia" é normalmente empregado para designar esse material. A areia poderá ser constituída de areia natural e/ou britada, ou a mistura de ambas em porcentagens definidas nos estudos de dosagem, e em bases técnicas e econômicas.

Como areia britada é entendida a areia obtida pelo beneficiamento de rochas.

A areia na entrada da central de concreto deverá ter um teor de umidade uniforme e relativamente estável, e inferior a 6%*. Além do limite da quantidade máxima de umidade, o teor de umidade deverá ser controlado de modo que a variação na porcentagem de umidade livre não seja maior que 0,5% durante qualquer hora de operação da central de concreto, nem maior que 2% durante qualquer período de oito horas de operação da central de concreto.

*NOTA: O limite máximo de umidade estabelecida nas especificações tem se situado entre 5 e 6%.

6.9.2.2 Características

A granulometria de areia deverá estar de acordo com os limites citados na Figura D.

A curva granulométrica de controle deverá ser enquadrada na faixa especificada, sendo esta granulometria também controlada de modo que os módulos de finura de pelo menos quatro de quaisquer de cinco amostras consecutivas para ensaio, coletadas à entrada da betoneira, não variem mais de 0,15 em relação ao módulo de finura da granulometria média determinada no período.

A areia deverá ter um módulo de finura não inferior a 2,30 nem superior a 3,10.

"A prática de se especificar a curva granulométrica como se apresenta na Figura D tem sido observada em quase a totalidade dos documentos técnicos adotados para as várias obras brasileiras.

"Deve ser alertado, entretanto, que certas condições específicas da região das obras às vezes impedem o atendimento integral da curva especificada. Nessas situações o controle da uniformidade através do módulo de finura é o mais adequado. Do ponto de vista prático, a dosagem do concreto pode ser feita com uma outra granulometria, sendo o mais importante que se mantenha a uniformidade. A curva granulométrica poderá ter, entretanto, influência no aspecto econômico."

A areia deverá atender aos requisitos de qualidade indicados na Figura D.

"Nesse ponto, também deve ser considerada a evolução técnica e o conhecimento das propriedades. Assim é que a utilização de finos não coesivos em teor superior aos limites usuais pode trazer benefícios aos concretos, como se cita no Capítulo 8."

6.9.2.3 Transporte

6.9.2.4 Armazenamento

"Em várias especificações é comum se observar os dois itens supracitados, entretanto deve ser lembrado que os parâmetros especificados são referidos para o material amostrado na central de concreto imediatamente antes de entrar na betoneira. Não há então a necessidade dessas citações. Por outro lado, a Especificação deve indicar os requisitos do produto e não do processo".

6.9.3 Agregado Graúdo

6.9.3.1 Generalidades

O Termo "agregado graúdo" é empregado para designar agregados graduados com dimensões entre 4,8 a 152 mm, ou qualquer dimensão ou faixa dentro destes limites.

6.9.3.2 Características

A dimensão máxima característica do agregado é definida em função das dimensões da peça, das condições de lançamento do concreto e das características da armadura. A dimensão máxima característica do agregado no concreto não deverá exceder a 1/4 da menor dimensão da forma, nem 3/4 da menor distância entre as barras da armadura nem 1/3 da espessura da laje.

O agregado graúdo será entregue nas betoneiras por gamas granulométricas, de acordo com a Figura E*.

*NOTA: As Figuras D e E apresentam curvas granulométricas usuais em diversas obras e especificações.

A curva granulométrica de controle de cada gama deverá ser enquadrada na faixa especificada, sendo esta granulometria também controlada de modo que os módulos de finura de pelo menos quatro de qualquer das cinco amostras consecutivas, coletadas na entrada da betoneira, não variem mais de 0,20 em relação ao módulo de finura da granulometria média determinada, para cada gama, durante o período.

O agregado graúdo deve atender aos requisitos da Figura E.

"São válidos os comentários citados no item 6.9.2.2."

ESPECIFICAÇÃO			ABNT-NBR-7211						
DIÂMETRO MÁXIMO (mm)			CESP	ITAIPU	COPEL	ZONA 1 MUITO FINE	ZONA 2 FINE	ZONA 3 MÉDIA	ZONA 4 GROSSA
GRANULOMETRIA	PENETRAS (Pen. mm)	7"	177,80						
		6"	152,40						
		5"	127,00						
		4"	101,60						
		3"	76,20						
		2 1/2"	63,50						
		2"	50,80						
		1 1/2"	38,10						
		1"	25,40						
		3/4"	19,05						
% RETIDA		1/2"	12,70						
		3/8"	9,50						
ACUMULADA		Nº 4	4,50						
		Nº 8	2,40						
		Nº 16	1,20						
		Nº 30	0,60						
		Nº 50	0,30						
		Nº 100	0,15						
		≦ Nº 200	0,075						
MÓDULO DE FINURA			2,55-2,93	2,30-3,10	2,3-3,1				
DENSIDADE ABSOLUTA g/cm³			≥ 2,6	≥ 2,6	≥ 2,6				
DENSIDADE APARENTE g/cm³									
ABSORÇÃO %									
PULVERULENTO %									
MATERIAL FRIÁVEL %									
MATERIA ORGÂNICA									
ABRASÃO - % DE DESGASTE									
FORMA - % DE NÃO CHATA		NÚMERO							
E NÃO ALONGADA		PESO							
REATIVIDADE - MÉTODO QUÍMICO									
REATIVIDADE		3 MESES							
MÉTODO - FÍSICO		6 MESES							
EXPANSÃO MÁX. %		1 ANO							
ANÁLISE PETROGRÁFICA	CALCEDONIA								
	QUARTZITO								
	QUARTZO								
	OUTROS								
% PERDA DE PESO - CICLAGEM Na2SO4				≤ 10,0	≤ 6,0				
CICLAGEM - ETILENO GLICOL									
% PERDA DE PESO - CICLAGEM NATURAL									
% PERDA DE PESO - CICLAGEM ÁGUA EST.									
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO		MÁX.							
Kg/cm²		MÍN.							
MÓDULO DE ELASTICIDADE		MÁX.							
x 10³ Kg/cm²		MÍN.							
COEF. EXPANSÃO TÉRMICA - 10⁶ / °C									
CONDUT. TÉRMICA - CAL / cm x Seg x °C									
CALOR ESPECÍFICO - CAL / g °C									
ANÁLISE PETROGRÁFICA	DELETÉRIO								
	INÓCUO								
AREIA - % PESO		FRIÁVEL							
ENSAIO DE QUALIDADE		3 DIAS							
AREIA - % RESISTÊNCIA		7 DIAS							
EM RELAÇÃO ARG. PADRÃO		28 DIAS							

Figura D: Requisitos para o Agregado Miúdo

6.9.3.3 Transporte

6.9.3.4 Armazenamento

" São válidos os comentários citados no item 6.9.2.3. e 6.9.2.4. "

6.10 Dosagem do Concreto

6.10.1 Generalidades

O projeto da mistura de concreto deverá obter uma mistura trabalhável e adaptável às condições de lançamento, com a mínima quantidade de cimento e a máxima

dimensão e quantidade do agregado de tal forma que esse concreto, após endurecido, tenha as propriedades requeridas.

O teor de água de todas as misturas de concreto deverá ser o mínimo para a obtenção de uma mistura trabalhável.

A dosagem será determinada pelo Construtor.

"Em algumas obras, entretanto, tem-se estabelecido que a dosagem seja determinada pela Fiscalização, isto devido à influência contundente do proporcionamento no desempenho técnico-econômico do concreto. Esta prática deve estar compatibilizada com todos os outros procedimentos para não criar antagonismos. Assim é que situações tais como materiais fornecidos pelo Construtor, dosagem estabelecida pela Fiscalização e demais atividades exercidas pelo Construtor, podem levar a uma situação de conflito, já que, ao ser lançado um concreto com trabalhabilidade inadequada para uma determinada frente de concretagem, a responsabilidade pela atividade fica dissipada, pois:

- O concreto foi bem dosado ou não?*
- O concreto foi mal transportado e manuseado?*

Essas situações específicas, bem como a evolução técnica observada nos últimos anos induz a aceitar que uma maneira possível para contornar esses conflitos é o de estabelecer que:

- os materiais serão fornecidos pelo Construtor;*
- a dosagem será estabelecida pelo Construtor;*
- os materiais são pagos no próprio produto (m^3 de concreto) e não em separado;*
- o controle de qualidade será executado pelo Construtor, e supervisionado e aprovado pela Fiscalização.*

Dessa forma não é tirada a responsabilidade do Construtor nem tampouco o poder de supervisão da Fiscalização, além do que o aspecto gerencial fica simplificado."

O teor de umidade dos agregados colocados na betoneira deve ser determinado a intervalos frequentes, como estabelecido pela Fiscalização.

A quantidade de água de mistura deverá ser corrigida de uma betonada para outra, se necessário, a fim de corrigir a variação do teor de umidade dos agregados. A correção da quantidade de água ao resultar em variação no fator A/C ou A/ceq superior a $\pm 0,02$, determinará a necessidade de reproporcionamento da mistura.

"Algumas especificações indicam a limitação de teores mínimos e máximos de aglomerantes para as misturas. Essa prática não é a mais adequada, pois geralmente entra em conflito com as propriedades requeridas, e não possibilita vantagens técnicas nem tampouco econômicas."

6.10.2 Classes e Propriedades dos Concretos

Os concretos destinados aos diversos locais e estruturas serão classificados de acordo com a(s) propriedade(s) requerida(s) pelo Projeto, a ser(em) obtida(s) em determinada idade, e em certos casos por uma dimensão máxima característica do agregado ou por um fator A/C ou A/ceq máximo admissível.

[illegible]

Figura E: Requisitos para o Agregado Graúdo

"A Figura F fornece uma lista de propriedades que podem ser úteis para os Projetos. Salienta-se que é prudente que o Projeto determine a propriedade realmente necessária, e não estimar através de correlação de uma propriedade requerida a resistência à compressão tradicionalmente especificada nos Projetos. Isto é, tem-se a preocupação com um requisito e especifica-se outro."

As dosagens serão modificadas sempre que necessário para manter o padrão de qualidade requerido nesta Especificação. A fim de atender às diversas condições encontradas durante os trabalhos de construção, as dosagens de concreto, após terem sido preparadas e ensaiadas no laboratório, deverão ser ajustadas no campo.

CARACTERÍSTICAS	NORMA PARA ENSAIO	CLASSE -		CLASSE -		CLASSE -	
		VALOR	IDADE DE CONTRO LE	VALOR	IDADE DE CONTRO LE	VALOR	IDADE DE CONTRO LE
DIMENSÃO MÁXIMA DO AGREGADO							
A/C OU A/Ceq							
TRABALHABILIDADE							
INCORPORAÇÃO DE AR							
TEMPERATURA							
EXSUDAÇÃO							
PEGA							
MASSA ESPECÍFICA							
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO							
RESISTÊNCIA DIAMETRAL							
MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO							
CAPACIDADE DE FLUÊNCIA							
ESTADO MÚLTIPLO - COESÃO							
ESTADO MÚLTIPLO - ATRITO							
MÓDULO DE DEFORMAÇÃO							
FLUÊNCIA - I/E							
FLUÊNCIA - COEFICIENTE $f(k)$							
ELEVAÇÃO ADIABÁTICA (TEMPERATURA)							
CALOR ESPECÍFICO							
DIFUSIVIDADE TÉRMICA							
CONDUTIVIDADE TÉRMICA							
COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA							
PERMEABILIDADE							
RESISTÊNCIA À ABRASÃO							
RESISTIVIDADE ELÉTRICA							
LOCAL DE APLICAÇÃO							

Figura F: Classes e Propriedade dos Concretos

6.10.3 Dosagem do Concreto

Todos os componentes do concreto ser o mecanicamente dosados e medidos em massa (* ou volume).

Os materiais medidos por massa deverão estar dentro dos seguintes limites de precisão, quando introduzidos no misturador:

MATERIAIS	LIMITES DE PRECISÃO (%)
CIMENTO E MATERIAL POZOLÂNICO	1
ÁGUA E GELO	1
AGREGADOS DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA $\leq 38\text{mm}$	2
AGREGADOS DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA $> 38\text{mm}$	3
ADITIVOS	3

Figura G: Limites de Precisão das Balanças

*NOTA: ABNT estabelece - "Sempre que se fizer dosagem experimental deverão se obedecidas as seguintes condições:

- quando o aglomerante for usado a granel, deverá ser medido em peso com tolerância de 3%; no caso de cimento ensacado, pode ser considerado o peso nominal do saco, atendidas as exigências das especificações brasileiras;
- os agregados, miúdo e graúdo, deverão ser medidos em peso ou volume com tolerância de 3%, devendo-se sempre levar em conta a influência da umidade;
- a água poderá ser medida em volume ou peso com tolerância de 3%.
- o aditivo poderá ser medido em volume ou peso com tolerância de 5%."

"Deve ser lembrado que o abrandamento dos limites de precisão, bem como a possibilidade da dosagem volumétrica têm reflexos diretos na dispersão dos valores individuais de controle com relação à média, com implicações de confiabilidade e de custos. Desta forma, à medida que se trabalha com grande volume de concreto, mais se justifica a dosagem gravimétrica com limites de precisão como se cita na Figura G."

Deverão ser previstos silos e dosadores separados e individuais para cada material.

Os dosadores deverão possuir mostradores com escala que permitam o acompanhamento da dosagem. O arranjo dos indicadores deve permitir ao operador observar facilmente as dosagens.

As balanças devem ser aferidas antes do início de operação e a cada período de um mês* durante a construção.

*NOTA: A periodicidade pode ser ajustada de acordo com a produção de concreto e com a confiança observada pelos controles.

"Algumas especificações requerem sistema de registro automático para as dosagens das misturas. Essa prática tem sido aceita por facilitar os controles com um baixo custo de investimento dos equipamentos necessários".

6.11 Mistura do Concreto

O Construtor deverá contar com equipamento com capacidade para produzir concretos de modo a atender aos picos de concretagem previstos no cronograma.

Todo concreto deverá ser misturado completamente até que apresente uma textura uniforme com todos os componentes igualmente distribuídos.

A seqüência de introdução dos componentes no misturador deverá ser determinada no local da obra, devendo ser feitos os ajustes necessários, a fim de ser obtida a máxima eficiência.

O misturador não deverá ser sobrecarregado além da capacidade recomendada por seu fabricante. A descarga de cada mistura deverá ser executada sem causar segregação.

O tempo de mistura deverá ser estabelecido de tal maneira que as operações de carga e mistura resultem em um concreto de consistência e composição uniformes e de forma que as amostras de concreto colhidas das porções iniciais, intermediárias e finais de descarga do misturador, atendam às exigências da Figura H, quanto à uniformidade.

ENSAIO	VARIAÇÃO MÁXIMA PERMISSÍVEL DE QUALQUER VALOR DE ENSAIO EM RELAÇÃO À MÉDIA DE TRÊS AMOSTRAS
TEOR DE UMIDADE DA ARGAMASSA (EM MASSA)	5,0 %
TEOR DE AGREGADO GRAÚDO NO CONCRETO (EM MASSA)	5,0 %
MASSA UNITÁRIA DA ARGAMASSA ISENTA DE AR	0,8 %
TEOR DE CIMENTO DA ARGAMASSA SECA (EM MASSA)	10,0 %

Figura H: Variação permissível na uniformidade do Concreto

"Algumas especificações estabelecem limites mínimos para os tempos de mistura. Essa prática, entretanto, estabelece desnecessariamente o conflito por se especificar o processo e não o produto. Na realidade, o que se deseja é que o concreto tenha uniformidade, não seja segregável e atenda às propriedades requeridas. Não se requer que atenda a um tempo, que pode variar dependendo do tipo de misturador adotado."

O sistema de produção de concreto deverá ser equipado com dispositivos que permitam a coleta de amostras representativas de todos materiais e do concreto.

Quando for necessário o controle da temperatura de lançamento do concreto, o Construtor deverá dispor e contar com sistema e processos para produzir concretos dentro das faixas de temperaturas estabelecidas nestas Especificações.

6.12 Preparo para a Colocação do Concreto

6.12.1 Plano de Concretagem

O Construtor deverá elaborar e apresentar à Fiscalização o plano de concretagem para cada execução. Esse plano deverá conter informações de modo a demonstrar a garantia de execução dos trabalhos sem interrupção e dentro dos requisitos exigidos pelo Projeto e nas Especificações.

A concretagem só poderá ser iniciada após a aprovação pela Fiscalização.

O concreto só poderá ser lançado após terem sido aprovadas as fôrmas, os embutidos, as armaduras e as superfícies sobre as quais será lançado.

"É comum a Fiscalização exigir, nos planos de concretagem, os seguintes dados: composição da mistura (se a dosagem estiver sob a responsabilidade do Construtor); ciclos e tipos de equipamentos designados para os serviços de concretagem; quantidade e qualificação de mão-de-obra para executar os serviços; disponibilidade de materiais de proteção (lonas para chuva, espingarda de água e ar para nebulização) e equipamentos para bombeamento e esgotamento (chupões e bombas)."

6.12.2 Preparo de Fundações em Terra

As fundações em terra, onde deva ser colocado concreto, deverão estar limpas, umedecidas e isentas de água livre ou em movimento.

6.12.3 Preparo de Fundações em Rocha

A superfície de rocha a receber o concreto deve ter as características geomecânicas requeridas pelo Projeto, estar limpa e tratada, isenta de água, lama, rochas soltas, entulho e detritos.

As falhas ou fissuras deverão estar limpas até a profundidade determinada pela Fiscalização. Todas as superfícies rochosas deverão ser mantidas molhadas pelo menos 24 horas antes do lançamento e, imediatamente antes do lançamento, deverão estar limpas e na condição saturada-superfície-seca.

"Algumas especificações exigem a colocação de concreto de regularização ou de uma cobertura com argamassa sobre a rocha de fundação. Essa prática nem sempre tem fundamento técnico e pode ser inconveniente sob o ponto de vista custo. Por outro lado, algumas rochas (com argilo-minerais expansivos), quando expostas por certo tempo a ciclo de moldagem-secagem, podem se desagregar. Nesta situação é prudente que se especifique a proteção da superfície da rocha após o preparo e antes da concretagem, com um concreto ou argamassa."

6.12.4 Preparo de Juntas de Construção

As superfícies das juntas de construção deverão estar limpas, ásperas e na condição de saturada-seca antes do lançamento do concreto fresco. A limpeza consistirá na remoção de carbonatações, de concreto solto ou defeituoso, resíduos, manchas de óleo, areia ou outros materiais estranhos.

"Várias especificações além de citar requisitos para o produto, ou seja, a junta de construção, indicam os processos de execução de tratamento, tais como: corte verde-aplicações de jatos de água e ar à pressão ao redor de 7 Kgf/cm², imediatamente após o concreto ter iniciado seu endurecimento; aplicação de jatos de areia úmida ou de água sob pressão; aplicação de jatos de água e ar à pressão ao redor de 400 Kgf/cm²; apicoamento, escovamento ou outro processo mecânico."

Entretanto, o fundamental é que qualquer dos processos adotados proporcione uma superfície que atenda aos requisitos. Conceitualmente, e sob o ponto de vista prático, a superfície de concreto, tratada, deve ter uma textura igual à superfície de ruptura de um concreto recém-rompido.

Em algumas especificações ainda, faz-se exigências de aplicação de argamassa em continuação ao tratamento de junta de construção.

Essa exigência não deve ser generalizada e sim específica para certos casos, como se cita à frente."

Caso a aplicação do jateamento resulte em uma remoção excessiva da argamassa do concreto, deve ser aplicada uma delgada camada de argamassa sobre o concreto endurecido.

A superfície das juntas de construção deverá ser continuamente molhada por no mínimo 6 horas antes do lançamento de nova camada de concreto.

A água e os restos da limpeza das juntas não devem ser removidas pelas faces aparentes das estruturas.

6.12.5 Preparo de Juntas de Dilatação e de Contração

As juntas de dilatação e de contração deverão ser tratadas de modo a atender aos requisitos de Projeto.

6.12.6 Preparo de Fôrmas

Para o lançamento do concreto, as superfícies deverão estar isentas de incrustações de argamassa, calda de cimento ou outros materiais estranhos. Após a limpeza, as superfícies deverão ser untadas com um material* com a finalidade de evitar a aderência do concreto à fôrma.

*NOTA: Como material antiaderente tem sido usado: óleo mineral incolor; agente desmoldante; óleo queimado.

6.12.7 Preparo da Armadura

A armadura que requeira aderência ao concreto deve estar limpa e isenta de óleo ou qualquer material que reduza a aderência.

"A oxidação superficial, leve e uniforme, pode ser admitida, como tem sido comprovado através de ensaios de aderência".

6.12.8 Preparo dos Embutidos

Os embutidos (drenos, peças metálicas, instrumentos, aterramentos etc.) deverão estar limpos e adequadamente posicionados e protegidos para a concretagem.

6.13 Transporte do Concreto

O transporte do concreto, desde o ponto de produção ao local de lançamento, deverá ser feito em menor tempo possível e de tal forma que não cause segregação ou perda de trabalhabilidade, referida ao abatimento, superior a 25 mm, e nem modificações sensíveis e prejudiciais na temperatura do concreto.

O tempo máximo entre a mistura e o lançamento deverá ser de 45 minutos.

"Não há uma concordância à respeito do tempo máximo a ser estabelecido como limite para o transporte do concreto, variando de 30 minutos a 1 hora. Entretanto, deve ser ressaltado que cabe à Fiscalização estabelecer para cada caso específico - levando em conta o tipo de transporte, temperaturas ambiente e do concreto, tipo do concreto, condições de proteção - o tempo máximo adequado. Para isso, pode ser utilizado o critério de uniformidade do concreto, como se cita à frente."

Os sistemas e processos de transporte do concreto propostos pelo Construtor deverão ser aprovados pela Fiscalização.

"Várias especificações citam os sistemas de transporte previamente autorizados ou tradicionalmente adotados, entretanto deve ser observado que a evolução técnica e tecnológica tem possibilitado ampliar a disponibilidade dos métodos e processos. Dessa forma, é mais importante exigir a uniformidade do produto e não identificar o processo".

O Construtor deverá providenciar a identificação adequada e inconfundível das várias misturas a serem aplicadas.

Deverá ser prevista, ainda, comunicação entre o sistema de produção do concreto, os vários pontos de transbordo e o lançamento.

Os recipientes para transporte do concreto (caçambas, tremonhas, tubulações, dumpers) deverão ser lavados periodicamente.

Os sistemas (ou processos, ou métodos) propostos para transporte do concreto deverão atender aos requisitos de uniformidade mostrado na Figura I.

ENSAIO	REQUISITOS, EXPRESSOS EM TERMOS DE DIFERENÇA MÁXIMA PERMITIDA, PARA RESULTADOS DE AMOSTRAS TOMADAS DE DOIS PONTOS DA MISTURA
MASSA ESPECÍFICA (kg/m^3) CALCULADA LIVRE DE AR	16 kg/m^3
TEOR DE AR (% DO VOLUME)	1 %
TRABALHABILIDADE PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE * PARA CONCRETOS COM TRABALHABILIDADE ≤ 100 mm * PARA CONCRETOS COM TRABALHABILIDADE ENTRE 100 E 150 mm	25 mm 38 mm
TEOR DE AGREGADO GRAUO EXPRESSO EM MASSA SOBRE MATERIAL RETIDO NA MALHA DE 4,8 mm	6 %
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS, DE CADA AMOSTRA COM BASE NA MÉDIA DE TODOS OS CORPOS DE PROVA	7,5 %

Figura I: Requisitos para a uniformidade do Concreto

6.14 Lançamento do Concreto

6.14.1 Generalidades

O Construtor deverá manter a Fiscalização informada à respeito dos cronogramas de colocação de concreto.

A concretagem só poderá ser iniciada após aprovada e de acordo com o plano de concretagem proposto.

Não será permitida a adição de água, além da teoricamente estabelecida na dosagem, durante o lançamento do concreto, com o fito de torná-lo mais trabalhável.

A descarga deverá ser regulada de forma a se obter subcamada de altura compatível com os equipamentos de adensamento adotados.

6.14.2 Equipamentos de Lançamento

"Neste item, em várias Especificações, são citados os equipamentos ou metodologias de lançamento (caçambas, calhas, chutes, correias, bomba, projetado etc.), mas de mesma forma como se citou anteriormente, é mais importante e objetivo que o produto seja uniforme e atenda aos requisitos especificados, e não qual o processo adotado, que é decorrente do estágio de desenvolvimento técnico."

6.14.3 Camadas de Concretagem

A espessura das camadas de concretagem será de acordo com o estabelecido no Projeto.

"A limitação da altura da camada de concretagem normalmente está condicionada à metodologia de concretagem (fôrmas e equipamentos) ou às características massivas de estrutura. A limitação decorrente das condições massivas deve ser estabelecida através de estudos específicos (estudos térmicos)."

6.14.4 Intervalo de Lançamento entre Camadas

"Neste item é estabelecida a condição dos intervalos de concretagem. Normalmente tem-se adotado um intervalo mínimo de concretagem de 72 horas, que corresponde ao período onde se observa o maior gradiente de evolução da temperatura. Entretanto, aqui também, como se citou anteriormente, deve ser alertado que essa limitação é decorrente de estudos específicos que se exigem."

6.14.5 Temperatura de Lançamento do Concreto

"Neste item são estabelecidas as limitações de temperatura de lançamento do concreto, de maneira semelhante ao citado anteriormente. Lembra-se que isso deve ser obtido a partir dos estudos de comportamento térmico que são feitos para as estruturas, levando em consideração as várias condições de geração e difusão de calor, bem como as características térmicas-elásticas resistentes do concreto e ainda as condições de restrição das superfícies."

6.15 Adensamento do Concreto

Antes do início de qualquer lançamento, os equipamentos e acessórios necessários às operações de concretagem serão inspecionados de modo a garantir que as operações possam ser realizadas sem descontinuidade e de acordo com o plano de concretagem proposto.

O concreto em cada lance deverá ser adensado até uma densidade máxima julgada apropriada*, sem a ocorrência de vazios entre agregados, bolsas de ar e devendo acomodar-se sem agregação às superfícies, arestas, ângulos das formas, em torno das barras de armadura e peças embutidas.

*NOTA: A citação apropriada ou adequada é comum em várias especificações. Neste caso, a citação está para designar uma propriedade, e prudentemente deveria ter um valor. Pode-se admitir como referência que a "densidade máxima não seja inferior a 95% da massa específica teórica decorrente da dosagem". Isto significa que o adensamento deve ser executado até se atingir, no mínimo, 95% do valor máximo teoricamente possível de ser atingido pela dosagem com os materiais utilizados.

Durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deverá ser vibrado ou socado contínua e energeticamente com equipamento adequado à trabalhabilidade do concreto.

"Várias especificações indicam os tipos de vibradores, dimensões e requisitos de funcionamento (frequência) dos mesmos. Novamente nesse ponto está se requerendo o processo e não as características do produto. Isso é desnecessário."

Agregados graúdos salientes na superfície da camada deverão ser deslocados durante o adensamento para o interior da massa de concreto.

Não deverão ser feitos lances adicionais de concreto enquanto o anteriormente lançado não tiver sido completamente adensado.

Deverá ser evitada vibração excessiva que cause segregação e aparecimento de nata, ou quantidade excessiva de água de exsudação na superfície do concreto. Se com o tempo normal de vibração ocorrer o aparecimento de excesso de argamassa mole livre de agregado graúdo, deverá ser reduzido o abatimento da mistura e não o tempo de vibração.

A Fiscalização poderá exigir a revibração do concreto onde julgar necessário.

6.16 Proteção e Cura do Concreto

O Construtor deverá ter em seu poder, e designado no plano de concretagem e pronto para instalação antes de iniciado o lançamento, todo equipamento necessário para a proteção e cura do concreto.

Durante o lançamento, adensamento e acabamento superficial, o concreto deverá ser protegido da perda de água provocada pela insolação direta ou pela incidência de ventos ou pela baixa umidade relativa do ar. Esta proteção objetiva a perfeita hidratação de aglomerante e a conseqüente obtenção de melhorias nas propriedades, evitando, também, a fissuração associada à retração plástica e minimizado a fissuração por retração hidráulica.

O concreto recém-lançado deverá ser protegido de chuvas fortes por um período mínimo de 12 horas e de água corrente por um período mínimo de 14 dias. O concreto de lajes, pavimentos e de superfícies acabadas deverá ser protegido da incidência direta dos raios solares por um período mínimo de 3 dias.

Durante as 24 horas que se seguirem a um lançamento de concreto, nenhum tráfego será permitido sobre concreto não enformado, a menos que as superfícies estejam protegidas por passarelas ou outros meios eficientes aprovados pela Fiscalização.

As lajes e pavimentos acabados deverão ser protegidos por 48 horas, pelo menos, de qualquer trânsito e de todas as operações de construção.

A cura tem como objetivos prevenir a perda de umidade e desenvolver um ambiente propício para a adequada hidratação do aglomerante do concreto. A cura deverá ser iniciada logo após o fim de pega do concreto e prolongar-se por um tempo adequado*.

*NOTA: Não tem sido observada uma concordância entre os tempos mínimos citados nas várias Especificações, para a cura do concreto. Como referência pode-se estabelecer as seguintes limitações: concreto com cimento de alta resistência inicial 3 dias; concreto com cimento comum 7 dias; concreto com cimento de moderada geração de calor ou resistente aos sulfatos, ou portland pozolânico ou portland com escória de alto forno 14 dias; concreto com cimento de baixa geração de calor ou pozolânico ou de alto forno 21 dias; concretos em estruturas massivas 28 dias.

Alternativamente, ainda, pode-se estabelecer que a cura deve se estender até se observar uma resistência não inferior a 70% - 75% da resistência média necessária para atender à requerida para a idade de controle.

Para a cura, poderá ser utilizada água ou outro método, ou processo aprovado pela Fiscalização.

A água de cura deverá atender aos requisitos da Figura C.

6.17 Fôrmas e Escoramentos

6.17.1 Generalidades

O projeto e construção das fôrmas* será de exclusiva responsabilidade do Construtor devendo seu projeto ser previamente submetido à aprovação da Fiscalização. As fôrmas deverão ser utilizadas onde sejam necessárias para conter e moldar o concreto nos alinhamentos, dimensões e formas exigidos no Projeto.

*NOTA: De maneira geral, a responsabilidade pelo projeto e construção das fôrmas é atribuída ao Construtor, sendo que a forma de pagamento pode variar dependendo da obra ou da conceituação do Proprietário. Em algumas situações o custo da fôrma fica dentro do próprio volume de concreto; e em outras oportunidades, o custo da fôrma é considerado independentemente à parte.

As fôrmas deverão ser estanques, impedindo a perda de nata ou argamassa e apresentando resistência suficiente para suportar as pressões e cargas resultantes do lançamento, adensamento, pessoal e equipamentos usuais nas concretagens. As fôrmas devem ser mantidas rígidas em suas posições.


Os elementos de fixação e ancoragem, utilizados para a fixação das fôrmas, deverão ser projetados de tal maneira que, ao serem removidos, não fique nenhuma peça metálica a menos de 5 cm da superfície do concreto.

O contato vertical entre os painéis deverá ser feito de modo a evitar fugas de argamassa durante a concretagem.

O reaproveitamento das fôrmas para um lance subsequente de concretagem deverá ser feito de modo que haja um cobrimento* sobre a camada anteriormente concretada, a fim de a garantir a estanqueidade e a fixação do painel.

*NOTA: Algumas especificações citam que esse cobrimento deve ser de no mínimo 5 cm, outras requerem 10 cm. Entretanto, deve ser notado que à medida que é aumentado o cobrimento, maior será a área de contato, o que potencialmente induz a abranger maior número de irregularidades e, conseqüentemente, exigirá maior esforço para a fixação do painel, resultando então em maior dificuldade para a correta vedação e ajuste da fôrma. Dessa maneira, o cobrimento deve ser o suficiente para garantir a estanqueidade e a rigidez de fixação.

Nas partes da estrutura com superfície com inclinação que impeça (*"técnica ou economicamente"*) o uso de fôrmas fixas, deverá ser previsto o uso de fôrmas ou régua deslizes ou fôrmas temporariamente fixas, de modo a garantir a adequada moldagem da peça ou estrutura, dentro das exigências de acabamento e tolerância.

 Nos cantos das fôrmas, de modo a produzir bordas chanfradas nos cantos externos das superfícies de concreto exposto, deverão ser colocados sarrafos chanfrados. Nas juntas de construção deverão ser colocados sarrafos para delineamento da cota superior da camada. A locação de chanfros e dimensões serão como indicado nos desenhos de Projeto.

As fôrmas para superfícies curvas deverão ser construídas de maneira a ficarem precisamente com as curvaturas exigidas.

6.17.2 Irregularidades e Classificação das Fôrmas

6.17.2.1 Irregularidades

Os desvios permissíveis de prumo ou de nível quanto aos alinhamentos indicados no Projeto, bem como os desvios permissíveis quanto às dimensões dos perfis, estão definidos na Figura M.

As irregularidades de superfícies serão de 2 tipos, como se define a seguir:

- ABRUPTAS: São irregularidades superficiais causadas por deslocamento das fôrmas ou por elementos da própria fôrma. Os desvios verificados serão medidos diretamente.
- GRADUAIS: São as demais irregularidades, que não abruptas, e serão medidas por meio de um gabarito de 1,5 m* de comprimento.

*NOTA: Algumas especificações estabelecem um gabarito de 1,5 m, outras requerem gabarito de 3 m. Salienta-se que o gabarito de 1,5 m é predominante.

6.17.2.2 Classificação

De acordo com os locais de aplicação as fôrmas serão classificadas como mostrado na Figura J.

"Algumas especificações além de requerer as irregularidades, indicam os materiais de fabricação das fôrmas. Entretanto, isso só é justificável para acabamentos arquitetônicos ou para fins específicos, não para uso geral".

6.17.3 Escoramentos

O projeto e construção dos cimbramentos e escoramentos são de inteira responsabilidade do Construtor*, e deverão levar em conta as cargas atuantes durante e após a concretagem das peças, de modo que não introduzam deformações imprevistas e inadequadas às peças ou estruturas.

*NOTA: São válidas as criações feitas anteriormente à respeito da responsabilidade e dos custos.

Os materiais e o projeto deverão ser aprovados pela Fiscalização.

CLASSE	DESCRIÇÃO E USO	IRREGULARIDADES	
		ABRUPTAS	GRADUAIS
1	SÃO FORMAS PARA PARTE DAS ESTRUTURAS COM VISITAÇÃO PÚBLICA	≤ 3 mm	≤ 6 mm
2	SÃO FORMAS PARA SUPERFÍCIES EXPOSTAS EM GERAL E ONDE INDICADO NOS DESENHOS	≤ 6 mm	≤ 12 mm
3	SÃO FORMAS PARA SUPERFÍCIES DE FLUXO HIDRÁULICO OU DE PAVIMENTOS	≤ 3 mm PERPEND. AO FLUXO. ≤ 6 mm PARALELO AO FLUXO.	≤ 6 mm
4	SÃO FORMAS PARA SUPERFÍCIES PERMANENTEMENTE SUBMERSAS OU ENTERRADAS	≤ 25 mm	≤ 25 mm
5	SÃO FORMAS ESPECIAIS DESTINADAS A ASPECTOS ARQUITETÔNICOS OU PARA FINALIDADES ESPECÍFICAS	A ESTABELECEER	A ESTABELECEER

Figura J: Requisitos para irregularidades de fôrma

6.17.4 Desforma e Retirada do Escoramento

As fôrmas somente poderão ser removidas depois que o concreto tiver atingido condições de trabalho sem a presença das mesmas, e essa operação deverá ser realizada sem prejudicar a estrutura.

As fôrmas não deverão ser removidas antes do prazo mínimo estipulado na Figura K, a não ser que ensaios de controle permitam a aprovação da Fiscalização.

"De maneira alternativa e mais geral, o tempo mínimo para desforma pode ser colocado em termos percentuais do tempo para atender a uma determinada propriedade estabelecida no Projeto. Normalmente, essa porcentagem está ao redor de 65% a 80% do valor requerido.

Deve ser lembrada a importância de se considerar para essas operações os efeitos das temperaturas ambiente e de geração de calor da hidratação no desenvolvimento das propriedades do concreto, e também a ação dos aditivos eventualmente utilizados."

Logo após a retirada das fôrmas o Construtor deverá executar os reparos necessários.

6.18 Acabamentos e Tolerâncias

6.18.1 Acabamentos

Os tipos de acabamento e as irregularidades permitidas são citados na Figura L.

TIPO DE ESTRUTURA	TIPO DE CIMENTO USADO	
	PORTLAND COMUM	PORTLAND POZOLÂNICO, ALTO FORNO OU SIMILARES
ARCOS, INCLUINDO TETOS DE GALERIAS	144 HORAS	180 HORAS
VIGAS, LAJES E TETOS	144 HORAS	180 HORAS
COLUNAS, MUROS OU PAREDES COM NÃO MAIS DE 5 cm DE ALTURA	24 HORAS	36 HORAS
COLUNAS, MUROS OU PAREDES COM MAIS DE 5 cm DE ALTURA	48 HORAS	72 HORAS
CONCRETO MASSA	24 HORAS	36 HORAS
REVESTIMENTOS DE TUNEIS	16 HORAS	24 HORAS
CONDUTOS EM VALAS ABERTAS	72 HORAS	108 HORAS

Figura K: Tempo mínimo para desforma

CLASSE	APLICAÇÃO E DESCRIÇÃO	IRREGULARIDADES PERMITIDAS
A 1	Acabamento com régua aplicado às superfícies a serem recobertas com material de aterro, ou concreto	$\leq 10 \text{ mm}$
A 2	Acabamento com desempenadeira aplicado às superfícies não recobertas com aterro ou outro revestimento de piso	$\leq 6 \text{ mm}$
A 3	Acabamento com lâmina metálica aplicado por processo mecânico ou manual	$\leq 6 \text{ mm}$
A 4	Acabamento especial: escovamento antiderrapante etc.	a estabelecer

Figura L: Tipos de acabamento e irregularidades

ESTRUTURA	DESCRIÇÃO	TOLERÂNCIAS
CONCRETO ARMADO	VARIAÇÃO DO PRUMO	
	• NOS ALINHAMENTOS E SUPERFÍCIES DE PILARES, MUROS E PAREDES, E EM ARESTAS	0,2 % E $\leq 1,5$ mm
	• NO CASO DE ESTRIAS DE JUNTAS DE CONTROLE EXTERNOS E DE OUTROS ALINHAMENTOS SALIENTES	EM ATÉ 5 m - 5 mm EM ATÉ 10 m OU MAIS - 10 mm
	VARIAÇÃO DO NÍVEL OU DOS GREIDES PARA SOLEIRAS, VERGAS EXTERNAS E OUTROS ALINHAMENTOS SALIENTES	EM ATÉ 5 m - 5 mm EM ATÉ 10 m OU MAIS - 15 mm
	VARIAÇÃO NO TAMANHO E LOCALIZAÇÃO DOS CONDUTOS EMBUTIDOS E DAS ABERTURAS EM MUROS OU PAREDES	PARA MENOS - 5 mm
	VARIAÇÃO NA ESPESSURA DE LAJES, MUROS E PAREDES	PARA MENOS - 5 mm OU 2 % PARA MAIS - 10 mm OU 5 %
	FUNDAÇÕES (SAPATAS)	
	• VARIAÇÃO DAS DIMENSÕES EM PLANTA	PARA MENOS - 10 mm OU 0,5 % PARA MAIS - 50 mm OU 0,5 %
CONCRETO MASSA	• EXCENRICIDADE	2 % DA LARGURA DA SAPATA NA DIREÇÃO DO DESLOCAMENTO MAS NÃO SUPERIOR A 50 mm
	• REDUÇÃO NA ESPESSURA	5 % DA ESPESSURA ESPECÍFICA
	PARA TODAS ESTRUTURAS	
	• VARIAÇÃO DO PERFIL LINEAR TRAÇADO COM BASE NA POSIÇÃO ESTABELECIDADA EM PLANTA	EM ATÉ 5 m - 10 mm EM ATÉ 10 m OU MAIS - 15 mm
	• VARIAÇÃO DA DIMENSÕES DE CADA COMPONENTE DA ESTRUTURA BASEADA NAS POSIÇÕES ESTABELECIDAS	EM ATÉ 25 m OU MAIS - 30 mm EM CONSTRUÇÕES ENTERRADAS O DOBRO DA QUANTIDADE ACIMA
	VARIAÇÃO COM BASE NO PRUMO, NA INCLINAÇÃO ESPECIFICADA OU NAS SUPERFÍCIES CURVAS DE TODAS AS ESTRUTURAS, INCLUSIVE AS LINHAS E SUPERFÍCIES DE COLUNAS, MUROS, PAREDES, PILARES; MACIÇOS, SEÇÕES EM ARCO, RANHURAS DAS JUNTAS VERTICAIS E ARESTAS VISTÍVEIS	EM ATÉ 3 m - 12 mm EM ATÉ 6 m - 20 mm EM ATÉ 12 m - 30 mm EM CONSTRUÇÕES ENTERRADAS O DOBRO DA QUANTIDADE ACIMA
	VARIAÇÃO COM BASE NO NÍVEL OU NOS GREIDES INDICADOS NOS DESENHOS EM LAJES, VIGAS, RANHURAS NAS JUNTAS HORIZONTAIS, E ARESTAS VISTÍVEIS	EM ATÉ 3 m - 6 mm EM ATÉ 6 m - 12 mm EM ATÉ 12 m - 30 mm EM CONSTRUÇÕES ENTERRADAS O DOBRO DAS QUANTIDADES ACIMA
	VARIAÇÃO NAS DIMENSÕES DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DE COLUNAS, VIGAS, MACIÇOS, PILARES E COMPONENTES SEMELHANTES	PARA MENOS - 6 mm PARA MAIS - 12 mm
	VARIAÇÃO NA ESPESSURA DE LAJES, MUROS, PAREDES, SEÇÕES EM ARCO E COMPONENTES SEMELHANTES	PARA MENOS - 5 mm PARA MAIS - 10 mm
	BASES DE COLUNAS, PILARES, MUROS, PAREDES, MACIÇOS E COMPONENTES SEMELHANTES	
TUNEIS E GALERIAS	• VARIAÇÃO DE DIMENSÃO EM PLANTA	PARA MENOS - 10 mm PARA MAIS - 50 mm
	• DESLOCAMENTO OU EXCENRICIDADE	± 2 % NA LARGURA DA BASE NA DIREÇÃO DO DESLOCAMENTO MAS NO MÁXIMO 50 mm
	• REDUÇÃO DE ESPESSURA	5 % DA ESPESSURA ESPECIFICADA
	VARIAÇÃO COM BASE NO PRUMO E NO NÍVEL DE SOLEIRAS, MUROS, PAREDES, E JUNTAS IMPERMEÁVEIS	NÃO MAIS DE 5 mm EM 5 m
	D ESVIO DO ALINHAMENTO OU DO GREIDE ESTABELECIDOS	10 mm
TUNEIS E GALERIAS	VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM QUALQUER PONTO DO REVESTIMENTO	PARA MENOS - 2,5 % ATÉ 5 mm PARA MAIS - 5,0 % OU ATÉ 10 mm
	VARIAÇÃO DAS DIMENSÕES INTERNAS	$\pm 0,5$ %

Figura M: Tolerâncias de construção para as estruturas em Concreto

6.18.2 Tolerâncias

As tolerâncias descritas e definidas na Figura M são os desvios em relação aos alinhamentos, níveis e dimensões indicados no Projeto e deverão ser diferenciados das irregularidades permissíveis nas superfícies do concreto definidas anteriormente.

O Construtor será responsável pela colocação das fôrmas dentro dos limites aqui especificados e pela manutenção dentro desses limites durante toda sua utilização. Os trabalhos em concreto que vierem a exceder os limites de tolerância deverão ser corrigidos ou removidos e substituídos, conforme o determinado pela Fiscalização.

6.19 Armaduras e Embutidos

6.19.1 Armaduras

6.19.1.1 Generalidades

As barras, fios, malhas e cordoalhas e os acessórios para as armaduras ativas e/ou passivas serão fornecidos pelo Construtor*.

*NOTA: O fornecimento do material para armadura às vezes é fornecido pelo Construtor, mas em outras oportunidades ocorre o interesse do Proprietário em entregar esses materiais.

"A opção de o Construtor fornecer os materiais é mais prática e evita o eventual conflito que pode ocorrer entre as etapas de suprimento, recepção, beneficiamento e aplicação."

6.19.1.2 Armazenamento e Beneficiamento

Os materiais para armadura deverão atender aos requisitos exigidos pelas Normas pertinentes à ABNT (ver Capítulo 17).

Caberá ao Construtor receber, armazenar, cortar, beneficiar e montar todo aço de construção, conforme indicado no Projeto.

A Fiscalização fará a liberação dos vários materiais para as armaduras.

As barras deverão ser armazenadas de modo a permitir a classificação das diversas partidas segundo categorias, diâmetro, e lotes de fornecimento.

As cordoalhas para protensão deverão ser armazenadas em local abrigado e ventilado de modo a evitar a corrosão. A oxidação dos fios e cordoalhas poderá ser admitida quando ela for superficial, leve e uniforme, sem apresentar pontos de corrosão na superfície, devendo entretanto esta oxidação ser removida com a mão, ou esfregando os fios com escova de cerdas de aço.

Os cortes das cordoalhas deverão ser executados sempre com disco de corte, sendo vetado o emprego de maçarico.

Os processos de emenda serão de escolha do Construtor, baseados nos desenhos de Projeto e aprovados pela Fiscalização, de modo a atender aos requisitos da ABNT.

O sistema de protensão, bem como os acessórios para os serviços, propostos pelo Construtor, serão aprovados pela Fiscalização.

6.19.1.3 Aplicação

As barras de armadura deverão ser fixadas por meio de suportes, espaçadores, calços, grampos ou amarras. Não será permitido o emprego de suportes de madeira.

Os suportes deverão ser construídos e colocados de modo a evitar qualquer deslocamento da armadura durante a concretagem e não poderão permanecer expostos ou contribuir para a descoloração ou deterioração do concreto.

Os cabos deverão ser montados rigorosamente de acordo com o Projeto.

O espaçamento das barras será mostrado nos desenhos de Projeto, e as distâncias mínimas entre barras ou feixes de barras nas estruturas de massa serão de 10 cm.

O cobrimento da armadura será medido desde a face externa da barra até a face do concreto e estará indicado no Projeto.

Não havendo qualquer indicação, o cobrimento mínimo será de 3,5 cm nos elementos estruturais internos não expostos às condições atmosféricas, de 5 cm em peças estruturais expostas às condições atmosféricas e de 10 cm para peças em contato com água ou em ambiente úmido.

6.19.1.4 Tolerâncias

Antes do corte e do dobramento, e caso necessário antes da colocação, deverá ser verificada a retilidade de cada barra ou dos seus trechos retos. O desvio do eixo da barra ou de seus trechos retos, com relação à linha reta teórica, não poderá exceder 1% do comprimento de qualquer parcela de sua extensão, nem exceder o limite máximo de 2 cm.

As tolerâncias para a colocação da armadura e dos cabos são apresentadas na Figura N.

	VARIAÇÃO	TOLERÂNCIA
COBRIMENTO	2,5 cm	$\pm 0,5 \%$
	5,0 cm	$\pm 1,0 \%$
	7,5 cm	$\pm 1,5 \%$
	$\geq 10,0$ cm	$\pm 2,5 \%$
ESPAÇAMENTOS DAS BARRAS	$\geq 10,0$ cm (INTEREIXOS)	$\pm 2,5 \%$
	$\leq 10,0$ cm (INTEREIXOS)	$\pm 1,5 \%$
DESVIO EM RELAÇÃO A POSIÇÃO DO PROJETO DOS CABOS	NAS PARTES RETAS	± 10 mm
	NAS PARTES CURVAS	± 30 mm

Figura N: Tolerâncias para colocação de armaduras

Após a montagem dos cabos deve-se verificar a estanqueidade das bainhas, a fim de impedir a penetração de nata de cimento em seu interior. Durante a protensão, a força aplicada deverá ser a indicada no Projeto e os alongamentos não poderão diferir em mais de 5% dos valores teóricos.

6.19.2 Embutidos

6.19.2.1 Generalidades

Os elementos embutidos serão fornecidos pelo Construtor.

Como elementos embutidos devem ser entendidos: os elementos metálicos embutidos, os elementos de vedação (veda-juntas de PVC), os drenos e os instrumentos de auscultação.

"As especificações em sua maioria citam que os embutidos são fornecidos pelo Construtor. Entretanto os instrumentos de auscultação em algumas oportunidades podem ser fornecidos pelo Construtor e instalados pela Fiscalização. Em outros casos, o fornecimento e a instalação fica sob a responsabilidade do Construtor."

Antes da colocação do concreto deve-se tomar o cuidado para o posicionamento e fixação dos embutidos.

Os dispositivos de vedação deverão ser colocados de maneira a formar, numa junta de dilatação ou contração, um elemento contínuo e estanque à água.

Os elementos de vedação deverão atender às normas da ABNT.

Os drenos deverão atender às características designadas no Projeto.

6.20 Reparos

6.20.1 Generalidades

Os reparos serão de responsabilidade do Construtor e deverão ser efetuados logo após a desforma e depois de uma inspeção cuidadosa na área afetada, não só para determinar a extensão da região a ser reparada, mas também, para assegurar que não haja implicações de natureza estrutural.

6.20.2 Preparo

O concreto imperfeito deverá ser removido, em extensão e profundidade, até que se tenha confiança na integridade do concreto remanescente.

O delineamento e corte deverá ser feito de modo a proporcionar um perímetro bem definido, o que além de facilitar o reparo, permitirá um melhor acabamento.

Após o corte, e antes da execução da reconstituição da área, a cavidade deve ser limpa como uma junta de construção.

6.20.3 Reconstituição

A reconstituição da região poderá ser feita pelos processos de reparos tecnicamente disponíveis, após a aprovação da Fiscalização.

"Dentre as técnicas de reparo pode-se citar:

- aplicação de argamassa seca;*
- aplicação de argamassa epoxídica;*

- aplicação de argamassa comum de cimento;
- aplicação de concretos especialmente dosados;
- aplicação de concretos com fibras;
- aplicação de concretos com microssilica;
- aplicação de concretos com polímeros;
- aplicação de concretos ou argamassas projetados etc.

A aplicação dessas técnicas requer uma avaliação criteriosa e cuidadosa por parte do Construtor e da Fiscalização".

6.20.4 Cura

A cura do reparo deve ser feita de modo análogo ao adotado no concreto da estrutura.

Após a cura, a superfície do reparo deverá ser esmerilhada, sendo que esta operação será estendida além do perímetro da região reparada, para que desapareçam os vestígios da junta de concretagem.

6.21 Concretos e Serviços Especiais

"Neste item é comum as especificações apresentarem os requisitos dos concretos e serviços especiais envolvidos na obra em consideração.

Dentre essas técnicas serviços e concretos especiais podem ser citados:

- concreto projetado;
- concreto pré-refrigerado;
- pós-resfriamento do concreto;
- concreto bombeado;
- concreto com agregado pré-colocado;
- concreto para peças pré-moldadas;
- concreto poroso;
- concreto para segundo estágio;
- concreto e/ou argamassa com expensor;
- concreto protendido;
- concreto adensado com rolo vibratório;
- concreto auto-adensável;
- serviços de injeção de bainhas e cabos de protensão;
- cura térmica.

Cada um desses tópicos é revestido de detalhes específicos, como se observa pelo Capítulo 16 à frente. Entretanto deve ser salientado que é importante que a Especificação indique o requisito do produto e não as exigências do processo, que é uma responsabilidade inerente ao Construtor por opção pelo método proposto".

6.22 Controle de Qualidade

"Neste item, as especificações estabelecem as rotinas e as responsabilidades pelo controle de qualidade.

É evidente que o nível de inspeção e controle a ser adotado depende do tipo e complexidade do projeto, das características especiais envolvidas, dos requisitos legais e dos objetivos do programa de controle de qualidade.

Saliente-se que a inspeção e os ensaios por si só não implementam a qualidade do produto ou do processo sob controle. A inspeção e os ensaios apenas confirmam se o produto ou o processo atendem aos critérios estabelecidos.

As informações decorrentes das inspeções ou dos ensaios, entretanto, quando adequadamente avaliadas e com as conclusões e decisões decorrentes, é que resultarão na melhoria de qualidade do produto ou do processo.

O programa de controle de qualidade deve ser suficientemente detalhado para permitir avaliar adequadamente o produto ou processo. O Construtor deve ser constantemente incentivado a providenciar e estabelecer o seu próprio controle de qualidade.

O Construtor, entretanto, poderá estar ou não diretamente envolvido no controle de qualidade. As relações contratuais devem determinar essas responsabilidades.

As informações e conceitos apresentados a partir do Capítulo 8 deste texto procuram dar subsídios àqueles que planejam as atividades de controle de qualidade, para o estabelecimento das rotinas necessárias. Entretanto, de modo resumido, as Figuras O, P, Q fornecem uma listagem de atividades aplicáveis a três níveis de empreendimentos."

NÍVEL DO EMPREENDIMENTO:

- - construções residenciais;
- - casas;
- - redes e pequenas construções de drenagem;
- - redes viárias.

ESCOPO DAS ATIVIDADES RECOMENDADAS PARA O CONTROLE

- - atestado de qualidade dos produtos e dosagem do concreto;
- - amostragem e ensaios aleatórios durante a construção;
- - inspeção ao acaso das atividades de concretagem;
- - ensaios de ruptura a compressão de amostras do concreto.

Figura O: Atividades de controle em pequenos empreendimentos

NÍVEL DO EMPREENDIMENTO

- - construções de edifícios industriais ou comerciais;
- - construções de pequena altura;
- - construções de pequenas pontes;
- - construções de vias expressas ou de transporte de massa
- - construções de uso público intenso (estádios, teatros etc...)

ESCOPO DAS ATIVIDADES RECOMENDADAS PARA O CONTROLE

- - amostragem e ensaios dos materiais antes do início e durante a construção
- - utilização de materiais aprovados e exigência de certificados de ensaios;
- - aprovação das dosagens das misturas de concreto;
- - inspeção no armazenamento de materiais, sistema de produção de concreto e do sistema de transporte, antes do início da construção;
- - inspeção ao acaso no sistema de produção do concreto, durante a construção;
- - inspeção das atividades de preparo, transporte, colocação, fôrmas, armaduras, e cura;
- - amostragem e ensaios do concreto, a intervalos de tempo, independentemente do controle exercido pelo Construtor;
- - acompanhamento da maturidade do concreto para a remoção das fôrmas bem como de outras atividades tais como protensão;
- - ensaios de laboratório sobre corpos de prova para aprovação das características do concreto.

Figura P: Atividades de controle em empreendimentos médios

NÍVEL DO EMPREENDIMENTO

- - construções de grande altura;
- - construções de edifícios-garagem;
- - construções de barragens;
- - construções de grandes pontes e viadutos;
- - construções de usinas elétricas;
- - construções de vias expressas;
- - construções de docas, eclusas e portos.

ESCOPO DAS ATIVIDADES RECOMENDADAS PARA O CONTROLE

- - amostragem e ensaios dos materiais para a completa pré-qualificação;
- - amostragem e ensaios dos materiais, sob rotina adequada, durante o período de construção, com monitoração de algumas propriedades a intervalos periódicos. Alguns ensaios de qualificação não precisam ser repetidos durante a construção e podem ser avaliados por atestados de eventuais fornecedores;
- - aprovação das dosagens das misturas de concreto;
- - inspeção e aprovação do sistema de produção de concreto;
- - qualificação do plano de transporte incluindo o programa de ensaios de uniformidade da mistura;
- - inspeção periódica no sistema de produção de concreto;
- - inspeção constante durante as atividades de preparo, transporte, colocação, adensamento, acabamento, formas, armaduras e cura do concreto;
- - amostragem e ensaios dos concretos, a intervalos periódicos, para avaliação das propriedades requeridas na Especificação;
- - monitoração da maturidade do concreto para a remoção das formas e de outras atividades;
- - ensaios de laboratório sobre os concretos para avaliação das propriedades requeridas;
- - acompanhamento dos dados obtidos pela auscultação.

Figura Q: Atividades de controle em grandes empreendimentos

Outro ponto a ser definido é a quem cabe a responsabilidade do controle. Ao Proprietário cabe definir, sendo que tem sido observado os seguintes procedimentos:

- controle de qualidade exercido pelo próprio Proprietário;
- controle de qualidade exercido por um preposto do Proprietário, através de empresa especialmente contratada;
- controle de qualidade exercido pela própria empresa responsável pelo Projeto;
- controle de qualidade exercido pelo Construtor responsável pela execução das obras.

A título , ainda, de estimativa, a Figura R apresenta algumas informações sobre os custos(US\$/m³ de concreto) do controle de qualidade com base de cálculo nos níveis de atividades citadas nas Figuras O, P, Q, acima citadas. As eventuais variações nos custos decorrem das intensidades de amostragens estabelecidas e da dimensão da equipe de inspeção alocada.

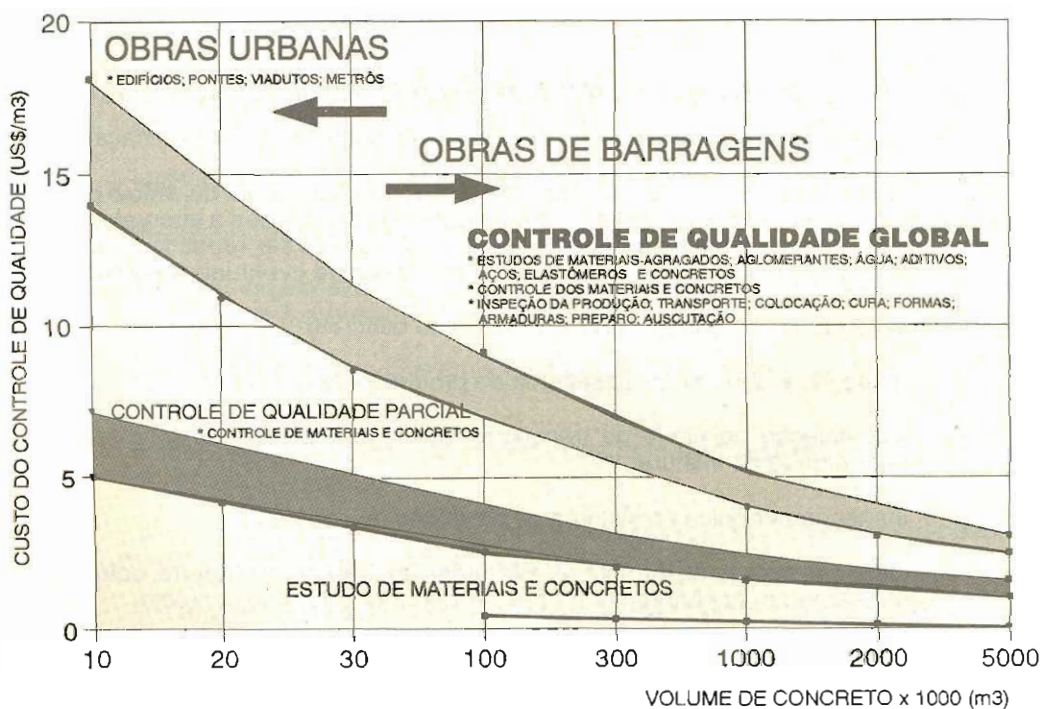


Figura R: Estimativa de custos devido ao controle de qualidade de obras de concreto

7. ESTUDOS E DOSAGEM DO CONCRETO

7.1 Investigação dos Materiais e Estudos Preliminares

Durante a fase de viabilidade da obra é imprescindível o conhecimento qualitativo e quantitativo da disponibilidade dos materiais de construção, e para tanto deve-se desenvolver pesquisas e investigações nas prováveis jazidas. Estas investigações devem ser as mais detalhadas possíveis. Em seguida a esta fase passa-se a fazer os estudos de proporcionamento dos materiais para a composição do concreto e finalmente a caracterização das propriedades mecânicas e térmicas do concreto.

É importante estabelecer um planejamento para essas atividades.

As Figuras 7.1 e 7.2 exemplificam cronogramas de estudos para a construção de duas obras - Itaipu e Capanda (Angola).

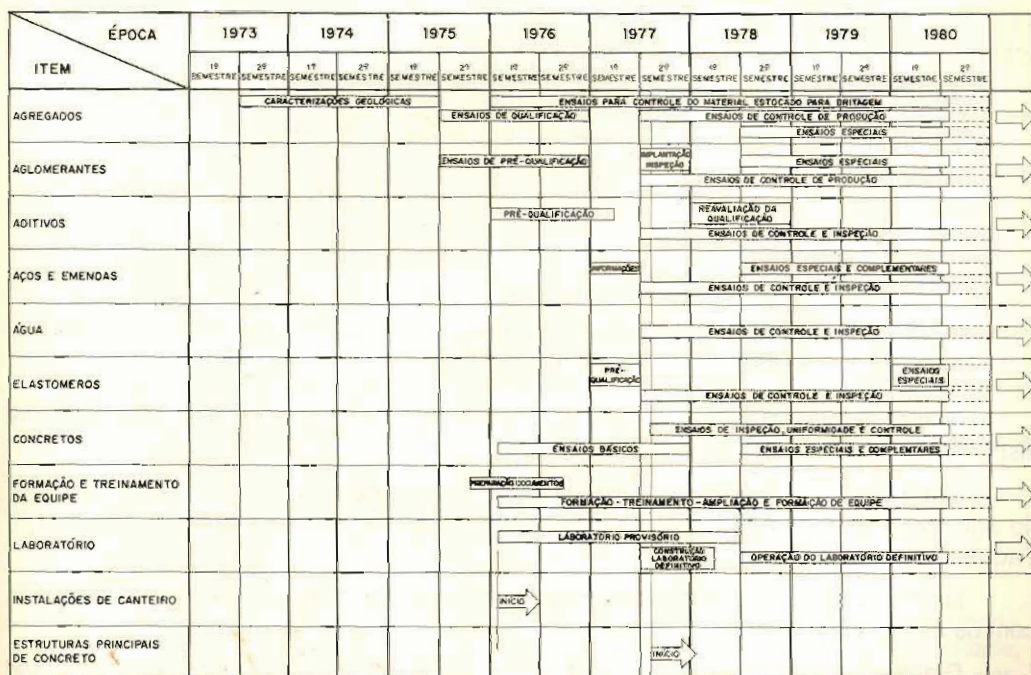


Figura 7.1- Cronograma de atividades para os estudos de materiais, dosagens e controle para a obra da barragem de Itaipu

7.1.1 - Cimento

Com adequada antecedência do início dos estudos de dosagens, o tipo de cimento deve ser definido com base nas peculiaridades da obra e dos materiais, bem como na disponibilidade de mercado.

ATIVIDADE		1987	1988		1989	
		1º SEMESTRE	1º SEMESTRE	2º SEMESTRE	1º SEMESTRE	2º SEMESTRE
MATERIAIS BÁSICOS	PLANEJAMENTO DOS ESTUDOS	XXXX				
	REMESSAS DOS ESTUDOS	XXX	XXX			
	AGREGADOS	XXXXXXXXXXXX				
	CLINKER	XXXXXXXXXXXX				
	CIMENTO	XXXXXXXXXXXX				
ADITIVOS	PÓ DE PEDRA				XXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX
	CONVOCAÇÃO DOS FORNECEDORES		XXXXX			
CONCRETOS CONVENCIONAIS	ENSAIOS			XXXXXXXXXXXX		
	ACERTOS DAS MISTURAS		XXX			
	RESISTÊNCIAS E MÓDULOS		XXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX		
	ADIABÁTICAS			XXXX		
	TÉRMICOS			XXXXXX		
	CAPACIDADE DE ALOJAMENTO			XXXXXXXXXXXX		
	FLUÊNCIA			XXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX	
	ABRASÃO (ESCOAM. HIDRÁULICO)		XXXXXXXXXX			
CONCRETOS ROLADOS E BÊRÇO	PERMEABILIDADE					
	ACERTOS DAS MISTURAS			XXX		
	RESISTÊNCIAS E MÓDULOS				XXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX
	TRIAXIAIS				XXXXXXXXXXXX	
	ADIABÁTICAS				XXXXXX	
	TÉRMICOS				XXXXXX	
	CAPACIDADE DE ALOJAMENTO				XXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX
	FLUÊNCIA				XXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX
MANTA DE PVC	PERMEABILIDADE				XXXXXXXXXXXX	
	REVIBRAÇÃO					XXXXXX
DESENVOLVIMENTO	ESTUDOS E ENSAIOS DE				XXXXXXXXXXXX	
	DESENVOLVIMENTO					
INÍCIO DAS CONSTRUÇÕES DE CONCRETO						XXXXX

Figura 7.2 - Planejamento e programa dos estudos para a obra da barragem de Capanda - Angola (7.1)

Como a base para essa análise, recomenda-se o conjunto de informações disponíveis nos Capítulos 5 e 6.

Um exemplo que pode ser citado é o dos estudos desenvolvidos para a definição do aglomerante para a construção das hidroelétricas de Porto Primavera, Rosana e Taquaruçu da CESP.

Nessas obras os agregados disponíveis apresentaram características reativas com os álcalis do cimento.

Diante da dificuldade de se obter, no mercado, um cimento que atendesse os requisitos especificados, foi desenvolvido, em conjunto com os fabricantes, um cimento pozolânico dentro de parâmetros requeridos.

Nessa etapa, então, é necessário que se conheça todas as características do aglomerante a ser utilizado na obra e nos estudos de dosagem.

Para os estudos de dosagens é necessário o conhecimento das massas específicas - absoluta e aparente - respectivamente para as dosagens em peso ou volume. No caso de cimento Portland comum, tem-se utilizado os valores de $3,15 \text{ Kg/m}^3$ (absoluto) e $1,25 \text{ Kg/m}^3$ (aparente).

7.1.2 - Material Pozolânico

O material pozzolânico, no Brasil, tem sido indicado para ser utilizado em concreto massa devido ao grande benefício que esse material traz para a maioria das propriedades do concreto.

Em casos específicos, o uso de material pozzolânico é imprescindível, como no caso das obras da CESP - Jupiá e Ilha Solteira - que foram pioneiras, no Brasil, no emprego desse material.

É necessário o conhecimento do emprego ou não de material pozzolânico, bem como o tipo e consumo mais adequado.

Nos Capítulos 5 e 6 são indicadas características de materiais pozzolânicos, como referência para a definição de seu uso no concreto.

Para os estudos de dosagens, além do consumo relativo ao consumo de cimento, é necessário o conhecimento da massa específica absoluta. O material pozzolânico proveniente de argila caolinítica apresenta em média o valor de $2,40 \text{ Kg/m}^3$, e o material pozzolânico como cinza volante (fly-ash) tem valor médio de $2,20 \text{ Kg/m}^3$.

As Figuras 7.3 e 7.4 mostram comparativamente com as Figuras 5.13 e 5.14 a evolução da fissuração (e desagregação) de testemunhos de concretos com agregados reativos (com os álcalis) e cimentos de alto teor de álcalis.

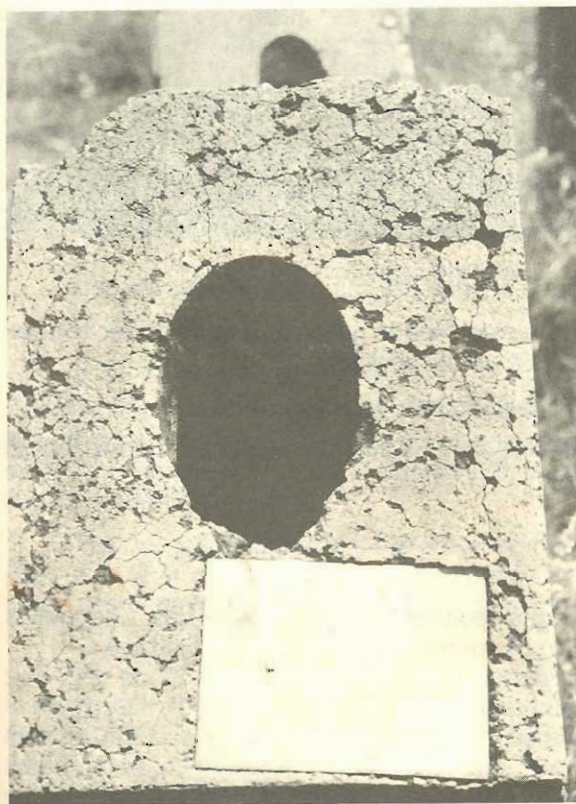


Figura 7.3 - Situação de um bloco de concreto com 20 anos de idade, moldado com agregado pyrex e cimento com álcalis de 0,97%, sem uso de material pozzolânico - comparar com a Figura 5.13 - Laboratório da CESP de Ilha Solteira

Figura 7.4 - Situação de um bloco de concreto com 20 anos de idade, moldado com agregado de ágata, calcedônia e quartzo, e cimento com 1,05% de álcalis. Comparar com a Figura 5.14 (excetuando o furo do testemunho). Laboratório da CESP - Ilha Solteira



7.1.3 - Agregados

A escolha dos agregados depende em primeiro lugar da disponibilidade do material nas proximidades da obra.

Deve ser avaliada a durabilidade e a estabilidade química para se poder estabelecer a envoltória de providências técnicas a serem adotadas.

Nos Capítulos 5, 6 e 8 há recomendações úteis para essa avaliação.

Para efeitos de dosagens é necessário o conhecimento da granulometria, massa específica absoluta, absorção e umidade.

7.1.4. - Água

Para se avaliar a qualidade da água recomenda-se a análise das seguintes características:

- pH.
- Sólidos totais.
- Cloretos.
- Sulfatos.
- Alcalinidade.

- Ferro.
- Álcalis.
- Avaliação da qualidade de água, através da resistência à compressão, de argamassa fabricada com a água em estudo e com água destilada.
- Açúcares.
- Outros materiais.

Materiais como aço, aditivos químicos e dispositivos de vedação devem ser avaliados e inspecionados conforme se sugere no Capítulo 8.

7.2 Dosagem das Misturas

7.2.1 Generalidades

Da experiência adquirida em diversas obras tem-se observado que basicamente dois métodos de dosagem têm tido a preferência dos tecnologistas na definição das misturas dos concretos, e que são:

- O método de dosagem das tentativas, assim denominado pois os estudos das misturas são baseados em betonadas experimentais, que possibilitam estabelecer procedimentos que convergem para a determinação conveniente das mais diferentes misturas, para as diversas situações da obra, a partir dos materiais disponíveis e das condições de projeto.
Essa metodologia tem sido adotada como orientação inicial na maioria dos estudos de dosagem de obras de grande porte do Brasil.
- O outro é o método do "Módulo de Finura".

7.2.2 Evolução Histórica

Ao longo dos tempos, entretanto, vários métodos têm sido usados para proporcionamento dos ingredientes nos concretos, como por exemplo a utilização de volumes em uma mistura como 1:2:4 - significando uma parte de cimento, duas partes de areia e quatro partes de pedra.

Não se sabe ao certo o início do uso desse critério, mas tem-se conhecimento (7.2) (7.3) (7.4) que tenha sido usado por Smeaton em 1756, no proporcionamento de argamassas aplicadas na construção da "Eddystone Lighthouse".

O primeiro estudo de proporcionamento racional, provavelmente (7.2) (7.3) tenha sido feito por René Feret - Chefe do Laboratório de "Ponts et Chaussées", na França, entre 1892 e 1897 (7.5). Feret concluiu que com um mesmo cimento, mesma areia e mesma idade e condições de cura, a resistência à compressão de uma série de argamassas plásticas é função, somente, da relação do volume de cimento para o volume de água e de vazios de ar, e que a resistência varia com o quadrado dessa relação.

O próximo a elaborar um estudo detalhado do proporcionamento foi William B. Fuller, junto com Sanford E. Thompson em 1901. Como resultado desse estudo, Fuller estabeleceu uma série de regras para proporcionamento, sendo as mais importantes (7.6):

- Com um certo teor de cimento e dada areia e agregados graúdos, o concreto mais resistente e denso será obtido quando a areia, cimento e água forem suficientes para preencher somente os vazios dos agregados graúdos. (O grifo é dos autores.)

- Quando os agregados são graduados de modo a se obter, após a adição de água e cimento, uma mistura mais densa, o concreto será mais resistente do que quando se usar a mesma quantidade de cimento sem a graduação dos agregados.

Observa-se então que Fuller e Thompson foram os pioneiros em defender a idéia da influência da composição granulométrica dos agregados, no proporcionamento do concreto, ao contrário dos pesquisadores anteriores, que utilizaram misturas do tipo 1:2:4 - sem caracterizar a dimensão dos agregados.

Algo novo foi introduzido no estudo do proporcionamento, em 1918 (7.7) por L.N. Edwards, do Departamento de Obras, Toronto - Ontário, através do que foi denominado de "Método da Área Superficial", no qual a área superficial dos agregados era computada através da análise granulométrica. Entretanto, esse método não teve muita aplicação prática, embora se apresentasse satisfatoriamente respaldado sob o ponto de vista teórico.

Logo antes (7.2) de Edwards publicar seu método da "Área Superficial", Duff A. Abrams, trabalhando para a Associação de Cimento Portland - USA (PCA), publicou um pequeno artigo em Maio de 1918, na Engineering News Record sobre um novo método que propunha. Esse método foi definitivamente publicado em fins de 1918, início de 1919.

O método proposto chamava atenção para a determinação do "Módulo de Finura" do agregado e depositava maior ênfase na quantidade de água de mistura com relação ao teor de cimento.

O novo termo - Módulo de Finura - foi usado para designar a "efetiva dimensão e graduação do agregado" e era obtido através da análise granulométrica, com base em uma série de nove peneiras começando com a de malha nº 100 (0,15 mm), sendo que a abertura das demais crescia em uma progressão geométrica de razão 2 (dois), e o "Módulo de Finura" era a soma dos percentuais retidos em cada uma, dividido por 100.

Abrams apregoava, um pouco contra os pontos de vista da época, que o concreto mais resistente não era o de maior densidade, mas sim aquele com agregados mais grossos (maior tamanho de agregado) (7.8). Abrams informava que enquanto a graduação do agregado afetava o teor de água da mistura, a resistência dependia apenas da relação entre água e cimento.

Ao redor de 1923, enquanto seus estudos ainda se desenvolviam na Universidade de Illinois, A.N. Talbot e F.E. Richart questionaram (7.9) a validade da abrangência das afirmativas de Abrams de que a resistência do concreto era determinada somente pela relação entre o cimento e a água. Talbot e Richart aceitavam que era a magnitude dos vazios no concreto, espaços ocupados pela água e o ar, que afetavam a resistência do concreto. Desenvolvendo essa idéia, atestavam que dentro de certos limites a resistên-

cia de um concreto era a mesma da sua argamassa, pois o agregado atuava somente como inerte de enchimento (filler).

O Termo "Relação de Vazios-Cimento" era usado para expressar a relação entre os vazios remanescentes no concreto lançado e o volume absoluto de cimento.

Embora vários autores e pesquisadores tenham dado ênfase a diferentes elementos como vazios, densidade, área superficial dos agregados e teor de água, é notório que alguns desses elementos possuam inter-relações, tais como vazios-densidade, reduzindo-se então as diferenças entre os métodos até então propostos.

Em 1931, o Professor Inge Lyse publicou (7.10) a sugestão de se usar a relação água-cimento em peso, em lugar da relação volumétrica, afirmando que a resistência era uma função linear dessa relação, em peso.

Nessa época surgiu a preocupação sobre a maneira de se controlar de modo simples e econômico a quantidade de água. Dos vários esquemas sugeridos, na época, os que se apresentavam como mais práticos foram o Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test) e o da Mesa de Consistência (Flow table).

Com a aplicação de material pozolânico a partir dos anos de 1930 (5.26), introduziu-se uma modificação no conceito da relação água-cimento, passando-a para relação ou fator água-cimento equivalente, sendo que o termo cimento equivalente passou a corresponder ao peso de equivalente volume de cimento. Alguns, entretanto, consideram o material pozolânico como parte do agregado.

Com o surgimento e desenvolvimento (7.11), pelo Corps of Engineers, da técnica de incorporação de ar, passou-se a levar em conta, ainda, a existência de vazios intencionalmente introduzidos no concreto.

Desta forma, neste texto procurar-se-á levar em consideração a rotina mais ampla, abrangendo a maior gama das variáveis possíveis.

7.2.3 Conceito

O proporcionamento das misturas de concreto é o processo que determina a mais prática e econômica combinação dos materiais, dando uma mistura que em seu estado plástico pode ser facilmente manuseada, consolidada e acabada nas formas e que, quando endurecida, apresenta a adequada resistência, densidade, estabilidade volumétrica e estanqueidade, para os fins que se propõe.

A facilidade com que uma mistura é manuseada, consolidada e acabada é avaliada pela trabalhabilidade.

Para se ter economia, o proporcionamento deve minimizar o uso dos materiais de maior custo, sem entretanto sacrificar a qualidade do concreto. Normalmente o componente de maior custo é o aglomerante. Sendo que a qualidade do concreto depende basicamente do fator água-cimento, esta relação deve ser mantida em níveis compatíveis, de modo a reduzir o teor de cimento e de água.

Os passos para reduzir os teores de água e cimento incluem:

- Misturas mais rígidas (menor trabalhabilidade).
- Emprego de agregados de tamanho máximo o maior possível.
- A relação, ótima, entre agregados miúdo e graúdo.

Deve ser levado em conta, ainda, o custo relativo dos agregados miúdo e graúdo.

Vários métodos, ao longo dos tempos, foram sugeridos para o proporcionamento das misturas, sendo conhecidos (7.12):

- Método dos volumes escolhidos arbitrariamente (do tipo 1:2:4:0).
- Método da relação de vazios.
- Método da máxima densidade.
- Método da análise mecânica.
- Método do "módulo de finura".
- Método da área superficial dos agregados.
- Método do fator água-cimento.

Vários grupos de usuários justificam vantagens sobre um ou outro método que tenha sido adotado.

O método abordado neste texto é o do proporcionamento por meio do volume absoluto, estabelecido através (7.13) de tentativas por meio de betonadas experimentais.

Deve ser lembrado (5.17) que a dosagem não deve ser encarada como uma equação matemática, onde as incógnitas são os consumos dos materiais.

Os materiais são vários, e muitas das suas propriedades não podem ser assumidas quantitativamente. Tendo isso em vista, deve-se estimar as proporções dos materiais e também fazer misturas experimentais para a verificação das características desejadas.

A dosagem em laboratório, entretanto, não fornece o proporcionamento final da mistura, pois deve ser levado em conta, também, o desempenho dos equipamentos, como o local de produção.

Outros fatores (5.17), tais como os efeitos do manuseio, transporte, espera para lançamento, condições climáticas podem influenciar as propriedades do concreto, devendo se orientar as correções ou tomar medidas minimizadoras.

7.2.4. Método das Tentativas (Do Volume Absoluto)

O proporcionamento da mistura do concreto através do método das tentativas baseia-se em parâmetros previamente adotados a partir de estudos e experiências anteriores das características exigidas para o concreto pelas condições de aplicação e de exposição das estruturas.

Para atender às condições de exposição e durabilidade das estruturas, normalmente são utilizados os limites do valor da relação água-cimento indicado na Figura 7.5, recomendado pelo American Concrete Institute (7.13).

Entretanto, é importante considerar a condição do clima do Brasil, para aplicar os valores estabelecidos na tabela a seguir:

ESTRUTURAS	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO (EM PESO)			
	CLIMA SEVERO		CLIMA BRANDO	
	SEÇÕES DELGADAS	SEÇÕES MASSIVAS	SEÇÕES DELGADAS	SEÇÕES MASSIVAS
Linhas hidráulicas, onde ocorra saturação intermitente, incluindo paramentos de montante e jusante de barragens em paramentos de escoamento e superfícies expostas/canais	0,50	0,55	0,55	0,60
Interior de barragens, canais, paramentos não hidráulicos e interior de outras estruturas de gravidade onde pode-se usar 2 classes de concreto	-	0,80	-	0,80
Estruturas comuns, expostas	0,60	0,65	0,60	0,65
Estruturas completamente submersas	-	0,50	-	0,50
Concreto lançado em água	-	0,50	-	0,50
Lajes de pavimentos				
Estrutural	0,50	-	0,55	-
Fundação	0,60	-	0,60	-
Exposição a água altamente sulfatada ou outros líquidos corrosivos ou sais	0,45	0,45	0,45	0,45
Concreto submetido a escoamento sob alta velocidade	0,45	0,45	0,45	0,45
Para concretos lançados ou expostos à água de mar, a relação A/C deverá ser reduzida de 0,05 em relação aos supracitados.				

Figura 7.5 - Relação A/C máxima recomendada

Para definição da consistência ideal através do abatimento do tronco de cone recomenda-se os valores da Figura 7.6 a seguir para os diferentes tipos de estruturas.

TIPOS DE OBRA	ABATIMENTO (CM)		
	Máximo	Mínimo	Usual
Paredes de fundação e sapatas armadas	12	5	7 a 8
Sapatas não armadas	10	3	7 a 8
Lajes, vigas e paredes armadas, caixões e paredes de infra-estruturas	15	5	6 a 7
Pilares de edifícios	15	5	7 a 8
Pavimentos	8	5	4 a 5
Concreto massa	6	2	2 a 4

Figura 7.6 - Recomendações de abatimento pelo tronco de cone

Observa-se que a adoção de qualquer desses valores está intimamente ligada à experiência do profissional, sendo apenas indicativo, já existindo concretos com abatimento zero (adensamento com rolo vibratório).

Quando se trata de concretos estruturais, um aspecto direcional na determinação do traço mais próximo às condições previamente estabelecidas é a dimensão máxima característica do agregado graúdo, que deve ser fixada baseando-se na Figura 7.7, ou às indicações da NBR 6118 (ABNT). A escolha deste parâmetro vai determinar a economicidade do concreto, pois quanto maior a dimensão máxima de uma composição de agregados bem graduados, menor será o seu índice de vazios, para os concretos convencionais.

CONDIÇÕES

D Máx. < 1/4 L
 D Máx. < 3/4 B
 D Máx. < 1/3 E

Onde: L = menor dimensão da peça a concretar
 B = menor distância entre as barras de armadura
 E = espessura da laje

Figura 7.7 - Dimensão máxima do agregado graúdo do concreto

Quando a resistência do concreto é o fator preponderante, deve-se procurar dados que possibilitem uma orientação nesse aspecto. A Figura 7.8 fornece alguns dados que podem ser utilizados para estabelecer a relação água-cimento em função da resistência exigida para o concreto (5.17).

AGREG. D MÁX. mm	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES A IDADE DE 28 DIAS Kgf/cm ²							
	AGREGADO NATURAL				AGREGADO BRITADO			
A/CEQ.	19	38	76	152	19	38	76	152
0,40	370-330	360-320	330-300	320-300	400-360	390-350	360-310	350-310
0,50	310-280	300-270	270-240	260-230	370-330	330-300	280-250	270-240
0,60	240-220	230-220	220-200	210-200	260-230	250-220	240-220	230-210
0,70	180-160	170-150	160-140	150-130	200-180	190-170	180-160	170-150
0,80	120-100	120-100	110-90	100-80	140-120	140-120	130-110	120-100
OBS: RESISTÊNCIA APROXIMADA PARA CONCRETOS COM AR INCORPORADO (DE 4 A 6% NA FRAÇÃO PENEIRADA), COM ABATIMENTO AO REDOR DE 5cm E TEMPERATURA DE 22°								

Figura 7.8 - Resistência à compressão aproximada (5.17)

Quando for especificada a utilização de materiais pozolânicos, tanto para atenuar a geração de calor produzido pela hidratação ou mesmo para outras finalidades, essa substituição deve ser feita em volume sólido, isto é, substituindo-se o volume de uma parte do cimento por um volume igual de material pozolânico. Nessas condições denomina-se cimento equivalente (Ceq) a massa do cimento remanescente mais a massa de cimento de mesmo volume que o material pozolânico.

Para estabelecimento da quantidade de aditivo incorporador de ar no concreto, pode-se tomar como base os valores da Figura 7.9, que estabelece os valores recomendados para o volume de ar incorporado para as dimensões máxima características dos agregados no concreto.

D Máx.	PORCENTAGEM DE AR INCORPORADO NO CONCRETO FRESCO PENEIRADO NA PENEIRA DE 38 MM
19	4 ± 0,5
38	4 ± 0,5
76	6 ± 0,5
152	8 ± 0,5

Figura 7.9 - Porcentagem de ar incorporado x D Máx

A quantidade de água necessária para proporcionar determinada trabalhabilidade, para uma dada quantidade de areia, dependerá de vários fatores tais como: finura dos aglomerantes, forma, graduação e dimensão máximas característica dos agregados e dos aditivos em uso.

Desta forma percebe-se que as quantidades que serão apresentadas são apenas orientadoras do posicionamento inicial, devendo ser corrigidas adequando as condições nominais da dosagem em determinação.

A Figura 7.10 a seguir fornece alguns valores orientativos do consumo de água:

AGREGADO GRAÚDO	CONSUMO DE ÁGUA kg/m ³			
Tipo D Máx. (mm)	19	38	76	152
Natural	140-150	123-133	98-108	80-90
Britado	175-185	155-165	125-135	100-110

Obs.: Consumo de água aproximado para concreto com abatimento ao redor de 5 cm e ar incorporado entre 4 e 6% medidos na fração peneirada na peneira 38 mm.

Figura 7.10 - Consumo de água aproximado

Na Figura 7.11 pode-se observar alguns dados adicionais de consumo de água para agregados artificiais bem graduados e dentro das especificações recomendadas, para várias dimensões máximas de concreto do agregado graúdo, com e sem ar incorporado e para abatimentos do tronco de cone, compreendidos na faixa de 3 a 18 cm, medidos na fração peneirada do concreto na peneira 38 mm, para concretos com D Máx. > 38 mm.

(cm) ABATIMENTO	D MÁX. (mm)	CONSUMO DE ÁGUA Kg/m ³								OBSERVAÇÕES
		9,5	12,5	19	25	38	50	76	152	
3 A 5		205	200	185	180	160	155	145	125	CONCRETO SEM ADITIVOS INCORPORADORES DE AR
8 A 10		225	215	200	195	175	170	160	140	
15 A 18		240	230	210	205	185	180	170	-	
% DE AR APRISIONADO EXISTENTE NO CONCRETO INTEGRAL		3	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2	
3 A 5		180	175	165	160	145	140	135	120	CONCRETO COM ADITIVOS INCORPORADORES DE AR
8 A 10		200	190	180	175	160	155	150	135	
15 A 18		215	205	190	185	170	165	160	-	
% DE AR NO CONCRETO INTEGRAL		4	4	4	4	4	4	4	4	

Figura 7.11 - Teor aproximado de água requerida para diferentes medidas de abatimento e D Máx. do agregado

Uma outra determinação de grande importância na sequência da definição dos parâmetros indicativos de dosagem é a porcentagem de areia e o volume de argamassa da mistura que deverão estar sempre próximas da quantidade mínima indispensável, com uma margem de segurança cuja amplitude é função da uniformidade da graduação dos agregados durante a produção.

As Figuras 7.12 e 7.13 apresentam alguns valores orientativos dos teores de argamassa e da porcentagem de areia em volume, presentes no agregado total, função do seu módulo de finura e tipo de areia.

TEOR DE ARGAMASSA NO CONCRETO -%		
D MÁX. (mm)	TIPO DE AGREGADO	% DE ARGAMASSA EM VOLUME ABSOLUTO
19	BRITADA	53-57
	NATURAL	51-55
38	BRITADA	46-50
	NATURAL	44-48
76	BRITADA	37-41
	NATURAL	34-38
152	BRITADA	31-35
	NATURAL	28-32

Figura 7.12 - Teores de argamassa (5.17)

TEOR DE AREIA NO CONCRETO EM % DO VOLUME ABSOLUTO DE AGREGADO TOTAL													
D MÁX. (mm)	TIPO DO GRAÚDO	MÓDULO DE FINURA E TIPO DE AREIA											
		2,00		2,20		2,40		2,60		2,80		3,00	
		N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
152	BRITADO	18	20	19	21	20	22	21	23	22	24	23	25
	NATURAL	16	18	17	19	18	20	19	21	20	22	21	23
76	BRITADO	23	24	24	26	25	27	26	28	27	29	28	30
	NATURAL	21	23	22	24	23	25	24	26	25	27	26	28
38	BRITADO	28	30	29	31	31	33	33	35	35	37	37	39
	NATURAL	25	28	27	29	29	31	31	33	33	35	35	37
19	BRITADO	33	35	35	37	37	39	39	41	41	43	43	45
	NATURAL	31	33	33	35	35	37	37	39	39	41	41	43

Figuras 7.13 - Teor de areia - aproximado - no concreto, com acréscimo de 1% a 2% em relação ao ideal

Conforme visto, os agregados graúdos deverão estar de tal forma combinados, a fim de que uma mínima quantidade de argamassa seja necessária para o envolvimento uniforme dos graúdos no lançamento. Em resumo, o ponto ideal deverá ser uma combinação tal, que apresente uma maior densidade ou menor índice de vazios.

Alguns estudiosos do assunto, entre eles Talbot e Richart, apresentaram uma expressão matemática, posteriormente modificada por Bolomey, que estabelece curvas de compactidade máxima, e orienta na definição das combinações mais favoráveis (7.9):

$$d^x - 0,1875^x$$

$$p = \frac{\quad}{D \text{ Máx. }^x - 0,1875^x} \times 100\%$$

$$D \text{ Máx. }^x - 0,1875^x$$

onde: p = porcentagem acumulada que passa na malha d
d = abertura da malha em polegadas
D Máx. = dimensão máxima característica nominal
(diâmetro nominal em polegadas)
x = expoente

Devido às grandes diferenças de superfície específica entre agregados britados e seixos rolados, mesmo em uma mesma graduação, a densidade máxima só é atingida com combinações diferentes. Sendo assim, adota-se para o expoente da expressão o valor x = 0,5 e 0,8 respectivamente para materiais rolados (seixos) e materiais obtidos artificialmente através de britagem.

Quando se usa uma combinação dos dois materiais, recomenda-se uma interpolação.

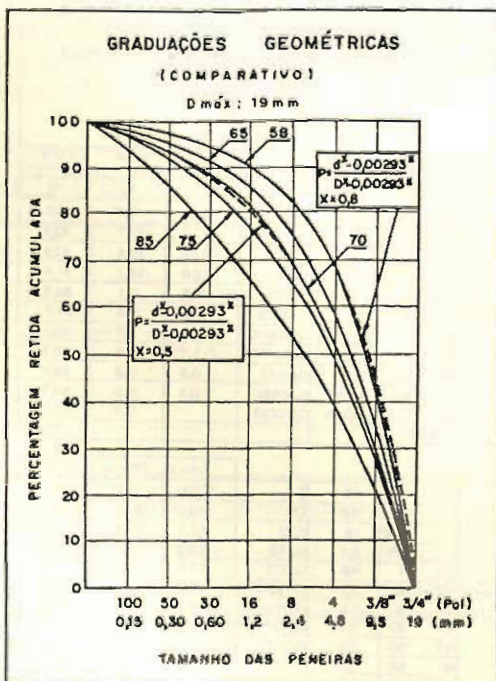
As Figuras 7.14 a 7.16 fornecem os percentuais retidos e passando em cada peneira, calculados pela expressão de Bolomey.

ABERTURA	MATERIAL NATURAL - % PASSANDO - D MÁX. - X = 0,5										
	6"	5"	4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
6"	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5"	89,4	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4"	77,7	86,9	100	-	-	-	-	-	-	-	-
3"	64,4	72,0	82,9	100	-	-	-	-	-	-	-
2 1/2"	56,9	63,7	73,3	88,4	100	-	-	-	-	-	-
2"	48,7	54,4	62,6	75,5	85,5	100	-	-	-	-	-
1 1/2"	39,3	43,9	50,5	60,9	69,0	80,7	100	-	-	-	-
1"	28,1	31,4	36,2	43,6	49,4	57,8	71,6	100	-	-	-
3/4"	21,5	24,0	27,6	33,3	37,7	44,1	54,7	76,4	100	-	-
1/2"	13,6	15,2	17,5	21,1	23,9	27,9	34,6	48,3	63,3	100	-
3/8"	8,9	9,9	11,4	13,8	15,6	18,3	22,6	31,6	41,4	65,4	100
MATERIAL BRITADO - % PASSANDO - X = 0,8											
6"	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5"	85,5	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4"	70,5	82,4	100	-	-	-	-	-	-	-	-
3"	54,6	63,8	77,5	100	-	-	-	-	-	-	-
2 1/2"	46,3	54,1	65,7	84,8	100	-	-	-	-	-	-
2"	37,6	44,0	53,4	69,0	81,3	100	-	-	-	-	-
1 1/2"	28,5	33,4	40,5	52,2	61,6	75,8	100	-	-	-	-
1"	18,8	22,0	26,7	34,4	40,6	49,9	65,8	100	-	-	-
3/4"	13,5	15,8	19,2	24,8	29,3	36,0	47,5	72,1	100	-	-
1/2"	7,9	9,3	11,3	14,6	17,2	21,1	27,9	42,3	58,7	100	-
3/8"	4,9	5,8	7,0	9,1	10,7	13,1	17,3	26,3	36,5	62,2	100

Figura 7.14 - Composições granulométricas

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA TEÓRICA					
D máx. 19 mm					
$P = \frac{d^x - 0,00293^x}{D^{máx.} - 0,00293^x}$					
PENEIRA		D máx. 19 mm X = 0,8			
POLEGADA	mm	FRAÇÃO DE POLEGADA	P(PASS.) %	P(RETIDA) %	P(RET. AC) %
3/4	19	0,75	100,00	0,00	0,00
3/8	9,5	0,375	56,93	43,07	43,07
Nº 4	4,8	0,1875	32,19	24,74	67,81
Nº 8	2,4	0,09375	17,07	14,22	82,03
Nº 16	1,2	0,046375	9,81	6,16	90,19
Nº 30	0,6	0,0234375	5,13	4,58	94,87
Nº 50	0,3	0,01172	2,43	2,70	97,57
100	0,15	0,00586	0,89	1,54	99,11
FUNDO	0,075	0,00293		0,89	100,00
M.F.					5,75

D máx. 19 mm X = 0,3					
POLEGADA	mm	FRAÇÃO DE POLEGADA	P(PASS.) %	P(RETIDA) %	P(RET. AC) %
3/4	19	0,75	100,00	0,00	0,00
3/8	9,5	0,375	68,76	31,24	31,24
Nº 4	4,8	0,1875	46,67	22,09	53,33
Nº 8	2,4	0,09375	31,03	15,62	68,95
Nº 16	1,2	0,046875	20,00	11,05	80,00
Nº 30	0,6	0,0234375	12,19	7,81	87,81
Nº 50	0,3	0,01172	6,67	5,32	93,33
Nº 100	0,15	0,00586	2,76	3,91	97,24
FUNDO	0,075	0,00293	0,00	2,76	100,00
M.F.					5,12



COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA TEÓRICA					
D máx. 38 mm					
$P = \frac{d^x - 0,00293^x}{D^{máx.} - 0,00293^x}$					
PENEIRA		D máx.: 38 mm X = 0,8			
POLEGADA	mm	FRAÇÃO DE POLEGADA	P(PASS.) %	P(RETIDA) %	P(RET. AC) %
1 1/2	38	1,5	100,00	0,00	0,00
3/4	19	0,75	57,14	42,86	42,86
3/8	9,5	0,375	32,33	24,81	67,47
Nº 4	4,8	0,1875	18,39	14,22	81,61
Nº 8	2,4	0,09375	10,27	8,12	89,73
Nº 16	1,2	0,046875	5,60	4,67	94,40
Nº 30	0,6	0,0234375	2,93	2,67	97,07
Nº 50	0,3	0,01172	1,39	1,54	98,87
Nº 100	0,15	0,00586	0,50	0,89	99,50
FUNDO	0,075	0,00293		0,50	100,00
M.F.					6,71

D máx.: 38 mm X = 0,5					
POLEGADA	mm	FRAÇÃO DE POLEGADA	P(PASS.) %	P(RETIDA) %	P(RET. AC) %
1 1/2	38	1,5	100,00	0,00	0,00
3/4	19	0,75	69,33	30,65	30,65
3/8	9,5	0,375	47,69	21,66	52,31
Nº 4	4,8	0,1875	32,37	13,52	67,63
Nº 8	2,4	0,09375	21,54	10,85	78,48
Nº 16	1,2	0,046875	13,87	7,63	86,13
Nº 30	0,6	0,0234375	8,46	5,41	91,54
Nº 50	0,3	0,01172	4,63	3,63	95,37
Nº 100	0,15	0,00586	1,31	2,22	98,08
FUNDO	0,075	0,00293	0,00	2,01	100,00
M.F.					6,00

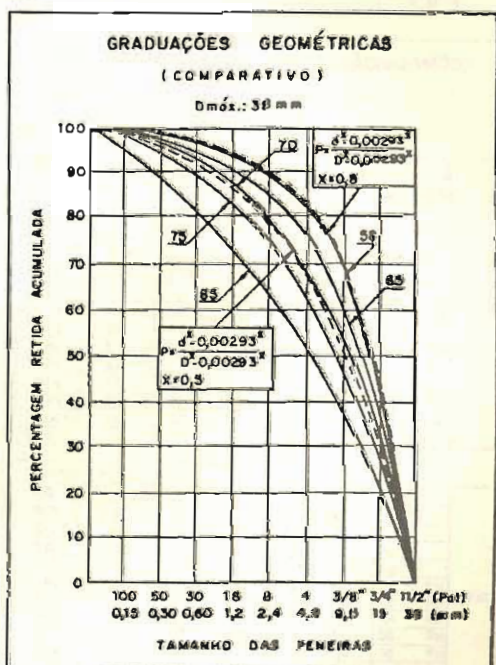
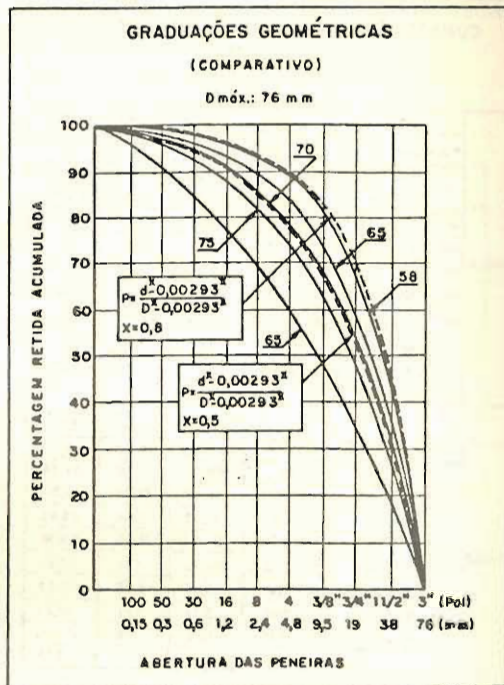


Figura 7.15 - Composições granulométricas para D Máx. 19 mm e 38 mm

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA TEÓRICA					
D _{máx.} : 76 mm					
$P = \frac{d^4 - 0,00293^4}{D_{máx}^4 - 0,00293^4}$					
	PENEIRA		D _{máx.} : 76 mm X = 0,8		
	POLEGADA	mm	FRAÇÃO DE POLEGADA	P (PASS) %	P (RET. AC) %
X=0,8	3"	76	3	100,0	0,0
	1 1/2"	38	1,5	57,3	42,7
	3/4"	19	0,75	32,7	67,3
	3/8"	9,5	0,375	18,6	81,4
	Nº 4	4,8	0,1875	10,5	89,5
	Nº 8	2,4	0,09375	5,9	94,1
	Nº 16	1,2	0,046875	3,2	96,8
	Nº 30	0,6	0,0234375	1,7	98,3
	Nº 50	0,3	0,01172	0,8	99,2
	Nº 100	0,15	0,00586	0,3	99,7
	FUNDO	0,075	0,00293	0,3	100,0
	M. F.				7,69
X=0,5			D _{máx.} : 76 mm X = 0,5		
	POLEGADA	mm	FRAÇÃO DE POLEGADA	P (PASS) %	P (RET. AC) %
	3"	76	3	100,0	0,0
	1 1/2"	38	1,5	69,8	30,2
	3/4"	19	0,75	48,4	51,6
	3/8"	9,5	0,375	33,3	66,7
	Nº 4	4,8	0,1875	22,6	77,4
	Nº 8	2,4	0,09375	15,0	85,0
	Nº 16	1,2	0,046875	9,7	90,3
	Nº 30	0,6	0,0234375	5,9	94,1
	FUNDO	0,075	0,00293	1,3	98,7
	M. F.				6,91



COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA TEÓRICA					
D _{máx.} : 152 mm					
$P = \frac{d^4 - 0,00293^4}{D_{máx}^4 - 0,00293^4}$					
	PENEIRA		D _{máx.} : 152 mm X = 0,8		
	POLEGADA	mm	FRAÇÃO DE POLEGADA	P (PASS) %	P (RET. AC) %
X=0,8	6"	152	6	100,0	0,0
	3"	76	3	57,3	42,7
	1 1/2"	38	1,5	32,8	67,2
	3/4"	19	0,75	18,8	81,2
	3/8"	9,5	0,375	10,7	89,3
	Nº 4	4,8	0,1875	6,0	94,0
	Nº 8	2,4	0,09375	3,4	96,6
	Nº 16	1,2	0,046875	1,8	98,2
	Nº 30	0,6	0,0234375	1,0	99,0
	Nº 50	0,3	0,01172	0,5	99,5
	FUNDO	0,075	0,00293	0,2	99,8
	M. F.			0,2	100,0
X=0,5			D _{máx.} : 152 mm X = 0,5		
	POLEGADA	mm	FRAÇÃO DE POLEGADA	P (PASS) %	P (RET. AC) %
	6"	152	6	100,0	0,0
	3"	76	3	70,1	29,9
	1 1/2"	38	1,5	48,9	51,1
	3/4"	19	0,75	33,9	66,1
	3/8"	9,5	0,375	23,3	76,7
	Nº 4	4,8	0,1875	15,8	84,2
	Nº 8	2,4	0,09375	10,5	89,5
	Nº 16	1,2	0,046875	6,8	93,2
	Nº 30	0,6	0,0234375	4,1	95,9
	FUNDO	0,075	0,00293	2,3	97,7
	M. F.			0,9	99,1
	M. F.			0,9	100,0

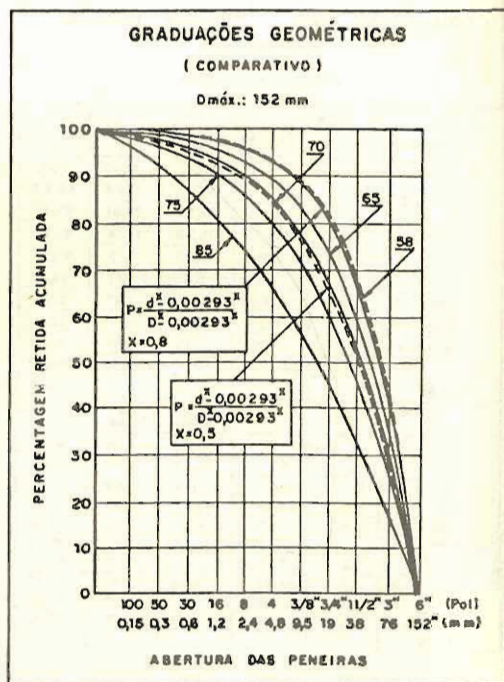


Figura 7.16 - Composições granulométricas para D Máx. 76 mm e 152 mm

Partindo da premissa de que os agregados graúdos estejam obedecendo as faixas granulométricas especificadas pelas práticas geralmente adotadas, as combinações da Figura 7.17 poderão ser utilizadas pois conduzirão a índices de vazios dentro de um valor próximo ao mínimo possível.

	% VOLUME ABSOLUTO DO AGREGADO TOTAL			
D Máx. (mm)	19	38	76	152
152	15 - 25	15 - 25	25 - 35	25 - 0
76	30 - 35	25 - 35	35 - 45	-
38	45 - 50	50 - 55	-	-
19	100	-	-	-

Figura 7.17 - Porcentagem de combinação do agregado graúdo na mistura do concreto

Evidentemente, após a escolha conveniente da distribuição do graúdo e da definição do traço obtido de dosagem, o acompanhamento da performance quando do lançamento é que determinará a eficiência da combinação adotada, devendo ser ajustada, se necessária, nessa ocasião.

Algumas informações nesta etapa poderão ser utilizadas no estudo da dosagem, que são:

- Para cada grau de aumento ou redução de temperatura do concreto, corresponderá aproximadamente um aumento ou redução do consumo de água de 0,3% (5.17).
- Cada 1cm de variação de abatimento corresponde aproximadamente a um aumento ou diminuição de 1% no consumo de água nominal do concreto.
- A utilização de aditivos plastificantes não especiais proporcionam 5% de redução de água, sendo esse valor tido como mínimo exigido.

Com todos os dados disponíveis tem-se condições de se iniciar o estudo de uma dosagem qualquer. Como se vê a seguir:

7.2.4.1. Definição dos Parâmetros Iniciais:

- Consistência adequada.
- Dimensão máxima característica permitida.
- Durabilidade exigida.
- Resistência mecânica exigida.
- Análise dos materiais disponíveis.
- Necessidade de uso de material pozolânico.
- Necessidade de uso de aditivos.

Os materiais disponíveis devem ser conhecidos, isto é, caracterizados.

7.2.4.2 - Aglomerantes

Os cimentos destinados à utilização na obra, à qual se aplicam os traços em determinação, devem ser amostrados para ensaios de caracterização física e química completa. Neste passo, entende-se como já definido previamente a especificação necessária que o cimento ora em questão deva possuir, fato comum de se estudar principalmente em obras com agregados reativos. Na necessidade da substituição de parte do cimento por material pozolânico, esse percentual já deve estar definido em estudos especiais.

Esquecendo-se das demais imposições de especificação, a única característica que é realmente indispensável que se conheça para o início da dosagem, é a densidade absoluta dos grãos.

7.2.4.3 - Agregados

Devem ser conhecidos:

- Granulometria.
- Massa específica na condição saturada superfície seca.
- Absorção.
- Umidade.

7.2.4.4 - Aditivos

O comportamento dos aditivos e a avaliação de qualidade deve ser previamente reconhecidos.

7.2.4.5 - Combinação do Agregado Graúdo

Com base na dimensão máxima característica permitida e das graduações disponíveis, passa-se a determinar a combinação mais favorável, que pode estar compreendida na faixa inserida na Figura 7.17.

Recomenda-se compor as curvas granulométricas de várias combinações e compará-las com a curva de compacidade máxima.

Em paralelo, uma série de moldagens de corpos de prova com concretos de mesma consistência, consumo de aglomerantes, e com as combinações em estudo poderá ser útil aliando a uma combinação granulométrica satisfatória e a uma resistência mecânica correspondente.

7.2.4.6 - Adoção da Quantidade de Água

Baseando nas indicações das Figuras 7.10 ou 7.11 e nas características gerais do concreto, adota-se uma quantidade de água para início das tentativas de acerto do "Traço Base".

7.2.4.7 - Adoção do Teor de Areia e Volume de Argamassa

Com os dados orientativos das Figuras 7.12 e 7.13 deverá ser adotada uma certa porcentagem de areia, adequada às condições dos materiais disponíveis, observando-se teores de argamassa e areia sugeridos.

7.2.4.8 - Determinação da Mistura Inicial e do Traço Base

Com os dados já em mãos até o momento passa-se à determinação do "Traço Base", assim denominado pois a partir desse traço, devidamente ajustado tanto para as condições nominais quanto para adequação de quantidade de areia, é que se passará às moldagens com a finalidade da elaboração da curva relação água-cimento x resistência.

- Determinação do Consumo de Cimento

Com o valor da água adotada (kg/m^3) denominada de (A), e da relação $A/C = 0,50$ determina-se o consumo de cimento através da expressão:

$$\frac{A}{\text{Cim}} = 0,50$$

onde :

A = Água adotada inicialmente (kg/m^3)

0,50 = relação A/C

Cim = $A/0,50$ (Kg/m^3)

Adotou-se a relação $A/C = 0,50$ por se tratar de valor intermediário entre os A/C mínimo e máximo mais utilizados.

Para concreto massa esse valor inicial deve ser 0,70 . Em uma fase complementar faz-se a diversificação dessa relação para moldagens e verificação de propriedades.

- Determinação do Volume Absoluto do Cimento

Como a massa específica (γ) é uma relação entre massa e volume dos sólidos, expresso em kg/l ou g/cm^3 , tem-se:

$$V_{\text{cim}/\text{m}^3} = \frac{\text{Cim (kg)}}{\gamma \text{ Cim (kg/l)}}$$

Quando se substitui parte do volume sólido do cimento por material pozzolânico, a relação A/C passa a ser denominada de água-cimento equivalente, mantendo-se o valor numérico (para efeito de dosagem).

Adoção do Teor de Ar Incorporado

Tendo em mãos as indicações das Figuras 7.9 e 7.11, adota-se a porcentagem mais adequada. No caso de o concreto possuir dimensão máxima característica maior que 38 mm e sendo a quantidade de ar recomendada medida na fração peneirada na malha 38 mm, deverá ser feito um ajuste para se determinar o volume de ar na mistura integral sem peneiramento. Inicialmente adota-se 40 l e após o cálculo da composição verifica-se a porcentagem de ar especificado no concreto peneirado, está sendo atendida, conforme segue:

$$ap = \frac{ai}{100 - V} \cdot 100\%$$

ap = porcentagem de ar especificado no concreto peneirado
V = volume de agregado gráúdo retido na malha de 38 mm
ai = volume de ar adotado inicialmente (40 l)

Este cálculo deve ser repetido até que seja obtido um valor de "ap" próximo ao recomendado.

- Cálculo do Volume Absoluto do Agregado Total (Vabst)

Basta subtrair de 1.000 l (tomado sempre como referência em dosagem), o ar incorporado adotado, o volume sólido do cimento e a água.

$$Vabst = 1.000 \text{ l} - (Var \text{ (l)} + Vcim \text{ (l)} + Vág \text{ (l)})$$

- Cálculo do Volume Absoluto dos Agregados Individuais

Com os valores da porcentagem de areia adotados e da distribuição relativa entre o gráúdo, e com a aplicação desses parâmetros no volume absoluto total (Vabst), tem-se o volume absoluto de cada um dos materiais (gráúdos e miúdos).

- Determinação das Massas dos Materiais

São obtidos através dos volumes acima determinados e as respectivas massas específicas determinadas na caracterização.

- Determinação da Água Livre nos Graúdos e Miúdos

Os agregados destinados à dosagem devem estar na condição saturada superfície seca, entretanto como tal nem sempre ocorre, correções devidas são feitas a partir do teor de umidade dos materiais, de tal forma que a condição "saturada superfície seca" seja mantida.

Para esse cálculo é necessário se conhecer o conceito da água livre e absorção dos agregados, facilmente compreendida através do esquema da Figura 7.18.

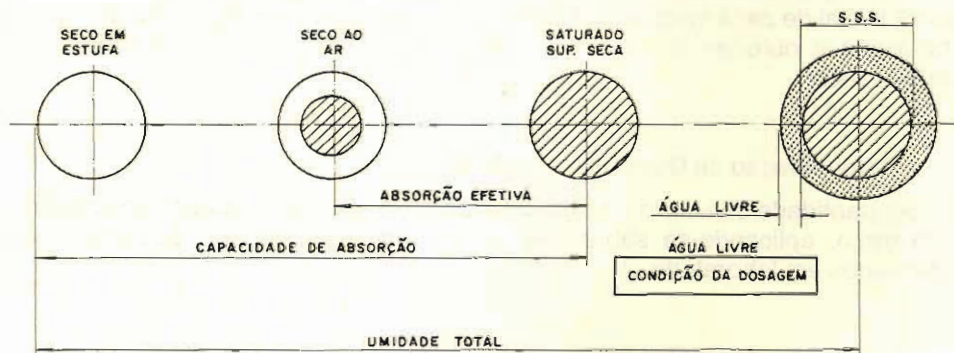


Figura 7.18 - Água Livre e Absorção do Agregado

Após a obtenção do teor de umidade dos materiais, obtém-se as quantidades de água livre ou de água necessária para atingir o estado saturado superfície seca de cada material. O somatório com as devidas compensações determinará a quantidade de água livre que deve ser subtraída da água nominal (caso prepondere água livre sobre a absorção), ou a ser somada à água nominal do traço (caso prepondere absorção sobre a umidade). Tendo em vista a dificuldade de absorção rápida quando do acréscimo de água, no caso de umidade menor que a absorção, recomenda-se adotar os seguintes fatores práticos (5.17) e (7.14) de redução da água livre.

D Máx. (MM)	FATOR MULTIPLICATIVO DA ÁGUA LIVRE
19	0,75
38	0,70
76	0,65
152	0,60

Figura 7.19 - Fator "prático" para adoção da água livre

O percentual acima somente deverá ser aplicado quando não se tenha condições de utilizar o agregado nas condições de saturado superfície seca (SSS).

- Determinação das Massas Finais na Condição "SSS"

Com as quantidades de água livre (menor ou maior que a absorção), ajusta-se o peso/m³ inicial de cada material, adicionando-se ou subtraindo-se o valor da água livre, de tal forma a obter-se a massa de cada um dos materiais na condição saturada superfície seca.

- Determinação da Quantidade do Aditivo

A quantidade de aditivo é obtida através dos níveis de consumos dos aglomerantes do traço, aplicando-se sobre eles os percentuais indicados pelos fabricantes, comprovados em laboratório.

- Sequência de Operações.

- Pesar os agregados com a precisão adequada.
- Pesar o cimento (e a pozolana) separadamente.
- Pesar uma quantidade de água (e gelo, quando usado) - menor que a estimada. Deixar o complemento da quantidade de água em provetas graduadas.
- Pesar as quantidades de aditivos e adicioná-los à água .
- Proceder a mistura como se segue.
- Umidecer a betoneira tomando-se cuidado para não deixar água livre. Para concreto com agregados com D Máx. maior ou igual a 76 mm, é recomendável o uso de betoneiras com capacidade superior a 500 l.
- Colocar os agregados graúdos e miúdos e parte da água com os aditivos. Adicionar o material aglomerante. Essa operação deverá ser efetuada com a betoneira em movimento e não deverá ser superior a 1/2 (meio) minuto. Adicionar o restante da água com aditivo (complemento da quantidade menor do que a estimada).

Betonar durante 2 minutos, descansar 3 minutos e remisturar por mais 2 minutos. Durante o repouso poderá ser feita observação quanto a trabalhabilidade da mistura e a sua possível correção através do uso, se necessário, da água deixada nas provetas para remistura.

Nesta fase poderá haver reduções ou acréscimo de água, devendo a composição ser ajustada, aplicando-se fatores de correção distribuidores do excesso ou acréscimo de água dentre os componentes, inclusive entre a água necessária recém-acertada.

O fator multiplicativo (f) será maior que unidade quando houver redução de água, e menor que unidade quando houver acréscimo de água.

$$f = \frac{VT - Var}{VT - (Var + V\acute{a}gua)}$$

VT = volume total dos componentes

Var = volume de ar incorporado

V\acute{a}gua = volume de água corrigida

- Exemplo de cálculo de um traço

. Dados nominais

D Máx.	= 19 mm
Trabalhabilidade	= 5 a 6
% Ar Incorporado	= 3,5
fcj	= 200 kgf/cm ² aos 7 dias

. Materiais

Agregado Graúdo	= cascalho
Agregado Miúdo	= areia natural
Cimento Portland CPS 32	
Fly-Ash - 20% de substituição em volume sólido em relação ao cimento	
Água - Potável	
Aditivos - Retardador (0,25%) e incorporador (0,10%)	

. Resolução

Após a obtenção dos parâmetros iniciais (distribuição percentual dos agregados graúdos, volume de água, fator água/cimento, volume de ar, porcentagem de areia) com a ajuda das indicações anteriores, calcula-se uma dosagem experimental.

Calcula-se mais 2 ou 3 dosagens para diferentes percentuais de areia (normalmente $\pm 2\%$ da porcentagem básica), trocando-se areia pelo agregado graúdo e mantendo-se o volume de ar, água e aglomerante.

Essas dosagens são então betonadas e feita a correção de água e água-cimento conforme cálculos anteriormente indicados. Faz-se então o gráfico de água e água-cimento em função da porcentagem de areia, conforme Figura 7.20.

Através da Figura 7.20 escolhe-se o percentual ótimo de areia de 35% (para o exemplo considerado), e a correspondente quantidade de água de 145 kg/m^3 e fator A/ceq de 0,52. Com estes parâmetros, mantendo-se o volume sólido de ar constante, calcula-se o volume de agregado graúdo e miúdo, obtendo-se o "Traço Base" (a distribuição no graúdo é mantida constante).

A partir do Traço Base e mantendo-se constante o volume de ar e água, calculam-se traços com fator A/ceq de 0,40; 0,50 e 0,60 (ou outros); betona-se estes traços; molda-se corpos de prova e plota-se as curvas de resistência à compressão em função do fator A/ceq e da idade, como sugere a Figura 7.21.

Sabendo-se a resistência de 200 kg/cm^2 (7 dias), e com auxílio da Figura 7.21 obtém-se o fator A/ceq desejado em 0,45. Mantendo-se a quantidade de água, de ar e graúdo, calcula-se o traço procurado, utilizando-se da Figura 7.22, da seguinte forma:

. Determinação do Consumo de Aglomerantes

$$\frac{\text{Água}}{\text{Cimento}} = \frac{145}{(\text{Cim})} = 0,45 \quad \text{Cim} = 322 \text{ Kg/m}^3$$

Tem-se que:

$$\gamma_{\text{cim}} = \frac{P}{V_{\text{cim}}} \quad V_{\text{cim}} = \frac{P}{\gamma_{\text{cim}}} = \frac{322}{3,15} = 102 \text{ l}$$

Sendo a porcentagem de substituição de 20% de Fly-Ash, tem-se:

$$V_{\text{fly-ash}} = V_{\text{cim}} 0,20 = 102 \cdot 0,20 = 20,4 \text{ l}$$

Então :

$$\begin{array}{rcl} V_{\text{cim}} & = & 81,6 \text{ l} \\ V_{\text{fly-ash}} & = & 20,4 \text{ l} \\ \text{Total} & = & 102,0 \text{ l} \end{array}$$

. Cálculos dos Agregados:

A partir do Traço Base determina-se o volume absoluto do agregado graúdo = 470 litros.

O volume de areia é obtido pela subtração de 1000 litros dos volumes absolutos dos demais, como segue:

$$\text{Vareia (l)} = 1.000 - (\text{Var} + \text{Vágua} + \text{Vagreg. graúdo})$$

Portanto:

$$\text{Vareia} = 248 \text{ (l)}$$

. Cálculo dos pesos dos materiais/m³

Basta multiplicar os respectivos volumes dos materiais pelas densidades dos grãos, conforme Figura 7.22.

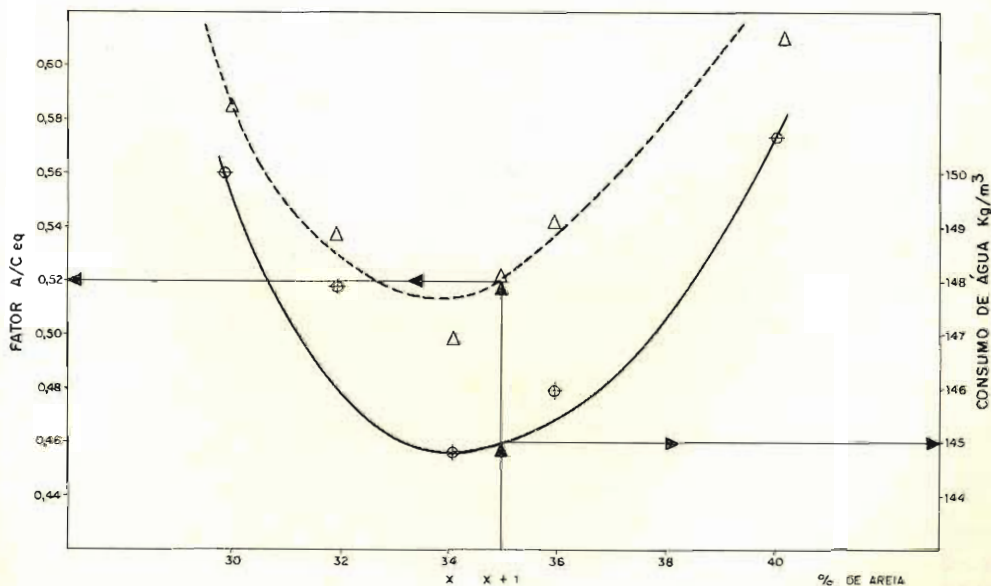


Figura 7.20 - Estudo da porcentagem de areia

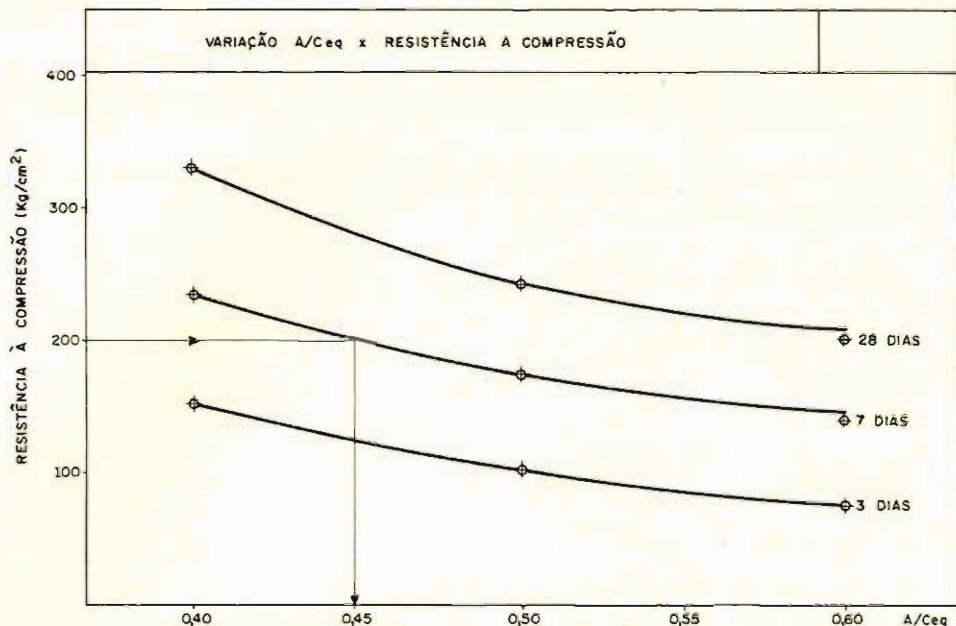


Figura 7.21 - Variação da resistência à compressão com o fator A/C_{eq}

[illegible]

Figura 7.22 - Tabela para cálculo de dosagem

. Cálculo da Quantidade de Aditivos

Essa quantidade/m³ é obtida aplicando-se o percentual sugerido ao peso total do aglomerante, obtendo-se:

$$\text{Aditivo Retardador} = 0,25/100 (257,0 + 44,0) = 0,753 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Aditivo incorporador} = 0,10/100.(257,0 + 44,0) = 0,301 \text{ kg/m}^3$$

7.3 Propriedades do Concreto

Após o estudo de dosagem do concreto, conforme item anterior, deve-se definir a composição do concreto que atenda às propriedades especificadas no projeto e determinar as seguintes características:

- Concreto Fresco

- Abatimento.
- Ar incorporado.
- Água de exsudação.
- Massa específica.

- Concreto Endurecido (listagem básica para referência e escolha)

- Resistência à compressão axial, módulo de deformação e coeficiente de Poisson, nas idades de 3, 7, 28, 90 e 365 dias.
- Resistência à tração por compressão diametral nas idades de 3, 7, 28, 90 e 365 dias.
- Resistência à tração por flexão em vigas, com carregamento rápido, nas idades de 3, 7, 28 e 90 dias.
- Capacidade de deformação com carregamento lento, nas idades de 3, 7, 28 e 90 dias.
- Deformação lenta (fluência) nas idades de 3, 7, 28 e 365 dias.
- Calor específico.
- Coeficiente de expansão térmica.
- Condutibilidade térmica.
- Difusividade térmica.
- Elevação adiabática da temperatura.
- Permeabilidade (lei de Darcy), na idade de 90 dias.

Para o controle da construção onde é utilizado o concreto massa há necessidade de se conhecer previamente o comportamento térmico das estruturas, a fim de se dimensionar o sistema de resfriamento do concreto e estabelecer os critérios para o controle e programação da construção.

Os estudos devem indicar para cada tipo de concreto a ser utilizado a temperatura máxima do concreto, a altura do lance de concretagem e o intervalo de tempo entre dois lançamentos sucessivos.

8. INSPEÇÃO E CONTROLE DOS MATERIAIS

8.1 Objetivos

Os objetivos de inspeção e controle em uma construção são os de garantir que ela seja executada a um menor custo possível e assegurar a estrutura com qualidades, segurança e uniformidade suficientes para garantir um desempenho satisfatório através de toda sua vida útil, prevista para operação de acordo com exigências do projeto.

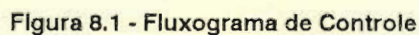
A montagem de um esquema adequado e eficiente para os estudos iniciais e controle da produção dos materiais básicos para fabricação de concreto, bem como o próprio concreto, traz, em geral, dificuldades aos mais experientes técnicos, principalmente em obras de grande porte.

Os principais estudos e a montagem do esquema de controle de qualidade de materiais e concreto devem, em geral, ser feitos com antecedência ao início de lançamento do concreto, tendo como objetivos básicos:

- Qualificar técnica e economicamente as matérias-primas necessárias à fabricação do concreto, de acordo com as especificações adotadas.
- Combinar (dosar) os materiais em proporções adequadas para atender os parâmetros de projeto.
- Manter a uniformidade dos materiais pré-qualificados durante a produção e uso dos mesmos.
- Manter a uniformidade das misturas do concreto.
- Preparar de forma adequada as áreas nas quais será lançado concreto.
- Cuidar para que o concreto seja adequadamente compactado.
- Observar a efetividade da cura das estruturas.
- Instalar, medir e interpretar instrumental, comparando resultados obtidos com os teóricos.
- Programar e executar ensaios de apoio e pesquisas com antecedência adequada.
- Relatar, interpretar e informar os resultados de controle e estudos, com uma dinâmica compatível com as proporções, necessidades e velocidades da obra.

Os objetivos do controle e inspeção serão atingidos através do efetivo controle destes fatores. A adoção de práticas adequadas no projeto e especificações dos melhores materiais não são suficientes para garantir uma boa performance das estruturas, a não ser que sejam adotados procedimentos apropriados para controle da construção.

A Figura 8.1, ilustra um esquema - fluxograma para o controle de materiais e serviços de concreto em uma obra genérica.



8.2 Controle do Cimento

A Figura 8.2 indica os pontos de controle de cimento que se adotou durante a construção da obra de Itaipu.

8.2.1 Ensaios de Controle na Fonte de Produção

Estes ensaios têm como objetivo a liberação do material na fábrica, e são executados em amostras colhidas durante a produção.

Este procedimento objetiva evitar ou minimizar a rejeição do material na obra.

O controle de qualidade do cimento durante a produção inicia-se com o conhecimento da matéria-prima, seguido do proporcionamento dos materiais crus, da calcinação e finalmente da moagem. Para o controle de liberação para a obra, recomenda-se a execução do controle do cimento na saída do moinho, através da coleta com frequência horária e execução dos ensaios indicados na Figura 8.3.

A partir dessa coleta, formam-se amostras compostas, correspondentes a lotes de no máximo 200t (sendo no mínimo um lote por semana) para ensaios de acordo com as Figuras 8.4, e 8.5. As amostras devem ser coletadas e ensaiadas conforme Metodologia citada no Capítulo 17.

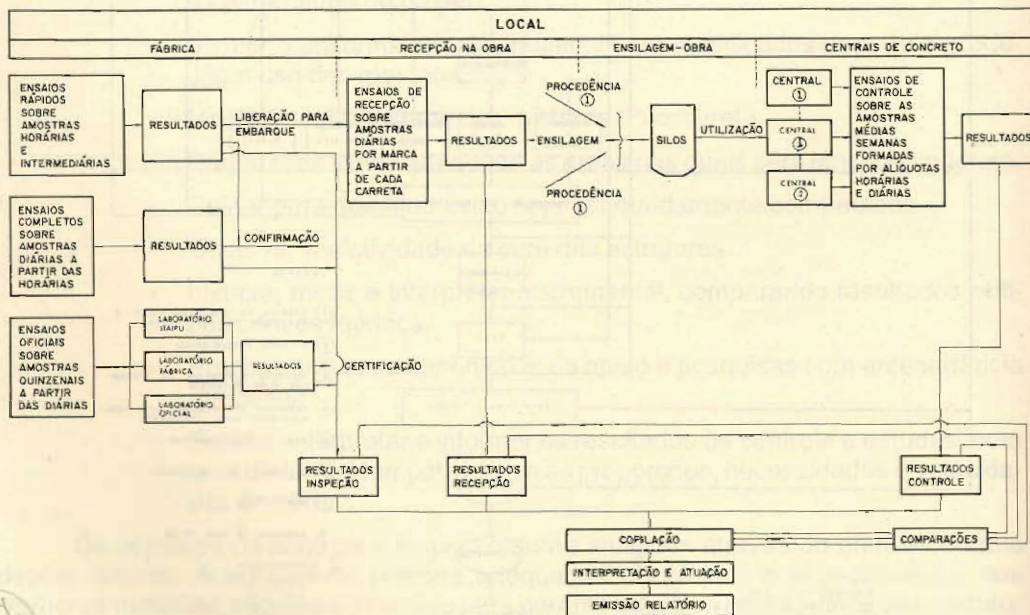


Figura 8.2 - Diagrama do esquema de controle de qualidade de cimento adotado para a obra de Itaipu

ENSAIOS	CIMENTO	
	PORTLAND COMUM	POZOLÂNICO
Retido na Peneira # 200(**)	X	X
Superfície Específica Blaine	X	X
Tempo de pega (início e fim)	X	X
Álcalis(*)	X	No Clinquer
Resíduo Insolúvel	X	X

(*) - Executado quando há suspeita de reação dos agregados com os álcalis:

(**) - Executado de três em três horas.

Figura 8.3 - Ensaio físicos e químicos em amostra horária

ENSAIOS	
FÍSICOS	QUÍMICOS
Retido na Peneira # 200	Perda ao fogo
Superfície específica Blaine	Resíduos Insolúveis
Tempo de Pega(início e fim)	Dióxido de Silício
Expansão em autoclave	Óxido de Ferro
Resistência à Compressão (3, 7, 28 dias*)	Óxido de Alumínio
Calor de Hidratação (7 e 28 dias)	Óxido de Cálcio
Massa Específica	Óxido de Magnésio
	Óxido de Enxofre
	Álcalis
	Cal livre
	Silicato Tricálcico
	Silicato Dicálcico
	Aluminato Tricálcico
	Tetracálcio Alumínio-Ferro

(*) - idades mais avançadas para uso em concreto massa.

Figura 8.4 - Ensaios físicos e químicos sobre o cimento Portland comum.

ENSAIOS	
FÍSICOS	QUÍMICOS
Retido na Peneira # 325	Perda ao fogo
Superfície específica Blaine	Resíduos Insolúveis
Tempo de Pega(início e fim)	Óxido de Ferro
Expansão em auto-clave	Dióxido de Silício
Resistência à Compressão(3,7,28 dias *)	Óxido de Alumínio
Calor de Hidratação (7 e 28 dias)	Óxido de Cálcio
Massa Específica	Óxido de Magnésio
Retração por secagem	Óxido de Enxofre
Reatividade com os Álcalis	Cal livre
- Expansão da argamassa - 14 dias	Álcalis (no Clinquer)
- Redução da Expansão	
Água Requerida	

(*) - idades mais avançadas para uso em concreto massa.

Figura 8.5 - Ensaios físicos e químicos sobre o cimento Portland pozolânico

O cimento normalmente é embalado em sacos. Entretanto, em obras, de grande consumo de aglomerantes, o transporte é feito a granel, pois oferece maior segurança contra a hidratação, facilidade de manuseio e minimiza as perdas decorrentes deste manuseio.

Entre os meios de transporte o mais indicado é o que utiliza contêineres rígidos, "cebolões", pois além de oferecer grande segurança quanto a contaminação do produto, apresenta facilidades na carga (por gravidade) e na descarga, executada pneumaticamente.

Outro meio de transporte do material a granel é através da utilização de recipientes plásticos, "sacolões", que podem se constituir em vantagens econômicas, pois podem ser transportados em caminhões comuns (Figura 8.6). Entretanto, cuidados devem ser tomados no transporte para se evitar a hidratação.

Esse tipo de transporte exige que as fábricas ou fornecedores, estejam equipados com sistemas adequados para a carga e manuseio dos sacolões e ainda que na obra se disponha de um sistema para a descarga. Os sistemas mostrados nas Figuras 8.7 e 8.8 são normalmente adotados.

Os sacolões devem ser projetados de tal forma que haja maior aproveitamento do transporte. Normalmente o sacolão para cimento apresenta um volume de 1m^3 , o que corresponde a aproximadamente 1,25 t, enquanto para materiais pozolânicos o sacolão deve ter um volume maior para uma mesma massa.



Figura 8.6 - Sacolões plásticos para transporte de aglomerantes - Porto Primavera

Durante a carga, se não foram tomadas medidas preventivas, os sacolões ficam inflados com ar, podendo acarretar sua ruptura e dificuldades no enchimento do mesmo. Este efeito é mais notado no caso de materiais pozolânicos, devido a menor massa específica. Para resolver este problema pode-se equipar o sacolão com um respiro ou outro sistema adequado (Figura 8.10).

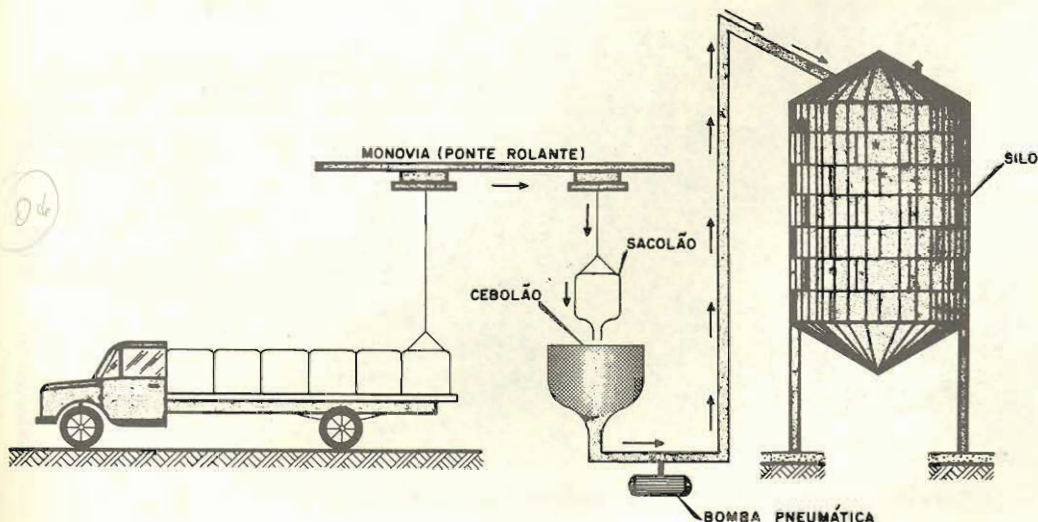


Figura 8.7 - Esquema para a descarga de sacolões

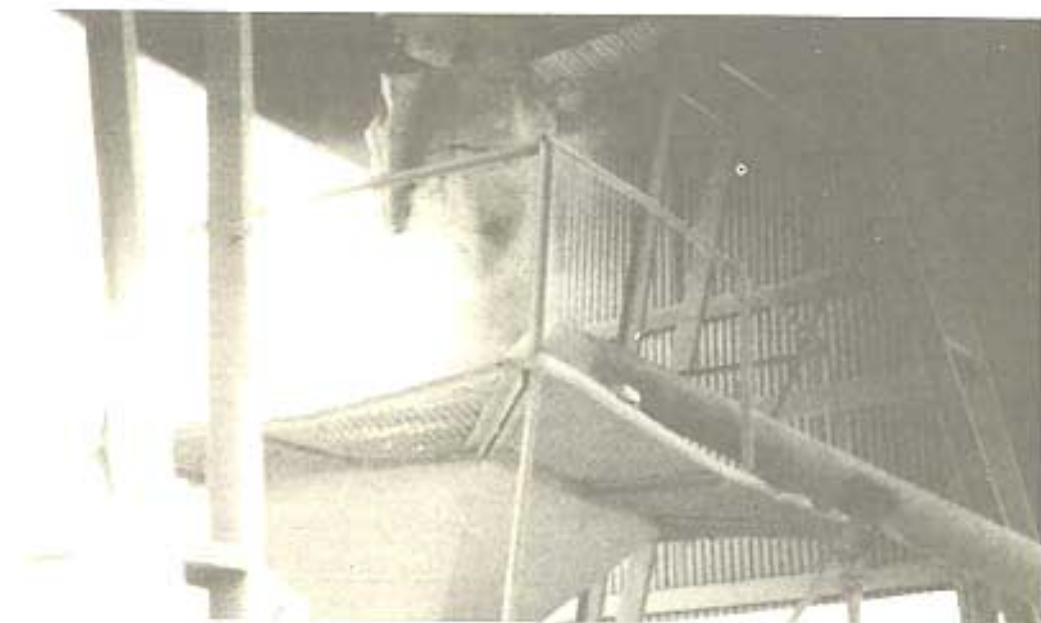


Figura 8.8 - Sistemas de descarga de sacolões plásticos

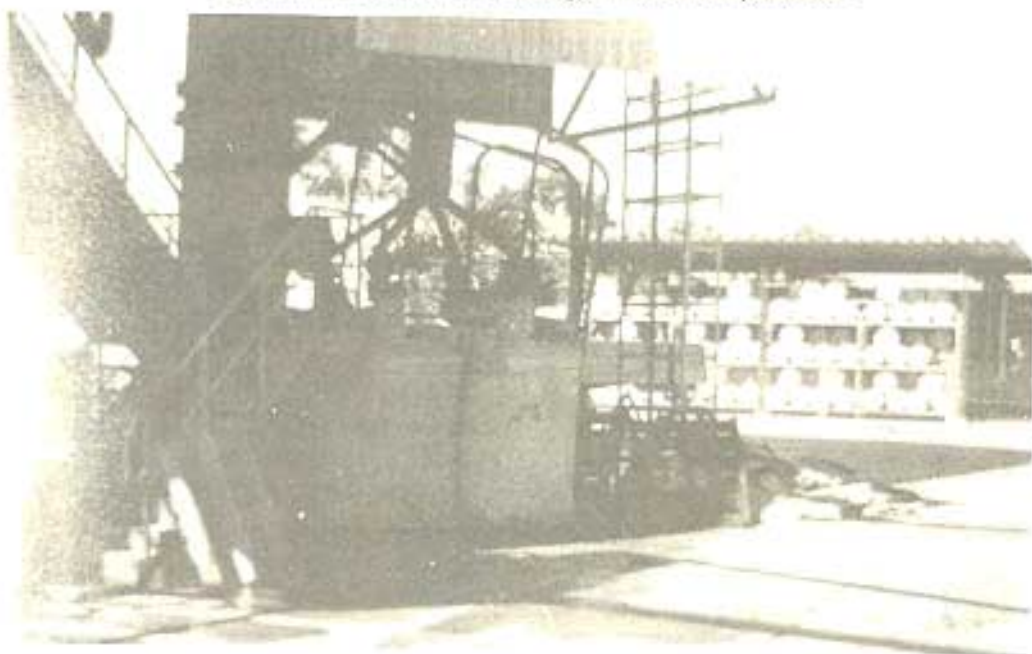


Figura 8.9 - Sistema de carga de sacolões plásticos - Termoeletrica Jorge Lacerda

As translações geralmente são executadas pneumaticamente. Utiliza-se também o sistema mecânico através de elevadores de canoça e parafuso de rosca sem fim

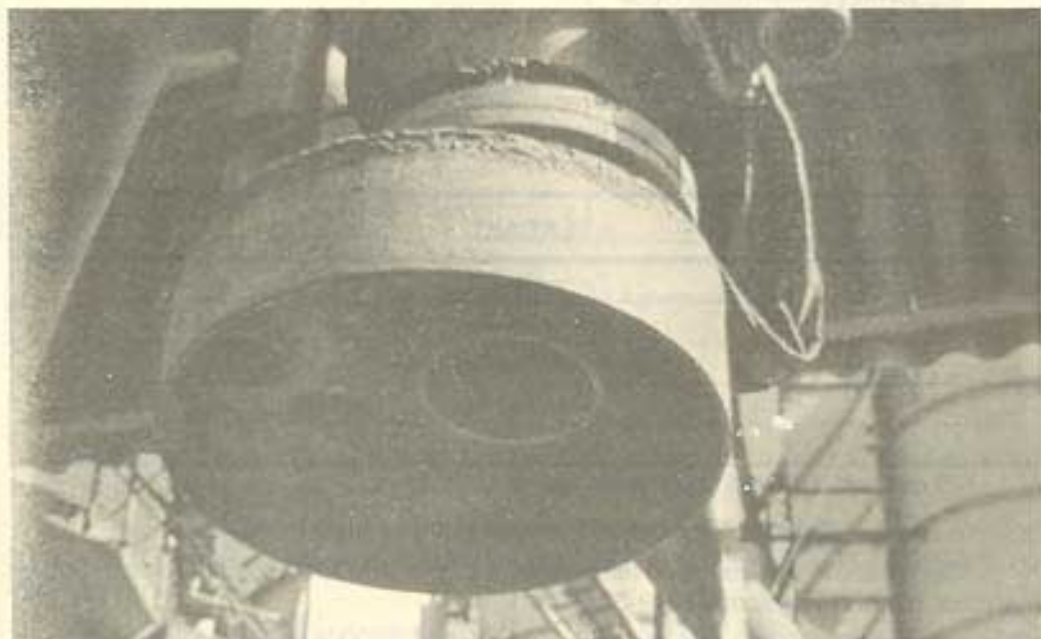


Figura 8.10 - Detalhe de ensacamento plástico com respiro - Jorge Lacerda



Figura 8.11 - Vista de um sistema de silos - Porto Primavera

8.2.2 Recebimento na Obra

8.2.2.1 Controle Expedito

Recomenda-se que as partidas recebidas na obra sejam submetidas aos ensaios de recebimento, indicados na figura 8.12.

ENSAIO
Tempo de Pega
Finura na Peneira 200
Superfície Específica Blaine
Perda ao Fogo
Teor de Álcis (*)

(*) quando é utilizado agregado reativo no concreto

Figura 8.12 - Ensaios para recepção expedita na obra

Recomenda-se a coleta de uma amostra a cada 200 t ou fração para cada tipo ou marca de cimento, conforme NBR-5741/77.

Caso um ou mais resultados não atendem às especificações correspondentes, recomenda-se a retirada de uma nova amostra do lote em estudo, para contraprova.

8.2.2.2 Controle de Recepção

Quando não for efetuado o controle na fonte, recomenda-se a execução de controle de recepção através de realização dos ensaios físicos e químicos para aceitação do material.

Neste caso, para agilizar o processo de recebimento, o material poderá ser recebido com base no "CONTROLE EXPEDITO", sendo estocado para a liberação, a qual será efetuada com base nos resultados de todos os ensaios (Figuras 8.4 e 8.5).

Recomenda-se que se os resultados de todos os ensaios atenderem às especificações, o material correspondente à amostra seja aceito. Se um ou mais resultados não atenderem ao especificado, deverá ser feita uma reamostragem. Se os resultados forem satisfatórios o material será aceito.

Observa-se que a adoção do critério de recepção na obra, sem a execução do controle na fonte pode acarretar sérios problemas de estocagem, enquanto se aguarda os resultados dos ensaios, bem como consequências econômicas da rejeição de algumas partidas. Recomenda-se, portanto, que o concreto seja efetuado na fonte de produção.

Para dimensionamento de estocagem, em grandes obras recomenda-se que se tenha uma autonomia de 10 dias no mínimo; isto, logicamente, dependendo da localização do sistema de abastecimento da obra, poderá ser modificado.

Para efeito de estimativa do volume dos silos são fornecidos na Figura 8.13 valores práticos da massa específica aparente, determinada no silo, sem método padronizado.

MATERIAL	FINURA BLAINE cm ²	MASSA ESPECÍFICA	
		ABSOLUTA g/cm ²	NO SILO g/cm ²
CIMENTO PORTLAND CP-320	3.600	3,12	1,50
CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO	4.533	2,98	1.35

Figura 8.13 - Característica de Aglomerantes

8.2.3 Controle na Aplicação

Este controle é através de amostra nos silos-balança da central de concreto e tem como registrar a qualidade do material no momento da aplicação.

Os ensaios são realizados em amostras correspondentes a lotes de no mínimo 2.000 t de uma mesma marca e tipo de cimento, respeitando-se a frequência mínima de uma amostra mensal.

A amostra deve ser constituída por amostras parciais, devidamente homogeneizadas, a partir de amostragens diárias, sendo executados os ensaios citados nas Figuras 8.4 e 8.5.

8.2.4 Identificação dos Lotes

Cada lote (amostra) deverá ser identificado com as seguintes informações:

- Nome do fornecedor
- Data da amostragem
- Local de amostragem
- Peso do lote
- Tipo de cimento
- Marca do cimento

8.2.5 Inspeção e Reensaios

Recomenda-se que, rotineiramente, seja feita uma inspeção mensal do material estocado e, se a estocagem do cimento a granel for maior que 6 meses, ou em sacos maior que 3 meses, o cimento deve ser reensaiado.

8.3 Controle de Material Pozolânico

8.3.1 Ensaios de Controle na Fonte de Produção

Da mesma forma que o cimento, estes ensaios têm como objetivo a liberação do material na fábrica e serão executados em amostras coletadas durante a produção.

Este procedimento objetiva evitar ou minimizar a rejeição do material na obra.

No caso de material pozolânico obtido a partir da moagem e calcinação de argila, e após o conhecimento da matéria-prima, recomenda-se que durante a produção sejam controladas a temperatura de calcinação, determinadas em amostras coletadas a cada hora na saída do separador de finos.

São executados os seguintes ensaios:

- Finura na peneira 325 (*)
- Superfície Específica Blaine

(*) executar de três em três horas.

A partir das amostras horárias devem ser formadas amostras correspondentes a lotes de no máximo 100 t, sendo no mínimo formado um lote por semana, sendo executados os ensaios citados na Figura 8.14.

No caso do material pozolânico obtido através dos resíduos de usinas termoeletricas (cinzas volantes) e se for especificado sua moagem para a aplicação, recomenda-se o mesmo controle indicado para o material pozolânico obtido de argila, com exceção do controle da temperatura de calcinação.

Os resultados devem atender às exigências das Especificações Técnicas para a obra. No caso de grandes fornecimentos, e onde são especificados materiais pozolânicos com características especiais, recomenda-se que seja feita uma estocagem em silos separados.

ENSAIO
Umidade
Perda de Fogo
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$
Óxido de Magnésio (MgO)
Anidrido Sulfúrico (SO_3)
Equivalente Alcalino em Na_2O
Resíduo na Peneira nº 325
Superfície Específica Blaine
Atividade Pozolânica com Cimento Portland - 28 dias
Atividade Pozolânica com Cal aos 7 dias
Água exigida em relação à Mistura de Controle
Expansão (ou retração) em Auto Clave
Massa Específica
Aumento da Retração por Secagem aos 28 dias
Reatividade com Álcalis do Cimento
- Expansão da Argamassa aos 14 dias
- Redução da Expansão da Argamassa aos 14 dias
Variação do Peso Específico em Relação à Média das Amostras Ensaaiadas

Figura 8.14 - Ensaios físicos e químicos para materiais pozolânicos

8.3.2 Recebimento na Obra

8.3.2.1 Controle Expedito

Recomenda-se que as partidas recebidas na obra sejam submetidas aos ensaios de recebimento indicados a seguir:

- Finura na peneira 325
- Superfície Específica Blaine
- Teor de umidade
- Perda ao fogo

Recomenda-se a coleta de uma amostra a cada 100t ou fração para cada tipo ou marca de material pozolânico.

Caso um ou mais resultados dos ensaios não atendam aos requisitos especificados, o lote em questão é reamostrado e reensaiado. O lote é aceito caso todos os resultados se apresentem de acordo com as especificações.

8.3.2.2 Controle de Recepção

Quando não for executado o controle na fonte de produção, recomenda-se a realização do controle de recepção através dos ensaios físicos e químicos para aceitação do material.

Neste caso, para agilizar o processo de recebimento, o material pode ser recebido com base no "CONTROLE EXPEDITO", sendo estocado para a liberação, o qual é efetuado com base nos resultados de todos os ensaios, citados na Figura 8.14.

Estes ensaios são executados nas amostras coletadas de acordo com o "CONTROLE EXPEDITO".

Caso um ou mais resultados dos ensaios não atendam aos requisitos especificados, o lote em questão deve ser amostrado e reensaiado. O lote será aceito caso todos os resultados se apresentem de acordo com o especificado.

Observa-se que a adoção do critério de recepção na obra, sem a execução do controle na fonte de produção, pode acarretar sérios problemas de estocagem, enquanto se aguarda os resultados dos ensaios, bem como as consequências econômicas da rejeição de alguma partida. Recomenda-se, portanto, que o controle seja efetuado na fonte de produção.

8.3.3 Controle na Aplicação

Esse controle é executado através de amostras coletadas nos silos-balança da central de concreto, e tem como objetivo registrar a qualidade do material no momento da aplicação.

Os ensaios são realizados em amostras correspondentes a lotes de no máximo 1.000 t de uma mesma marca e tipo de material pozolânico, respeitando-se a frequência mínima de uma amostra mensal.

A amostra constituída por amostras parciais, devidamente homogeneizadas, a partir das amostragens diárias, que são submetidas aos ensaios citados na Figura 8.14.

8.3.4 Identificação dos Lotes

Cada lote (amostra) deve ser identificado com as seguintes informações:

- Nome do fornecedor
- Data da amostragem
- Local da amostragem
- Peso do Lote
- Tipo de material pozolânico
- Marca do material pozolânico

8.3.5 Inspeção e Reensaio

Recomenda-se que rotineiramente seja feita uma inspeção visual do material estocado, e se a estocagem perdurar mais do que 6 meses o material deve ser reensaiado.

8.4 Controle da Exploração, Beneficiamento e Aplicação dos Agregados

Devido à não uniformidade das fontes de agregado e às dificuldades de manutenção de um produto acabado uniforme, há a necessidade de uma constante vigilância do responsável pelo controle do agregado, bem como dos responsáveis pela operação do sistema de beneficiamento.

Para se obter um produto uniforme e de acordo com os limites das especificações, recomenda-se que seja feito um peneiramento logo antes de o material chegar nos silos das centrais de concreto.

Este procedimento evita a perda de uniformidade devido a erros no processamento e quebra dos agregados graúdos, bem como elimina as frações de materiais menores que 4,8 mm, os quais são responsáveis por problemas de não uniformidade no concreto fresco. Caso esse procedimento não seja adotado, deve-se exercer um controle durante o beneficiamento dos materiais. Os materiais deletérios devem ser removidos por lavagem ou outro processo especial, graduações não satisfatórias devem ser corrigidas pela eliminação de algumas partes ou pela adição das frações deficientes, devem ser minimizadas a segregação e quebra do material, a umidade deve ser mantida constante e dentro dos limites adequados (principalmente areia). O grau de controle requerido depende da importância da obra, e a necessidade de maior ou menor ajuste dos equipamentos de produção depende da uniformidade do material bruto.

8.4.1 Controle de Exploração

8.4.1.1 Agregados Britados

Os agregados britados normalmente são provenientes de pedreiras ou escavações para implantação das estruturas da obra. Durante a escavação devem ser observados os locais previamente selecionados, a fim de evitar a contaminação do material de boa qualidade.

A granulometria da areia natural bruta, tal qual ela é explorada nas jazidas, nem sempre está de acordo com as especificações recomendadas para o uso em concreto. Em vista disto há a necessidade de um beneficiamento para que seja feita a correção granulométrica, a remoção de impurezas e a garantia de uniformidade. Essa correção pode ser feita pela mistura de areias com granulometrias adequadas, (como por exemplo mistura de areia fina natural com o pedrisco, obtido através da britagem de rochas), pela remoção das quantidades em excesso de determinada dimensão dos grãos, pela separação da areia em duas porções (grossa e fina) e posterior recombinação em proporções adequadas ou pela combinação dos métodos acima citados.

Recomenda-se, desde que seja economicamente viável, que apenas a areia natural seja utilizada.

As areias obtidas pela britagem de rocha, principalmente nas frações menores, apresentam formas angulares, e seu uso no concreto pode resultar numa mistura áspera, pouco trabalhável e, portanto deve ser aceita somente quando não é possível obter areia natural a um custo razoável. É importante que o equipamento de britagem seja projetado

a fim de se obter a melhor forma da partícula. Os britadores de rolos não apresentam resultados satisfatórios, pois apresentam uma grande quantidade de partículas finas e alongadas [5.20]. Os britadores de cone apresentam material com uma forma relativamente cúbica para todos os tipos de rocha. Os britadores de impacto apresentam resultados mais satisfatórios para rochas de pouca resistência [5.20]. Para remoção de partículas com diâmetros maiores é necessário o peneiramento nas peneiras de malhas de dimensões 4,8 mm e 2,4 mm. A remoção dos grãos menores que 0,15 mm e 0,075 mm deve ser executada por lavagem. Os grãos retidos nas peneiras de malhas de dimensões 0,3 e 0,15 mm normalmente resultam em quantidades insuficientes. Esta insuficiência deve ser corrigida por moagem (moinhos de barras) ou pela adição de areia fina natural, dando-se preferência pela segunda alternativa devido à forma de partícula ser mais arredondada.

Os vários tipos de areias, necessários para completar a granulometria do material devem ser preferencialmente utilizados separadamente. Pode-se, entretanto, fazer a correção através de um alimentador controlado, antes de ser introduzida no silo da central de concreto.

Como exemplo de utilização de areia britada citam-se as obras de Itaipu, São Simão, Nova Avanhandava e outras onde a fração grossa da areia foi obtida pela britagem de rochas basálticas e areia fina foi a areia natural, sendo que ambas foram submetidas à lavagem, antes da aplicação, para eliminar as frações finas e eventuais impurezas.

Vários estudos [8.1] têm demonstrado as vantagens do emprego de "pó de pedra" -não coesivo- obtido por máquinas, projetadas para essa finalidade, permitindo atingir grandes quantidades de finos.

Um outro exemplo de aplicação de areia artificial foi na Barragem de Salto Santiago, onde a fração fina foi corrigida por moagem, devido à forma alongada das partículas e a deficiência de alguns tamanhos de partículas.

Na Barragem de Ilha Solteira e Água Vermelha a areia natural foi corrigida pela remoção de certa quantidade nas frações em excesso na areia bruta natural.

Outra forma de correção da granulometria da areia natural foi a utilizada na Barragem de Rosana, onde o material bruto foi classificado em duas frações, sendo uma mais grossa e outra mais fina que a areia indicada para o concreto. A obtenção da areia especificada foi feita pela mistura destas duas frações em proporções adequadas.

8.4.1.2 Agregados Naturais

Os agregados naturais geralmente são provenientes de jazidas existentes nos leitos dos rios ou de terraços nas imediações das obras. Durante a exploração recomenda-se o controle de locação da draga para se obter um melhor rendimento. Na descarga do material na obra (ver Figura 8.15) deve-se coletar amostras de cada 400 m³, para determinação da porcentagem de ocorrência de cada uma das frações especificadas e da granulometria de cada uma das frações.



Figura 8.15 - Porto de descarga de agregados naturais - Obra de Água Vermelha

8.4.2 Controle do Beneficiamento dos Agregados

8.4.2.1 Inspeções

O número e abertura dos britadores depende do balanceamento das necessidades de materiais para a obra e da dimensão máxima característica especificada para o concreto.



Figura 8.16 - Sistema de beneficiamento de agregados - Obra de Ilha Solteira

Durante o período de produção e beneficiamento dos agregados devem ser feitas inspeções nas instalações de britagem, peneiramento e estoques dos materiais. Estas inspeções devem ser feitas rotineiramente, sendo no máximo uma vez ao dia, e verificadas a ocorrência de anomalias, tais como:

- Excesso de formas lamelares e alongadas nos grãos dos agregados.
- Excesso de material pulverulento.
- Desuniformidade da granulometria.
- Existência de material de qualidade inadequada (rocha vesicular, com coloração diferente daquela normalmente observada etc.).
- Ocorrência de materiais estranhos nos estoques.
- Ocorrência de segregação nos estoques.
- Anomalias nos equipamentos.

A observação de uma destas anomalias servirá para que se possa intervir no beneficiamento, e saná-las imediatamente. Estas ocorrências devem ser registradas anotando-se o seguinte:

- Data e hora de inspeção.
- Local de inspeção.
- Indicações das anomalias observadas.
- Providências tomadas.
- Indicação do tempo de paralização do equipamento no caso de necessidade de reparo.

Apesar de o agregado britado apresentar uma forma mais alongada, ela não é tão crítica como a influência da areia. Algumas obras utilizaram tanto o agregado britado como o natural para balancear as necessidades.

Para minimizar a produção de partículas chatas e alongadas são utilizados britadores de rolo e/ou máquinas especiais para obtenção de agregados de dimensões menores, para as frações mais grossas são utilizados britadores de cone ou mandíbulas [5.20].

Para utilização no concreto, os agregados devem ser produzidos em várias faixas granulométricas, estar isento de materiais deletérios e limpos. Desta forma há necessidade de um beneficiamento através de peneiramento (e britagem) e lavagem.

A trabalhabilidade do concreto é reduzida com a presença de partículas alongadas ou lasqueamento de rochas representando a fração inferior à dimensão recomendada. O ajuste da mistura torna-se difícil com a presença destes materiais, pois eles permanecem agrupados, não havendo uma distribuição homogênea, e conseqüentemente entram nas misturas em altas concentrações. Apesar de se tomar as precauções indicadas nas Figuras 8.17, 8.18 e 8.19, pode não se conseguir reduzir a presença de tamanhos menores que o especificado, num teor inferior a 2%, conforme recomendações para manter a uniformidade do concreto [5.20]. Para eliminar este problema pode ser recomendável o peneiramento do material na entrada dos silos na central de concreto.

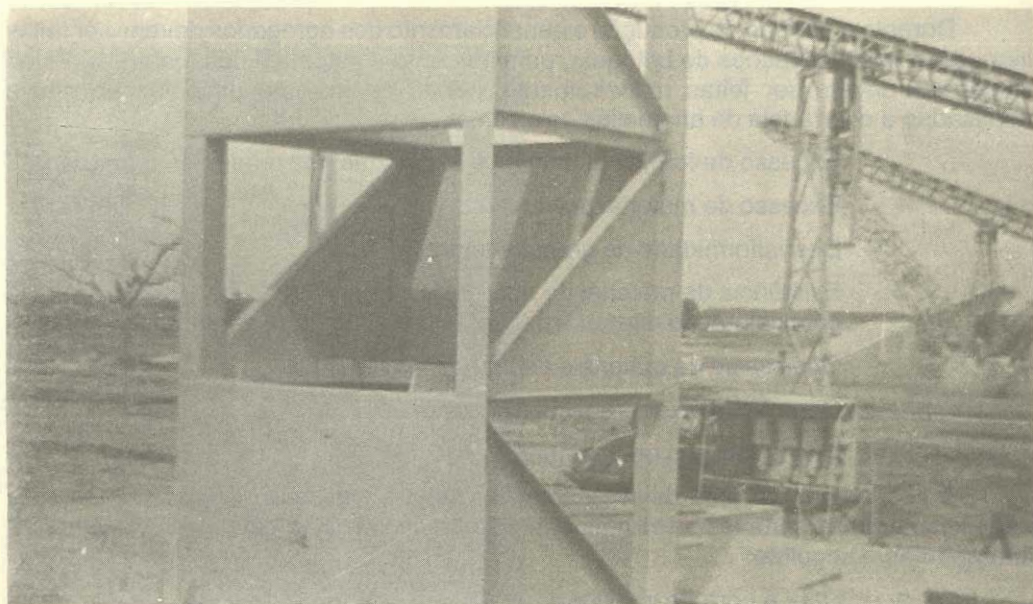


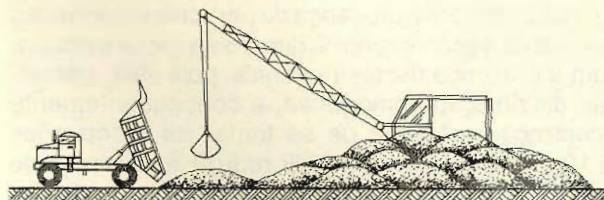
Figura 8.17 - Detalhe do dispositivo para minimizar a quebra do material, nas pilhas do estoque - Porto Primavera

Tem-se, entretanto, exemplos de várias obras onde foram montados sistemas de beneficiamento, tomando-se as precauções necessárias contra a segregação e quebra, sem ter sido necessário o emprego de um peneiramento final na central de concreto.

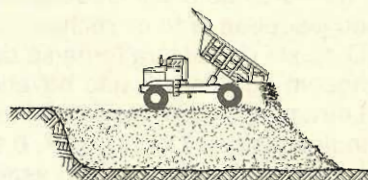
Além dos cuidados contra segregação e quebra, deve-se prever um sistema de peneiras que seja eficiente, a fim de se obter uma classificação do agregado de acordo com as especificações exigidas para o concreto. As peneiras que apresentam maior eficiência são as peneiras vibratórias conforme ilustram as Figuras 8.21 e 8.22, sendo que as peneiras podem ser de malha quadrada ou circulares.

UTILIZAÇÃO DE GUINDASTE PARA COLOCAR O MATERIAL NO ESTOQUE. PERMANECE NO LOCAL SEM ROLAR PELO TALUDE

MÉTODO QUE PERMITE O MATERIAL ROLAR NO TALUDE QUANDO É COLOCADO NO ESTOQUE, OU PERMITE O EQUIPAMENTO DE CARGA OPERAR SOBRE O MATERIAL.



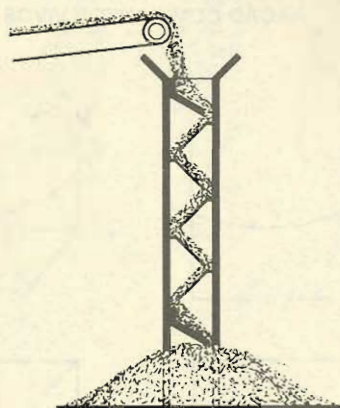
PREFERÍVEL



QUESTIONÁVEL

Figura 8.18 - Métodos corretos e incorretos para estocagem de agregados [5.20]

ESTOCAGEM DE MATERIAL NÃO BENEFICIADO OU AREIA (MATERIAL SECO)

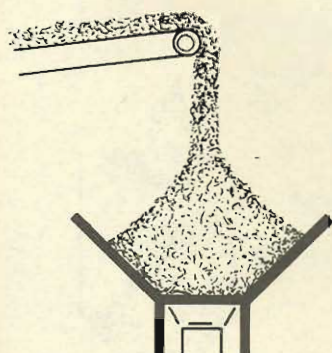


A QUEBRA DE AGREGADOS GRAÚDOS É MINIMIZADA POR DISPOSITIVOS EM FORMA DE ESCADAS

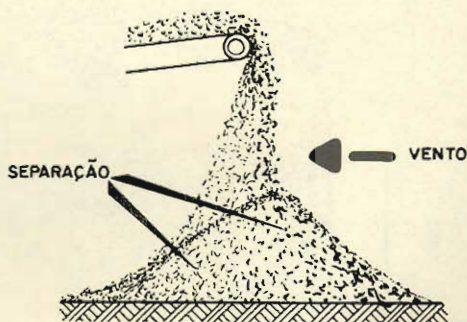
ESTOCAGEM DE AGREGADO GRAÚDO BENEFICIADO

CHAMINÉ ENVOLVENDO MATERIAL CAINDO DE UMA CORREIA TRANSPORTADORA PARA EVITAR A SEPARAÇÃO DOS MATERIAIS FNO E GROSSO

MATERIAL CAINDO LIVREMENTE CAUSANDO A SEPARAÇÃO PELO VENTO



CORRETO

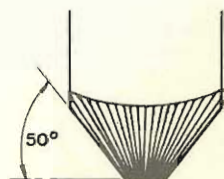


INCORRETO

Figura 8.19 - Métodos corretos e incorretos para estocagem de agregados [5.20]

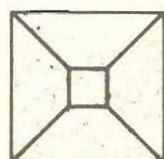
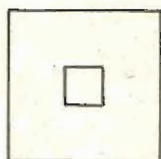
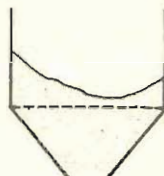
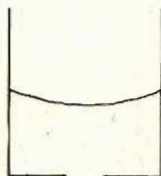
INCLINAÇÃO DO FUNDO DE SILO PARA AGREGADO

FUNDO INCLINADO DO SILO DE 50° E CANTOS ARREDONDADOS.



CORRETO

FUNDO DO SILO PLANO OU COM INCLINAÇÃO COM CANTOS VIVOS.



INCORRETO

ENCHIMENTO DO SILO AGREGADO

DESCARGA VERTICAL DO MATERIAL SOBRE A ABERTURA DE DESCARGA.



CORRETO

CALHA DE ALIMENTAÇÃO DO SILO INCLINADO.



INCORRETO

Figura 8.20 - Métodos corretos e incorretos para manuseio de agregados [5.20]

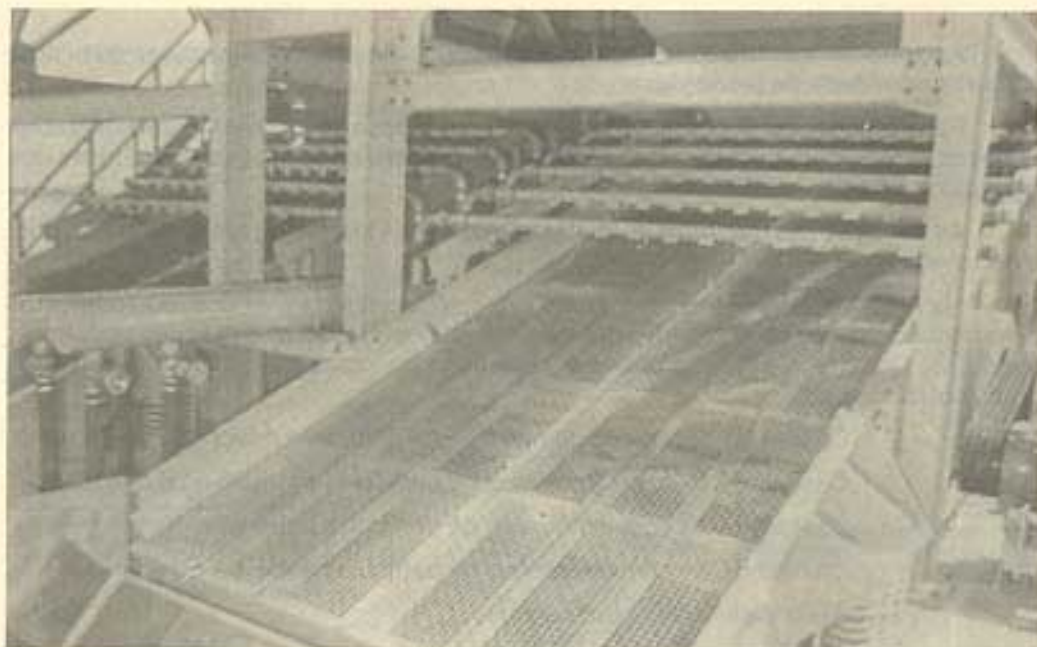


Figura 8.21 - Peneira vibratória para agregado graúdo, com malha quadrada - Rosana



Figura 8.22 - Peneira vibratória para agregado graúdo, com malha redonda - Rosana

As peneiras existem comercialmente em várias dimensões e **aberturas de acordo com a necessidade** de produção.

Para **atender às necessidades** do concreto massa normalmente **são utilizadas** peneiras com abertura de 4,8 mm e aquelas que dividem as faixas granulométricas dos agregados graúdos.

As peneiras são utilizadas normalmente com uma inclinação entre 19° e 20° , com a horizontal.

Na Figura 8.23 está indicado, como exemplo, um **fluxograma dos equipamentos** para beneficiamento **de agregados naturais, cascalhos**. Outras distribuições podem ser utilizadas. O sistema indicado previa a **separação do cascalho nas seguintes faixas granulométricas**:

- Cascalho - rejeito com dimensões de partículas maior do que 76 mm.
- Cascalho C3 - com dimensões de partículas entre 38 e 76 mm.
- Cascalho C2 - com dimensões de partículas entre 19 e 38 mm.
- Cascalho C1 - com dimensões de partículas entre 4,8 e 19mm.
- Areia beneficiada para concreto.
- **Areia fina.**

O funcionamento do sistema **é o seguinte: o cascalho bruto é lançado** em um primeiro conjunto de peneiras sendo separado nas **seguintes frações**:

- Cascalho C3, que vai para o estoque.
- Cascalhos C2 + C1, que **vão para um** segundo conjunto de peneiras.
- Areia bruta que vai para o tanque de sedimentação.

No tanque de sedimentação a areia sofre uma primeira lavagem **e eliminação das impurezas**, e onde **é classificada** para atender **às características granulométricas indicadas para o concreto**, sobrando uma parte **fina de areia bruta**. Em **seguida, a areia beneficiada e a areia fina** passam através de **parafusos classificadores, onde sofrem uma segunda lavagem**, são **homogeneizadas e desumidificadas**, sendo em **seguida transportadas para os estoques**.

O cascalho C2 + C1, proveniente do primeiro peneirador, sofre um segundo peneiramento, onde é separado nas seguintes frações:

- Cascalho C2 - que vai para o estoque.
- Cascalho C1 - que vai para o **estoque**.

Uma alternativa deste sistema **é a utilização do sistema a de dois peneiradores em série, retirando-se a peneira de 4,8 mm do primeiro peneirador, colocando-a no segundo**. O inconveniente deste sistema **é que a areia passa por todas as peneiras**.

Recomenda-se que sejam utilizados sempre dois sistemas, em paralelo com capacidade igual à metade das necessidades, o que aumenta a flexibilidade de utilização do mesmo.

Na Figura 8.24 é ilustrado um sistema duplo de beneficiamento de agregados naturais.

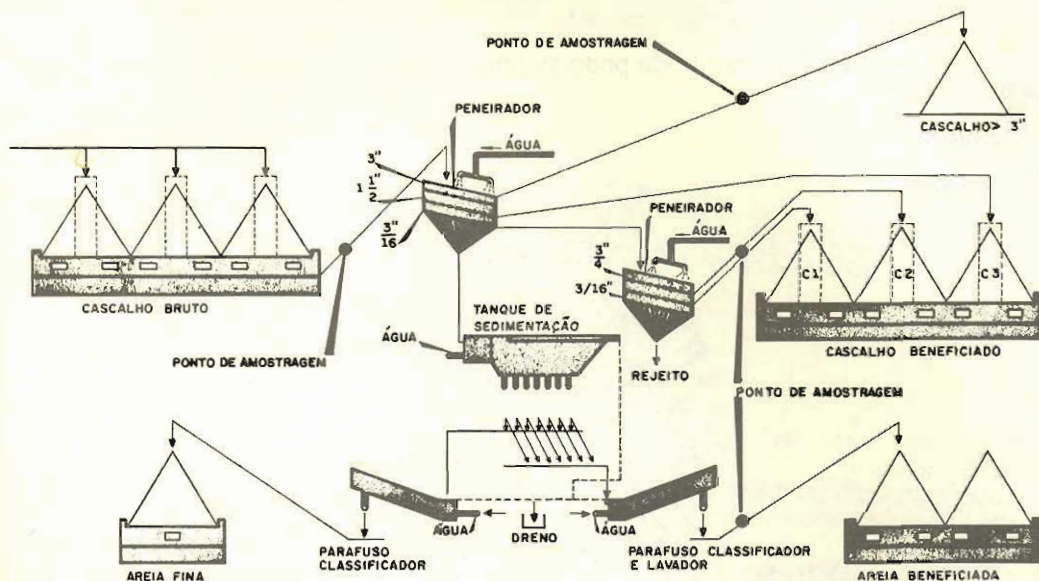


Figura 8.23 - Sistema de peneiramento de agregados naturais

Na Figura 8.25 está indicado um fluxograma de um sistema completo de britagem e classificação. Os sistema prevê a britagem de rochas em vários estágios, a lavagem e separação do material britado nas seguintes faixas granulométricas:

- Brita 4 - com dimensões de partículas entre 76 e 152 mm.
- Brita 3 - com dimensões de partículas entre 38 e 76 mm.
- Brita 2 - com dimensões de partículas entre 19 e 38 mm.
- Brita 1 - com dimensões de partículas entre 4,8 e 19 mm.
- Areia artificial, que deve ser corrigida com mistura de areia natural ou outro processo;
- Pó de brita.

Esse sistema possui as seguintes características principais:

- Existência de um estoque-pulmão que permite o funcionamento do sistema de britador primário, independentemente do restante do sistema, e vice-versa, aumentando a flexibilidade do sistema.

- O uso de silos intermediários e do sistema de britagem permite reduzir a granulometria, bem como balancear a produção dos diversos agregados. Este sistema, entretanto, pode ser dispensável, em algumas obras.
- O sistema de repeneiramento e lavagem é previsto para garantir que as faixas granulométricas especificadas sejam mantidas quando o material atingir a betoneira.

Para obras de menor porte pode-se projetar sistemas mais simples, sem perda da qualidade.

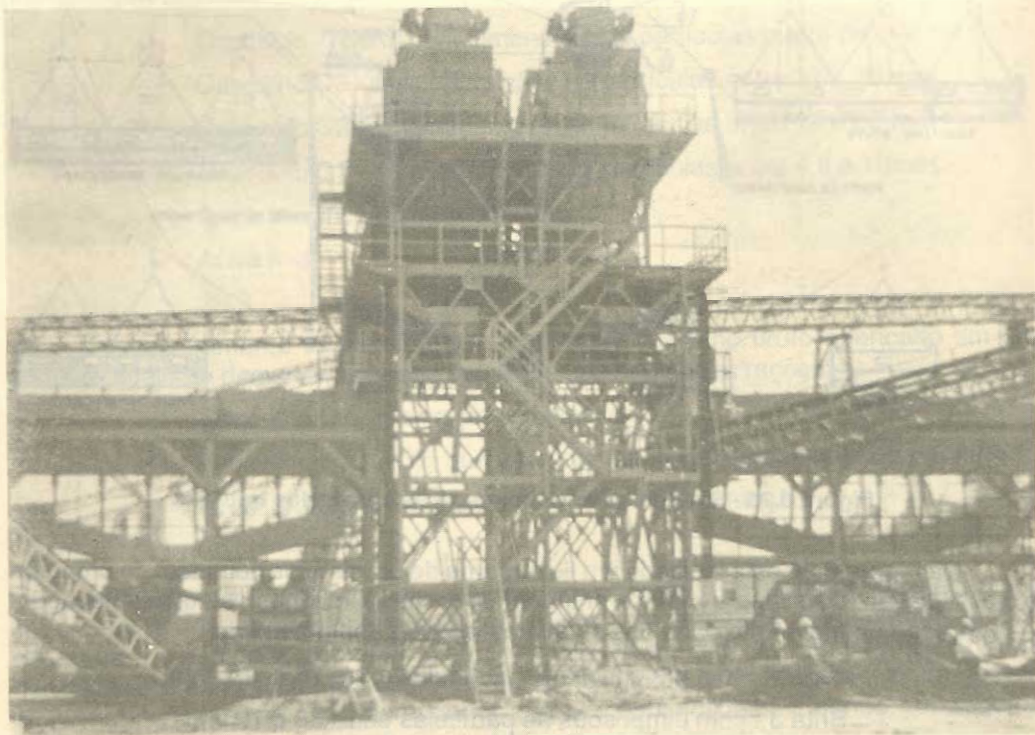


Figura 8.24 - Sistema Duplo de Beneficiamento de agregado natural - Rosana

A escolha do tipo de equipamento e do sistema de classificação deve ser bem criteriosa, a fim de se evitar escavações adicionais e lavagem de materiais que não serão utilizados. Os equipamentos de uso mais intenso são os parafusos classificadores e os tanques da sedimentação. Os parafusos classificadores (Figura 8.26) são mais eficientes para lavagem e/ou desaguar o material. Como classificador, este equipamento tem mais utilidade na eliminação da parte fina da areia. Quando existe material grosso a ser eliminado, a utilização deste equipamento tornar-se difícil. Neste caso, a areia pode ser eliminada por peneiramento.

Outro equipamento, que tem condições de ser aplicado em qualquer situação, tanto para eliminar a parte fina ou grossa da areia, é o tanque de sedimentação (Figuras 8.26 e 8.27). Este equipamento permite que se faça uma separação da areia nos vários tamanhos e posteriormente sejam combinados, na proporção desejada, obtendo-se assim um material com a granulometria conforme requerida para o concreto. Além desta característica, este equipamento permite, também, a lavagem da areia e a eliminação do pulverulento (material que passa na malha de dimensão 0,075 mm) e das impurezas (matéria orgânica etc.).

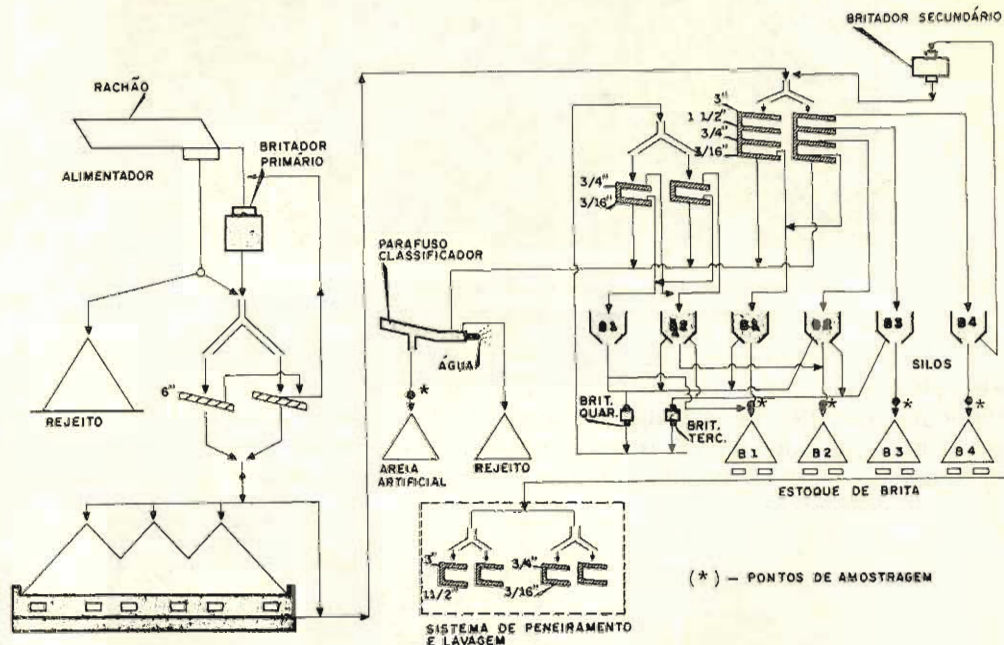


Figura 8.25 - Sistema de britagem e classificação - Itaipu

Um sistema bastante eficiente para lavagem e classificação da areia é a utilização do tanque de sedimentação em série com um parafuso classificador, conforme ilustram as Figuras (8.26) e (8.27). Nesse sistema o material bruto é introduzido no tanque de sedimentação, onde é feita uma primeira lavagem, com eliminação do pulverulento, matéria orgânica etc., bem como a classificação do material. Em seguida, o material nestas condições é introduzido no parafuso classificador, onde é feita uma lavagem complementar, eliminando matéria orgânica, torrões em argila etc., que conseguirem passar pela lavagem anterior, bem como é feita uma homogeneização do material e o desaguamento. O desaguamento é importante, pois permite que a areia seja transportada através de correias transportadoras e evita que a água de lavagem seja transferida para o estoque da areia, evitando assim problemas de drenagem do estoque e de excesso de umidade da areia.

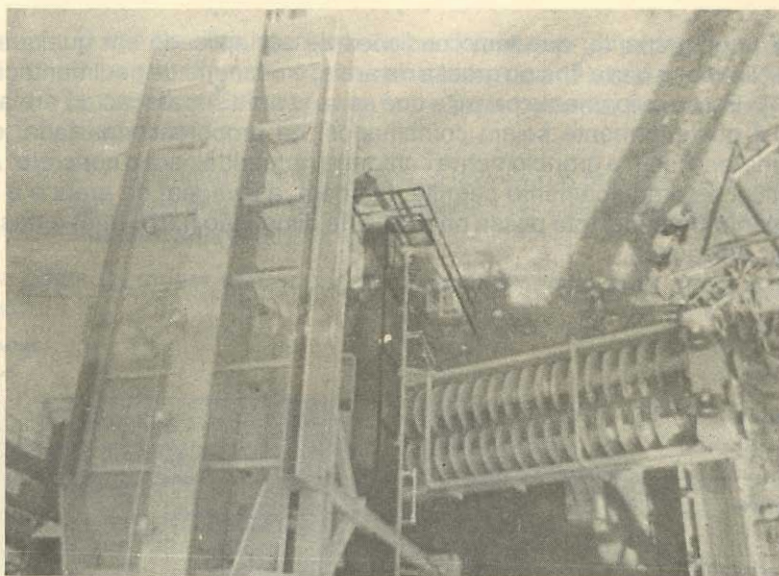


Figura 8.26 - Tanque lavador e classificador, à esquerda, e o parafuso classificador, à direita

Outro equipamento também utilizado para lavagem e eliminação de finos da areia é aquele formado por um cone (Figura 8.29) onde o material bruto é introduzido na parte superior e na parte inferior é injetada água com uma determinada pressão, de tal forma que o material pulverulento, a matéria orgânica etc., sejam impelidos para o topo e eliminado por extravazamento. O material mais grosso passa pelo cone por gravidade.

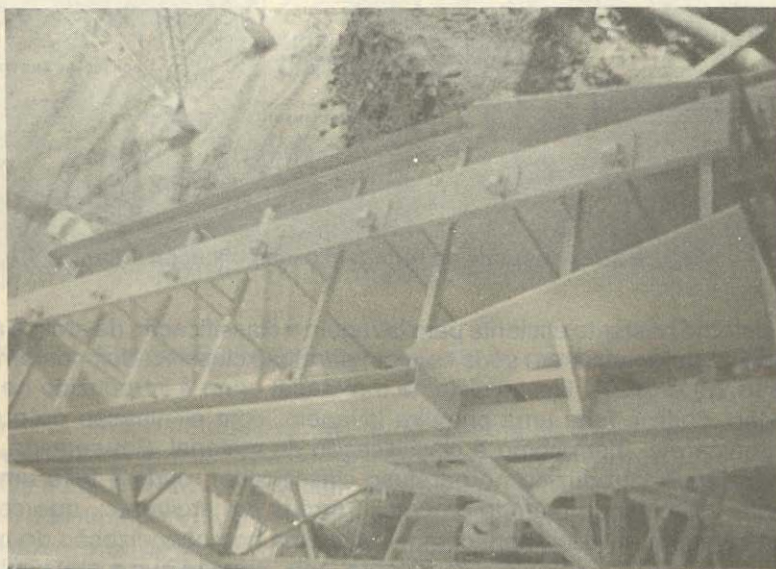


Figura 8.27 - Tanque de sedimentação e lavagem para classificação de areia - Rosana

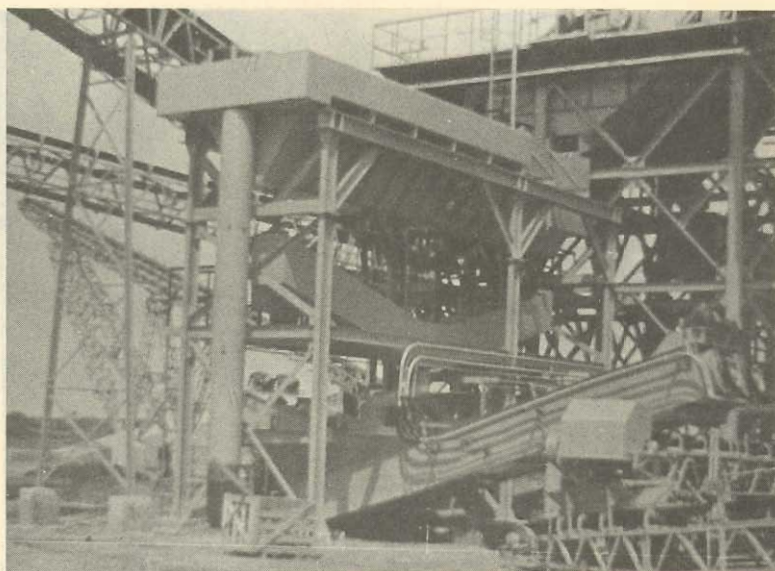


Figura 8.28 - Vista do sistema de um tanque de sedimentação em série com o parafuso desaguardor - Rosana

Um outro sistema de classificação e lavagem de areia que apresenta eficiência é a utilização de um cone de lavagem em série com um sistema de peneiramento (Figura 8.30) e o parafuso classificador. Nesse sistema a areia é separada em duas frações, que são posteriormente misturadas, em proporções adequadas para se obter a granulometria desejada, ao concreto.

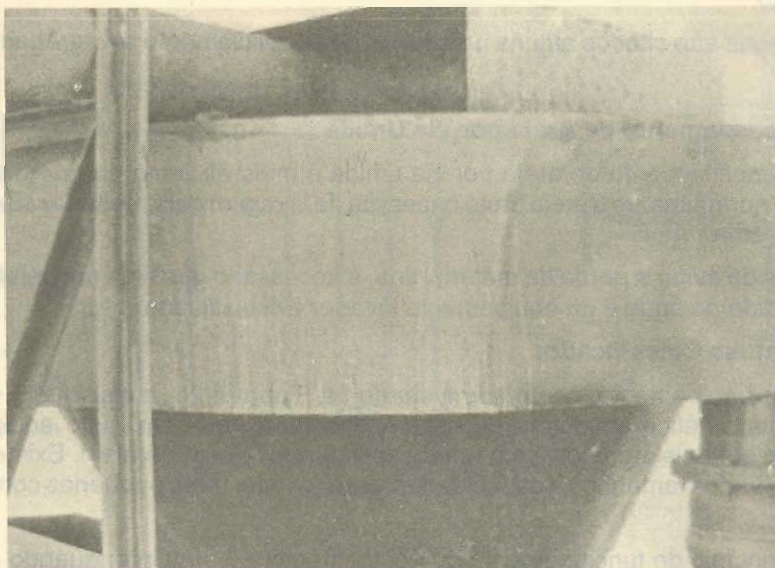


Figura 8.29 - Cone para lavagem de areia - Rosana

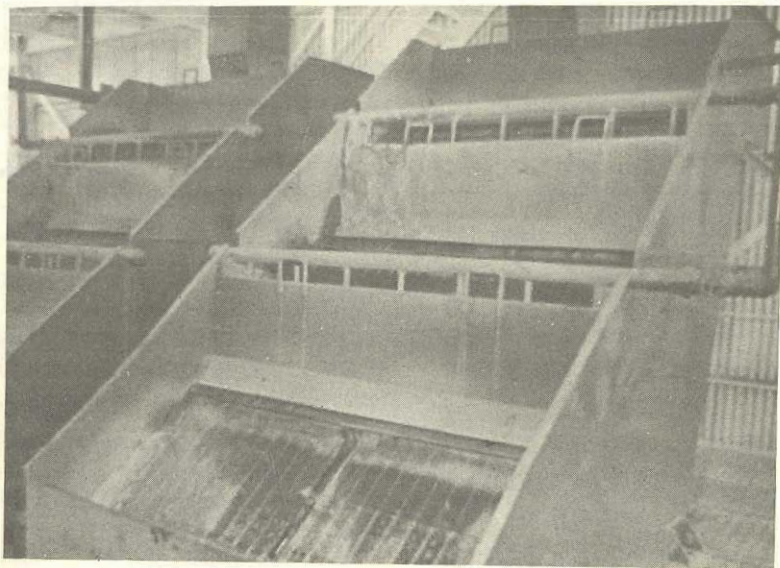


Figura 8.30 - Sistema de peneiras para classificação de areia. Abertura igual a 1,4 mm - Rosana

Quando a areia é separada em diversas frações é importante que ela seja eficientemente misturada antes da aplicação. Normalmente após a mistura a areia sofre manuseio e estocagem. O estoque de areia processada deve ter uma inclinação maior que o ângulo de repouso (uma inclinação de 1,5 H : 1 V é satisfatória), a fim de evitar a segregação.

A seguir são citados alguns processos de beneficiamento de agregado miúdo:

Processamento de Areia por Via Úmida

O beneficiamento de areia por via úmida é mais eficiente do que o processo a seco, pois, normalmente a areia bruta necessita de lavagem para melhorar sua qualidade e granulometria.

A fim de evitar a perda de material fino, é necessário que haja um balanceamento na quantidade de água e do equipamento lavador e classificador.

Parafuso Classificador

Esse equipamento, conforme ilustrado na Figura 8.26, consiste em um tanque contendo uma hélice em forma de espiral, tipo rosca sem fim. Este equipamento é encontrado em dois modelos, com um ou dois parafusos em paralelo. Existem equipamentos em vários tamanhos e capacidades, para atender tanto pequenas como grandes obras.

O princípio de funcionamento do equipamento é o seguinte: quando a areia e a água são introduzidas em parte inferior do tanque, a porção grossa do material sedimenta e é levada, pela rosca, para a parte superior do tanque, com uma pequena quantidade

de água. Na parte inferior há um tanque de decantação ajustável controlando o extravasamento da mistura (água mais material) através de suas paredes, sendo que no extravasamento são carregados os materiais leves, os finos e grande quantidade de água. O parafuso gira a uma velocidade apenas suficiente para revolver a areia depositada e move a areia ao longo do fundo e um dos lados do tanque, deixando o outro lado acima do nível da água, a fim de permitir a drenagem da umidade e da lama. Os fatores que influenciam na operação são:

- a alimentação da areia;
- a profundidade do tanque, formado na parte inferior;
- a inclinação do tanque;
- a velocidade de rotação da rosca sem fim;
- o número, dimensões e distribuição dos jatos d'água e sua pressão;
- a largura e altura do extravasamento.

A injeção de água acima do final da parte represada, na região inclinada, auxilia na lavagem e remoção dos finos.

Tanque de Sedimentação

Este tipo comercial de classificador, ilustrado na Figura 8.27, consiste de um tanque de sedimentação equipado com válvulas pneumáticas, automáticas, e uma canaleta que recebe o material classificado e rejeitado, conforme indicado na Figura 8.31.

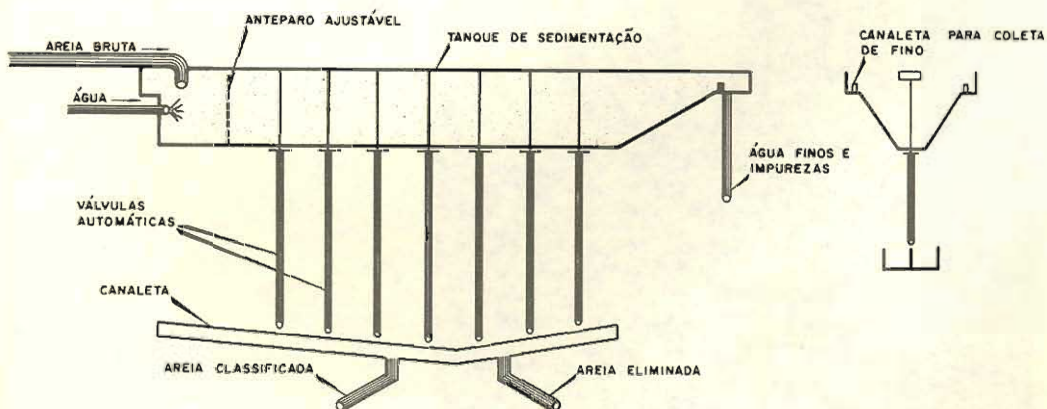


Figura 8.31 - Esquema do tanque de sedimentação

O princípio de funcionamento desse equipamento é o seguinte: a areia bruta é introduzida em uma das extremidades do tanque, ao mesmo tempo que é injetada água sob pressão, impelindo a areia na direção do tanque com uma determinada velocidade. Nestas condições, as partículas menores são projetadas para a extremidade oposta, onde irão sedimentar, e as partículas, gradativamente maiores, irão sedimentar ao longo do tanque, sendo que as partículas maiores serão depositadas próximas da extremidade onde a areia bruta é introduzida. A areia fina, os materiais leves, impurezas, pulverulento etc. são eliminados por extravazamento em uma canaleta para coleta destes materiais. À medida que o processamento evolui, o nível de areia vai se elevando dentro do tanque até que, ao atingir uma determinada altura, a válvula se abre automaticamente, permitindo a passagem da areia para a canaleta inferior. Esta canaleta é dividida em duas partes, permitindo assim um ajuste da quantidade do material (de um determinado tamanho), encaminhando para o estoque de areia classificada ou não, como mostram as Figuras 8.31 e 8.32. Desta forma, a combinação adequada das várias válvulas (material de várias dimensões) possibilita a obtenção de uma areia bem próxima da desejada para o concreto.

Alguns tipos de tanques são equipados com um anteparo ajustável, à frente do jato de água, permitindo, assim, uma regulagem da velocidade de projeção da areia. A correta operação desse equipamento é afetada pela variação:

- da pressão e vazão do jato d'água;
- da vazão de introdução do material bruto;
- da altura do anteparo;
- da regulagem das válvulas.



Figura 8.32 - Detalhe da saída do tanque de sedimentação para classificação de areia - Rosana

Esses equipamentos são disponíveis comercialmente em vários tamanhos e números de válvulas, podendo ser duplo ou simples, permitindo, assim uma ajustagem da capacidade de classificação da areia com as necessidades da obra.

Além da necessidade de peneiramento e lavagem, deve ser assegurada a uniformidade do agregado entre a central de beneficiamento e o momento da aplicação no concreto.

Durante o manuseio e estocagem pode ocorrer segregação e quebra do material, o que irá alterar a granulometria do material quando ele atingir a betoneira. Quanto mais o material é manuseado e a rocha seja quebradiça, maior será a perda da uniformidade. Métodos inadequados de manuseio e estocagem agravam o problema de segregação, podendo inutilizar agregados que foram classificados como satisfatórios na central de beneficiamento.

A utilização de dois ou mais alimentadores, colocados sob as pilhas e operados simultânea e adequadamente, servem para minimizar os efeitos da segregação.

Com base no ângulo de repouso do material depositado, e o número de alimentadores sob a pilha, pode-se ter a relação de material que se consegue extrair a cada alimentador. Geralmente, a adoção de um só alimentador, permite extrair ao redor de 10% a 30% da pilha. Dois alimentadores extraem cerca de 25% a 35%. Três alimentadores 25% a 40%. Quatro alimentadores, 30% a 45%.

Para evitar a contaminação, onde não houver túnel extrator, deve-se prever uma base limpa e resistente. Costuma-se forrar a área de estocagem com material granular, evitando assim a contaminação das pilhas com pó. Deve-se prever paredes divisórias entre os estoques das várias frações, a fim de evitar a mistura do material já classificado. Se guindastes são utilizados para a estocagem, deve-se evitar a passagem da caçamba com um determinado agregado sobre o estoque dos agregados de dimensões diferentes.



Figura 8.33 - Sistema completo de beneficiamento de agregado natural, notando-se à direita os dispositivos para evitar a queda livre do material - Rosana

As operações de transporte e estocagem resultam em uma certa quantidade de lasqueamento e quebra do material, principalmente nos grãos maiores. A quebra pode ser minimizada com a redução da etapa de manuseio, e a altura da queda reduzida com o emprego de revestimento com material elástico nas áreas de impacto. A utilização de dispositivos (como uma escada) para retardar a queda do material, conforme ilustrado nas Figuras 8.33 e 8.17, podem representar uma efetiva redução na quebra e outra inclinada como ilustrado na Figura 8.33. A distância entre dois degraus deve ser no máximo 75 cm, ou preferencialmente menor.

Cone de Lavagem

Como foi citado anteriormente e ilustrado na Figura 8.29, o cone de lavagem tem como finalidade a separação do material pulverulento, materiais leves e demais impurezas existentes na areia bruta.

O princípio de funcionamento é o seguinte: o material bruto é introduzido na parte superior, na parte inferior é introduzido um jato d'água que impele o material pulverulento e as impurezas para parte superior, sendo eliminadas por extravasamento, e a parte mais grossa precipitada por gravidade.

Peneiras Estacionárias

A peneira ilustrada na Figura 8.30 pode ser usada para separação de uma areia bruta com módulo de finura em torno de 2,20 em duas frações, uma com MF em torno de 1,70 e outra com MF em torno de 3,10, as quais são posteriormente misturadas em proporções adequadas, para obter uma areia com granulometria de acordo com a desejada para o concreto. A vantagem da utilização das peneiras estacionárias é que há um aproveitamento total do material grosso. A abertura da peneira é de 1,4 mm.

Processamento a Seco da Areia

Em determinados locais onde a areia é encontrada naturalmente na condição seca, e não se tem água disponível economicamente, foram desenvolvidos equipamentos especiais para classificação e separação da parte do pulverulento.

A areia seca apresenta uma tendência maior de segregação quando é lançada nos estoques ou silos. Por esta razão, devem ser tomados cuidados especiais. Para contornar estes problemas, tem-se registro da utilização de umidificação da areia na correia transportadora antes de ser lançada no estoque.

8.4.2.2 Amostragem e Ensaios

Para o controle dos sistemas recomenda-se a realização de dois tipos de amostragem. Uma amostragem intensiva deve ser adotada na fase de ajuste das instalações, ou quando forem constatados problemas nas instalações de produção ou beneficiamento que provocarem alterações sensíveis na qualidade do material produzido.

A amostragem intensiva deve ser realizada a cada hora e coletada nas correias entre o peneirador e o estoque do material beneficiado. As amostras devem ser coletadas com a correia parada e são retiradas de uma só região da correia.

Cada amostra deve ser coletada em conformidade com a metodologia citada no Capítulo 17, e nas quantidades mínimas recomendadas na Figura 8.34.

AGREGADO	MASSA DA AMOSTRA (Kg)
Agregado miúdo (menor que 4,8 mm)	2
Agregado 1 (4,8 - 19,0 mm)	10
Agregado 2 (19,0 - 38,0 mm)	20
Agregado 3 (38,0 - 76,0 mm)	40
Agregado 4 (76,0 - 152,0 mm)	60

Figura 8.34 - Pesos das amostras de agregados para ensaios

Cada amostra horária da amostragem intensiva, para cada tipo ou fração de agregado, deve ser submetida ao seguinte ensaio:

- Análise granulométrica e módulo de finura.

Ainda durante o período de amostragem intensiva e a cada 24 amostras horárias deve ser separada uma amostra para execução dos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica e módulo de finura.
- Teor de material pulverulento.
- Teor de argila em torrões.

A amostragem normal deve ser adotada nos períodos de produção normal. Os procedimentos e locais de coleta devem ser os mesmos da amostragem intensiva, sendo que deve-se coletar uma amostra a cada 12 horas de produção (correspondente a cada turno), com a execução dos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica e módulo de finura.
- Teor de material pulverulento (nota).
- Teor de argila em torrões (nota).

Nota: Executado a cada duas amostras após a homogeneização.

No caso de areia natural, o controle intensivo, mesmo no período de funcionamento normal, deve considerar a avaliação do teor de matéria orgânica.

Um outro controle que pode ser feito é durante a aplicação. Esse controle deve ser executado em amostras coletadas no momento da aplicação e tem como objetivo registrar e inspecionar a qualidade do material no ponto final do processo de obtenção da composição do concreto.

As amostras de ensaios devem ser retiradas nos silos de agregados da central de concreto (ou estoque final). A amostragem para estes ensaios deve ser feita de acordo com o seguinte critério:

- Amostragens parciais (horários ou a cada 2 horas) para determinação de umidade.
- Amostragens intermediárias correspondentes a cada 12 horas.
- Formação de amostras semanais a partir das amostras intermediárias.

- Formação de amostras mensais a partir das amostras intermediárias.

A quantidade de amostra a ser coletada para cada tipo ou fração de agregado, correspondente à amostras parciais, deve ser de acordo com a dimensão máxima característica do agregado e a correspondente à amostras intermediárias deve ser a indicada na Figura 8.34, sendo executados os ensaios a seguir.

Cada amostra proveniente da amostragem parcial e para cada tipo de agregado deve ser submetida aos seguintes ensaios:

- Teor de umidade do agregado graúdo.
- Teor de umidade do agregado miúdo.

Toda amostra proveniente da amostragem intermediária e para cada tipo de agregado deve ser submetida aos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica e módulo de finura.
- Teor de material pulverulento.

Cada amostra semanal de ensaio, formada a partir da amostragem intermediária, para cada tipo ou fração de agregado, deve ser submetida aos seguintes ensaios:

- Massa específica.
- Absorção.
- Massa unitária (material solto).
- Massa unitária (compactado a seco).
- Teor da matéria orgânica.
- Torrões de argila.
- Partículas leves e friáveis.

Cada amostra mensal de ensaio, formada a partir da amostra intermediária, para cada tipo ou fração de agregado, deve ser submetida aos seguintes ensaios:

- Abrasão Los Angeles para agregado graúdo.
- Índice de forma do agregado graúdo.

Caso sejam observadas alterações das características mineralógicas do agregado durante determinada fase da produção devem ser feitos ensaios de qualificação, conforme indicado a seguir:

- Análise petrográfica.
- Reatividade potencial, método químico.
- Reatividade potencial, método das barras de argamassa.
- Reatividade potencial, método acelerado.
- Ciclagem natural.
- Ciclagem artificial (Água/Estufa).
- Ciclagem acelerada (etileno glicol).
- Reatividade álcalis-carbonato.

Toda amostra deve ser identificada com as seguintes indicações:

- Tipo de agregado.
- Tipo de amostragem.
- Local de coleta.
- Data e hora da coleta da amostra.
- Os resultados não satisfatórios obtidos nas inspeções e nos ensaios de controle de produção servem como base para modificações nos sistemas de exploração, produção e beneficiamento dos agregados, no sentido de sanar as irregularidades. Caso estas anomalias persistam a ponto de produzir uma quantidade significativa de material fora das especificações, ele deve ser rejeitado ou reclassificado.
- Os resultados do controle na aplicação referente a amostragem parcial servem de subsídios para correções e ajustes nas dosagens do concreto. Resultados não satisfatórios neste controle implicam em inspeções nos silos das centrais, e a remoção dos materiais inadequados, com a rejeição ou reclassificação dos agregados.

8.5 Controle de Água

Este controle tem como objetivo a avaliação da qualidade da água de amassamento e de cura.

Recomenda-se coletar amostras da água de amassamento e da água de cura mensalmente. A água de amassamento deve ser coletada nas saídas dos depósitos das centrais de concreto e recolhida 500 cm³ em recipiente.

A água de cura deve ser coletada na saída das tubulações de alimentação às estruturas.

A partir da amostragem diária deve ser composta a amostra mensal. Cada amostra deve ser identificada com as seguintes informações:

- Tipo de água.
- Local da coleta.
- Data e hora da coleta.

As amostras correspondentes à água de amassamento devem ser submetidas aos seguintes ensaios:

- pH.
- Teor de sólidos totais.
- Teor de cloretos.
- Teor de sulfatos.
- Alcalinidade.
- Ferro.

- Álcalis.
- Avaliação da qualidade da água através da resistência a compressão e pega.
- Açúcares.
- As amostras correspondentes à água de cura devem ser submetidas aos mesmos ensaios acima indicados, com exceção dos dois últimos e incluído o ensaio de mancha.

Os resultados devem atender aos requisitos especificados para a água de amassamento e cura do concreto. O não atendimento às especificações implicam na rejeição ou na obrigatoriedade do tratamento.

8.6 Controle de Aditivos

8.6.1 Generalidades

Os aditivos de maior aplicação em concreto massa são os incorporadores de ar e os retardadores de pega.

Os concretos estruturais utilizam em maior quantidade os plastificantes e retardadores de pega.

Os incorporadores de ar são largamente empregados no Brasil com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade do concreto, facilitando o seu manuseio e moldagem, principalmente no concreto massa. Em alguns países este aditivo é empregado para minimizar os efeitos do fenômeno de congelamento e degelo no concreto, aumentando sua durabilidade. Normalmente as quantidades de aditivos utilizados são tais, que devem produzir uma quantidade de ar conforme indicado na figura 8.33.

A incorporação de ar nas misturas influi em outras propriedades do concreto, destacando: aumento da impermeabilidade, alteração da resistência, redução da água requerida para manter a trabalhabilidade (o que em parte ameniza a alteração de resistência), redução da massa específica.

Os aditivos retardadores de pega são utilizados com maior freqüência em concreto não refrigerado, e em locais onde ocorrem temperaturas ambiente elevadas, provocando redução do tempo de pega do concreto.

Esses aditivos geralmente são fornecidos no estado líquido e embalados em tambores de 200 l (aproximadamente 200 kg). Sua estocagem pode ser ao tempo, recomenda-se, entretanto, que sejam protegidos das intempéries, tais como sol, alta temperatura etc., pois essas condições extremas influem desfavoravelmente, deteriorando o produto. Os aditivos possuem certo poder corrosivo e a tampa do tambor é o ponto mais suscetível de ataque, devendo ser inspecionada periodicamente, a fim de se evitar a perda do produto.

É comum utilizar-se, também, um galpão próximo à central de concreto para estocagem de certa quantidade de tambores de aditivo, compatível com a produção da central de concreto. Esse galpão é projetado com reservatórios, para os vários tipos de aditivos e com capacidades tais que garantam a autonomia de um dia de consumo dos

aditivos. Esses reservatórios devem ser equipados com bombas de recalque para transportar o aditivo aos depósitos de aditivos da central de concreto.

O uso de quantidades exageradas de aditivos retardadores podem acarretar o não endurecimento do concreto. Nas Figuras (8.36) e (8.37), observa-se o comportamento do início e fim de pega, (determinado na argamassa) de duas misturas de concretos, uma com relação $A/C_{eq} = 0,45$ e outra com $A/C_{eq} = 0,72$, com maiores dosagens de aditivo [8.3]. Nestas condições verifica-se que para concretos "pobres" ($A/C_{eq} = 0,72$) uma quantidade de aditivo acima de 0,50 % (porcentagem em peso de aditivo em relação ao peso de aglomerante) não é aconselhável, enquanto para concretos mais ricos ($A/C_{eq} = 0,45$) pode-se ultrapassar este limite, não se devendo exceder a quantidade de 1,0 % de aditivo. Recomenda-se que porcentuais superiores a 0,5 % sejam criteriosamente analisados. Deve-se também levar em conta o tipo de cimento e material pozzolânico, bem como a temperatura inicial do concreto (no estudo acima as misturas foram dosadas a 12°C.).

DIMENSÃO MÁXIMA DO AGREGADO NO CONCRETO (mm)	PERCENTAGEM DE AR SOBRE O VOLUMED CONCRETO FRESCO PENEIRADO EM PENEIRA DE 38 mm
19	3,5 a 4,5
38	3,5 a 4,5
76	5,5 a 6,5
152	7,5 a 8,5

Figura 8.35 - Percentagens de ar recomendadas para o concreto passando na peneira de 38 mm. No concreto sem peneiramento estas porcentagens correspondem a 4% (aproximadamente) para qualquer D máximo de concreto

Os outros aditivos são utilizados com menor intensidade no concreto (raramente no concreto massa) em concretagem especiais, podendo-se citar:

- Redutor de água.
- Redutor de pega.
- Redutor de água e retardadores de pega.
- Redutor de água e acelerador de pega.
- Expansores.
- Superplastificantes.

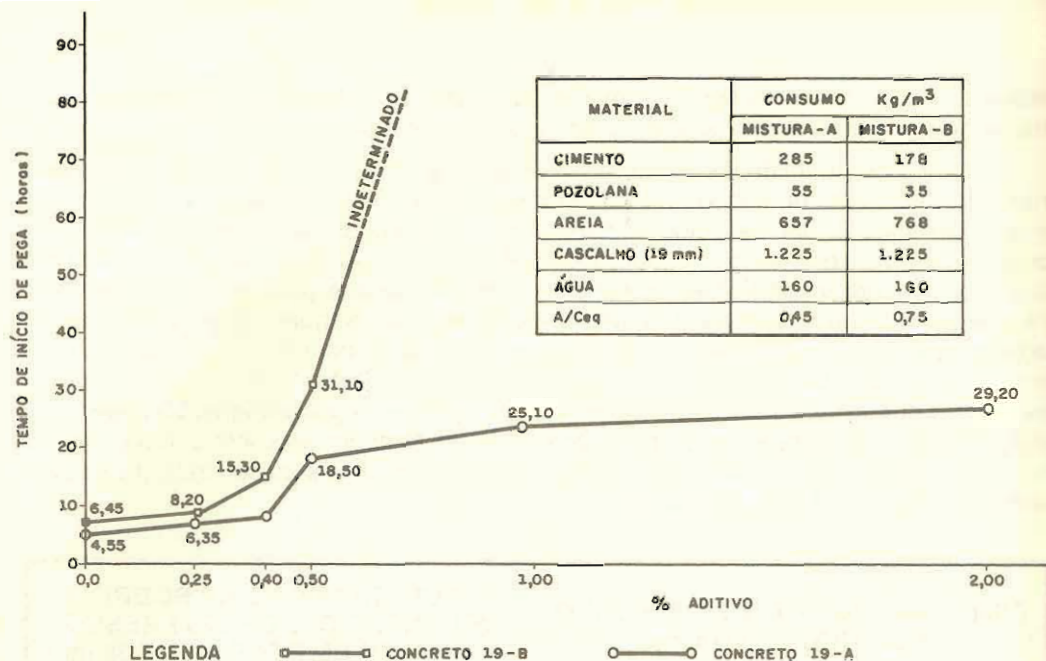


Figura 8.36 - Variação do tempo de início de pega com o aumento da quantidade de aditivo retardador [8.2]

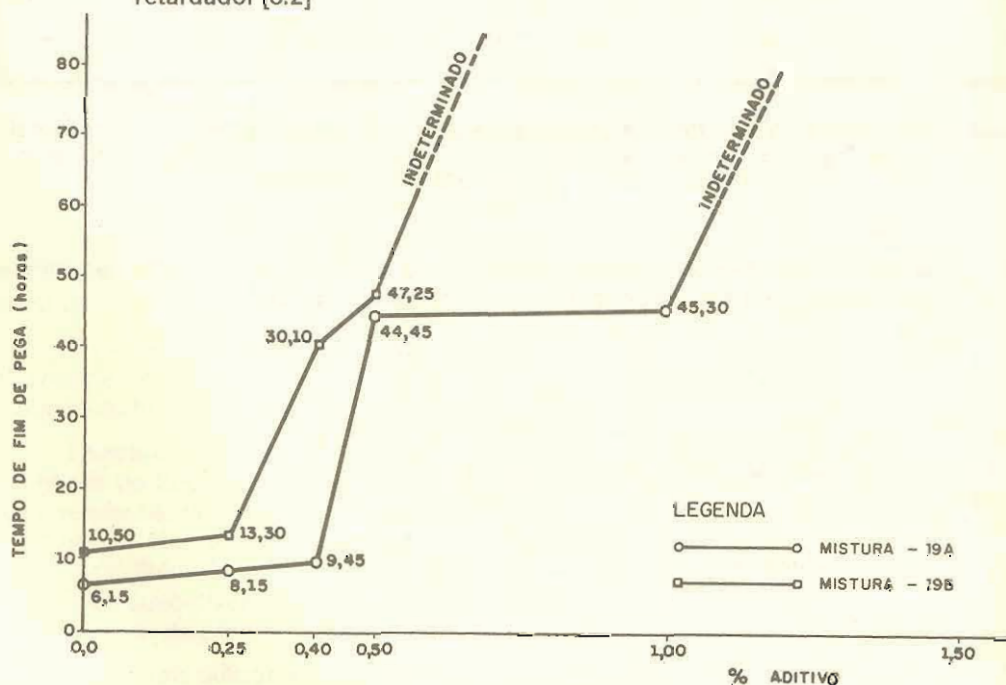


Figura 8.37 - Variação do tempo de fim de pega com o aumento da quantidade de aditivo retardador [8.2]

8.6.2 Pré-Qualificação

A fim de fazer uma seleção dos aditivos disponíveis mais adequados para aplicação, recomenda-se que seja feita uma pré-qualificação, antes do envio para a obra.

Estes ensaios devem ser feitos com os materiais que serão utilizados na obra, inclusive material pozolânico.

Os resultados obtidos servirão para classificar os aditivos e como parâmetro de comparação com os resultados dos ensaios em amostras retiradas de partidas destinadas à obra.

As amostras deverão ser obtidas com os fabricantes e ter uma quantidade suficiente para execução dos ensaios de pré-qualificação. O fabricante deverá informar as características físicas e químicas do produto e a que se destina. Recomenda-se que de cada aditivo qualificado seja guardada uma alíquota destinada a ensaios de confrontação, quando necessário.

Os aditivos devem ser submetidos aos seguintes ensaios de uniformidade, durante a pré-qualificação.

- Água unitária.
- Consistência.
- Perda de consistência.
- Tempo de pega (início e fim).
- Resistência a compressão axial (3, 7, 28, 90, 180 e 360 dias).
- Resistência a tração na flexão aos (3, 7, 28, 90, 180 e 360 dias).

Para aditivos incorporadores

- Teor de ar incorporado no concreto e argamassa.
- Exsudação.
- Retração (ou expansão) aos 14 dias de secagem.

Sugere-se que além da determinação do teor do aditivo incorporador de ar no concreto-padrão indicado no método, também sejam feitas determinações com a mistura que está sendo proposta para a obra (inclusive com introdução de material pozolânico se for o caso) para se verificar o comportamento do aditivo, nas condições reais de aplicação.

Para os aditivos incorporadores de ar, o teor de ar incorporado deverá ser comparado com os resultados obtidos com um aditivo-padrão.

Recomenda-se que a resina vinsol seja neutralizada, obtida da seguinte forma:

- Misturar 100 partes de resina vinsol em 12 partes de NaOH (em peso) formando o resinato. O aditivo padrão consiste na diluição em água na proporção em peso 1:7 (resinato : água).

Para os aditivos redutores de água, devem ser efetuados ensaios para verificação da redução do teor de água de amassamento em concretos com e sem aditivos.

É recomendável que os teores de utilização dos aditivos mantenham-se com mesma eficiência, ao longo do fornecimento, comparativamente com as amostras da pré-qualificação.

8.6.3 Liberação na Fonte

A liberação na fonte de produção é recomendável para se evitar rejeições de materiais após o seu transporte para a obra.

As amostras devem representar lotes de 2 t no máximo, ou fração, sendo constituídas por amostras parciais coletadas ao longo do lote, homogeneizadas, e correspondentes a no máximo 500 Kg de aditivo.

Cada amostra deve ser submetida aos ensaios de uniformidade e desempenho, citados no item 8.6.2.

Caso um ou mais resultados dos ensaios de desempenho não atendam ao especificado, devem ser feitos ensaios de confrontação.

Estes ensaios são efetuados em concreto feito com aditivo das amostras de pré-qualificação, e concreto com aditivo da partida em questão. Se os resultados dos testes em ambos os concretos forem semelhantes, o aditivo é liberado, sendo então investigadas as causas dos resultados insatisfatórios. Caso os resultados apresentem-se em desacordo com os resultados obtidos com o aditivo da pré-qualificação, a partida é rejeitada.

8.6.4 Controle de Recepção na Obra

Para o recebimento na obra recomenda-se a realização dos ensaios de uniformidade.

A amostragem deve ser executada de acordo com o indicado acima, tomando-se o cuidado de se agitar o conteúdo do recipiente antes da coleta da amostra, no caso de aditivos líquidos.

Os resultados devem atender os desvios indicados na Figura 8.39 para os ensaios de uniformidade.

Quando não forem executados ensaios de liberação na fonte, deve ser realizado um controle por ocasião da chegada do material na obra.

8.6.5 Controle na Aplicação

O controle na aplicação tem como objetivo registrar e verificar a qualidade do aditivo no momento da aplicação.

Amostragem

A amostragem deve ser feita entre o tanque e o dosador (Figura 8.38). Devem ser formadas amostras médias semanais, a partir de amostras parciais coletadas a cada 6 horas. Cada amostra parcial deve ter um volume aproximado de 50 ml.

Recomenda-se efetuar os ensaios de uniformidade e os seguintes ensaios de desempenho:

- Teor de ar incorporado no concreto e na argamassa.
- Consistência.

Inspeção

Pelo menos durante a coleta das amostras parciais devem ser inspecionadas as condições do aditivo no tanque da central e o dosador.

Nesta inspeção devem ser observadas alterações na cor do aditivo, formação de grumos, precipitação de sólidos (o que pode indicar uma "quebra" da emulsão), contaminação.

A expressão "quebra" da emulsão significa falta de homogeneidade do aditivo, caracterizada pela sua concentração na parte inferior do depósito e diluição na parte superior.

O efeito acima pode ser eliminado com agitação periódica do aditivo, utilizando-se um agitador mecânico ou ar-comprimado.

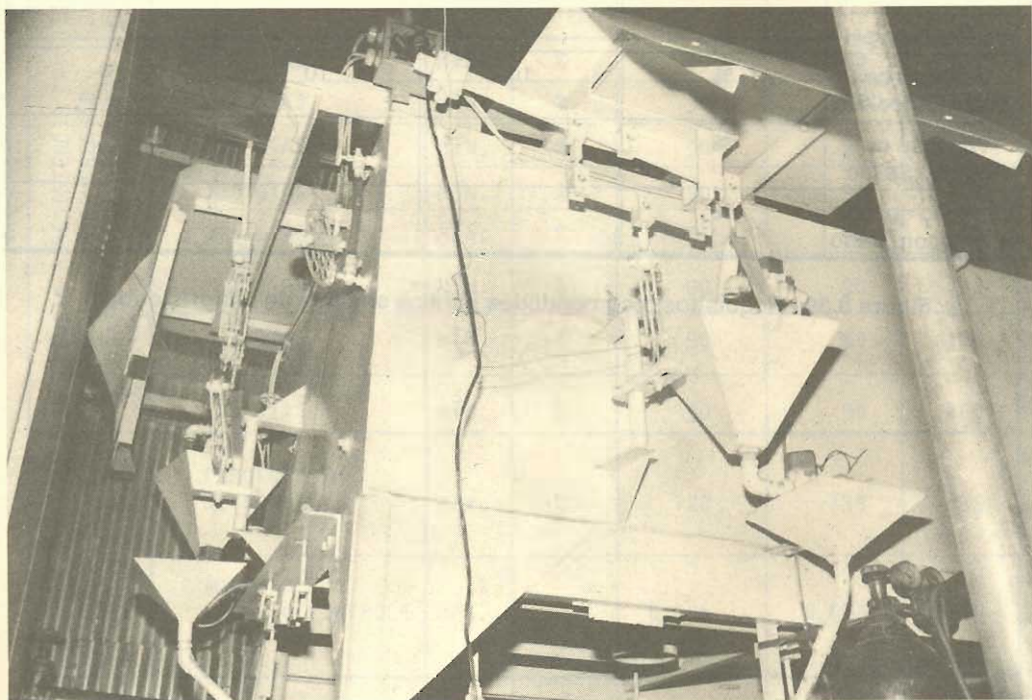


Figura 8.38 - Sistema para a dosagem de aditivos na Central Concreto - Porto Primavera

Qualquer destas irregularidades pode ser motivo para se renovar o material do depósito.

Os aditivos químicos podem sofrer alterações quando submetidos a altas temperaturas. Recomenda-se, portanto, que o material estocado seja protegido das intempéries.

8.6.6 Estocagem

Os aditivos estocados devem ser inspecionados pelo menos semanalmente e sempre que esteja sendo transportado para as centrais de concreto.

Aditivos estocados por mais de 6 meses devem ser reensaiados antes da aplicação.

8.6.7 Recomendações para Controle

Para o recebimento e controle dos aditivos incorporadores de ar, retardadores de pega e redutores de água, normalmente são utilizados os requisitos indicados nas Figuras 8.39 e 8.40.

LIMITES				
ENSAIO	UNIDADE	INCORPORADO R DE AR	RETARDADOR DE PEGA	REDUTOR DE ÁGUA
Variação do pH	%	1	1	1
Variação na Massa Específica	%	10	10	10
Variação no Resíduo Sólido	%	-	5	5
Variação no teor de Ar Incorporado	%		-	-

Figura 8.39 - Requisitos recomendados para os ensaios de uniformidade

ENSAIO		LIMITE	UNIDADE	ADITIVOS		
				INCORPORADOR DE AR	RETARDADOR DE PEGA	REDUTOR DE ÁGUA
CONTEÚDO DE ÁGUA % DO CONTROLE		MÁX.	%	-	-	95
TEMPO DE PEGA DESVIO NO CONTROLE	INICIAL	MÍN.	H. MÍN.	-	1:00*	-
		MÁX.	H. MÍN.	1:15*	3:30*	1:00**
						1:30*
	FINAL	MÍN.	H. MÍN.	-	-	-
		MÁX.	H. MÍN.	1:15*	3:30*	1:00**
						1:30*
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO % NO CONTROLE	3 DIAS	MÍN.	%	90	90	110
	7 DIAS	MÍN.	%	90	90	110
	28 DIAS	MÍN.	%	90	90	110
	180 DIAS	MÍN.	%	90	90	110
	365 DIAS	MÍN.	%	90	90	110
RESISTÊNCIA A FLEXÃO % NO CONTROLE	3 DIAS	MÍN.	%	90	90	100
	7 DIAS	MÍN.	%	90	90	100
	28 DIAS	MÍN.	%	90	90	100
VARIAÇÃO NO COMPRIMENTO MAIS REMOÇÃO (REQUISITO OPCIONAL)	PERCENTAGEM DO CONTROLE	MÁX.	%	120	135	135
	AUMENTO SOBRE O CONTROLE	MÁX.	%	0,006	0,010	0,010
EXSUDAÇÃO DESVIO DO CONTROLE		MÁX.	% PONTOS		2,0-	=

* Retardamento.

** Aceleração.

+ Requisito opcional. Limite de porcentagem do controle aplicado quando a variação do comprimento do controle é mais que 0,30%.

Limite do aumento do controle aplicado quando a variação de comprimento do controle é menor que 0,030%.

Figura 8.40 - Requisitos físicos de aditivos químicos [8.3]

8.7 Controle de Armadura e Embutidos

8.7.1 Armadura

8.7.1.1 Controle de Liberação na Fonte

O controle executado na fonte de produção permite analisar o material antes que ele seja transportado para a obra, evitando assim os gastos adicionais devido a rejeição do material no canteiro de obras. Este procedimento é recomendado, principalmente, para as grandes obras, onde são consumidas grandes quantidades de material.

Os lotes devem ser formados de acordo com o indicado na Figura 8.41, em conformidade com NBR 7480 (ABNT).

MASSA MÁXIMA DOS LOTES (t)					
BITOLA D			CATEGORIA DO AÇO		
(mm)	CA-25	CA-32	CA-40	CA-50	CA-60
3,2	4	3,2	2,5	2	1,6
4	5	4	3,2	2,5	2
5	6,3	5	4	3,2	2,5
6,3	8	6,3	5	4	3,2
8	10	8	6,3	5	4
10	12,5	10	8	6,3	5
12,5	16	12,5	10	8	6,3
16	20	16	12,5	10	-
20	25	20	16	12,5	-
25	31,5	25	20	16	-
32	40	31,5	25	20	-
40	50	40	31,5	25	-

Figura 8.41 - Massa máxima dos lotes

A amostra é composta de tantos exemplares quantos indicados no plano de amostragem a seguir. Cada exemplar tem um comprimento de 2,20 m, desprezando-se a ponta de 20 cm da barra ou fio.

O plano de amostragem recomendado está indicado na Figura 8.42.

PLANO DE AMOSTRAGEM	CORRIDA (*)	NÚMERO DE EXEMPLARES DA AMOSTRA	NÚMERO DE EXEMPLARES DA CONTRA PROVA(**)
1	I	1	2
	NI	2	4
2	I	2	2
	NI	4	4
3	I OU NI	4	4

(*) I - Corrida identificada.

NI - Corrida não identificada.

(**) - Ver critério de aceitação.

Figura 8.42 - Planos de amostragens

No início do controle, para os cinco primeiros lotes, recomenda-se adotar o plano de amostragem 2.

A escolha do plano de amostragem para cada 5 lotes subseqüentes depende da aceitação ou não dos cinco lotes anteriores, conforme critério indicado na Figura 8.43.

INSPEÇÃO DOS LOTES ANTERIORES AOS LOTES A SEREM INSPECIONADOS		LOTES DA PARTIDA A SER INSPECIONADA
PLANO ADOTADO	RESULTADOS OBTIDOS	PLANO A ADOTAR
1	todos aprovados	1
2		1
3		2
1	houve um lote rejeitado	2
2		3
3		3
1	houve mais de um lote rejeitado	3
2		3
3		3

Figura 8.43 - Critério de escolha do plano de amostragem

Cada exemplar é submetido aos seguintes ensaios ou determinações:

- Determinação de massa linear.
- Tração.
- Dobramento.

Como complemento às características do material, recomenda-se que no início do fornecimento ou quando for observado alguma alteração nas características do produto, sejam efetuados os seguintes ensaios:

- Ensaio de fissuração de concreto.
- Ensaio de fadiga.

Excepcionalmente quando não se dispõe de resultados dos ensaios de fissuração de concreto, pode-se adotar o coeficiente de conformação superficial (aderência) igual a 1,5, desde que a configuração geométrica das saliências ou mossas de barras, atendam as condições indicadas a seguir.

As saliências ou mossas devem satisfazer as seguintes condições:

- Os eixos das nervuras transversais ou cristas devem formar com a direção do eixo da barra um ângulo igual ou superior a 45° .
- As barras devem ter pelo menos duas nervuras longitudinais, contínuas e diametralmente opostas, exceto no caso em que as nervuras transversais estejam dispostas de forma a se oporem ao giro da barra dentro do concreto.
- A altura média das nervuras ou a profundidade das mossas deve ser igual ou superior a 0,04 do diâmetro nominal.

- O espaçamento médio ao longo das nervuras transversais, cristas ou mochas, medido ao longo de uma mesma geratriz, deve estar entre 0,5 e 0,8 do diâmetro nominal.
- As saliências devem abranger pelo menos 85% do perímetro nominal da seção transversal da barra ou do fio.

As medidas acima indicadas devem ser efetuadas no corpo de prova retirado conforme indicado acima e obedecidas as seguintes condições:

- O espaçamento médio entre as nervuras é determinado, dividindo-se um comprimento de 400 a 500 mm do corpo de prova pelo número de espaços contidos no comprimento adotado.
- A altura média das nervuras é calculada através de medidas da seguinte maneira: são escolhidas dez nervuras de cada lado do corpo de prova, e em cada nervura são executadas três medidas, sendo uma no meio da nervura e uma em cada quarto do comprimento da nervura ($1/4$ e $3/4$).

Recomenda-se também que sejam feitas inspeções visuais nos lotes a serem recebidos, verificando-se a homogeneidade geométrica e os comprimentos das barras, além da existência dos seguintes defeitos:

- fissuras
- esfoliações (Figura 8.44)
- corrosão

8.7.1.2 Controle de Recepção na Obra

Caso seja adotado o critério de controle na fonte recomenda-se que no recebimento na obra seja feita uma inspeção visual.

Caso não seja executado o controle na fonte, recomenda-se a execução do controle de recepção na obra, adotando-se os mesmos critérios de amostragens e ensaios indicados anteriormente.

Neste caso, os lotes devem ser estocados separadamente e identificados com plaquetas resistentes e firmemente amarradas nos feixes de barras. Após a liberação do lote a plaqueta deve ser substituída por outra, indicando que o lote está liberado. Em seguida, as pontas das barras do lote devem ser pintadas com cores características de cada categoria do aço, conforme indicado a seguir:

CATEGORIA	COR
CA - 25	amarela
CA - 32	verde
CA - 40	vermelha
CA - 50	branca
CA - 60	azul

8.7.1.3 Critério para Aceitação e Rejeição

Para liberação dos lotes recomenda-se a adoção dos critérios indicados pela NBR - 7480 (ABNT). (Ver Capítulo 17)

8.7.1.4 Inspeções Complementares

Durante o beneficiamento do aço nos pátios de ferro e no momento da aplicação, o material deve ser inspecionado visualmente e observado quanto a ocorrência de fissura, esfoliações e situação da superfície da barra em termos de corrosão. Recomenda-se não utilizar aquecimento para o dobramento e beneficiamento do aço, a não ser que sejam feitos controles de aquecimento e resfriamento, através de processos previamente testados. O aquecimento e resfriamento são mais críticos em aço com altos teores de carbono e aço classe B.



Figura 8.44 - Aço após ensaio de dobramento, apresentando esfoliação

Mesmo nas obras em concreto massa é conveniente lembrar da existência de algumas estruturas armadas.

As hidrelétricas brasileiras em concreto massa têm apresentado "taxas médias de armadura" preponderantemente entre 25 kg/m^3 e 35 kg/m^3 .

Considerando o volume de concreto das obras, algumas consumiram mais de 100.000 t de aço, como no caso da obra de Itaipu, que superou 380.000 t de aço.

Para o preparo dessas grandes quantidades de armadura, o sistema de .. beneficiamento de armadura das obras tem sido planejado com o devido cuidado.

Assim é que, ultimamente, têm sido utilizadas centrais de beneficiamento de aço para concreto, com elevado grau de automatização.



Figura 8.45 - Vista dos pátios de carpintaria (primeiro plano) e armação (segundo plano) da obra de Itaipu

Esses sistemas são constituídos de áreas para estoques de ferro bruto, normalmente boxes e baias, estoques de ferro pronto, linhas de corte, dobramento, emendas e estoques de pontas, como o empregado em Itaipu, e que se descreve como exemplo a seguir.

As pontes rolantes retiram os feixes de barras dos veículos de transporte e os colocam nos boxes e, posteriormente, alimentam as linhas de produção.

As barras são transferidas , através de ponte rolante, das "baias" para as prateleiras do alimentador de roletes motorizados.



Figura 8.46 - Ponte rolante armazenando feixe de barras nas baias do estoque de aço bruto - Itaipu



Figura 8.47 - Feixes de barras, estocados, aguardando liberação de qualidade, através de ensaios em laboratórios - Itaipu

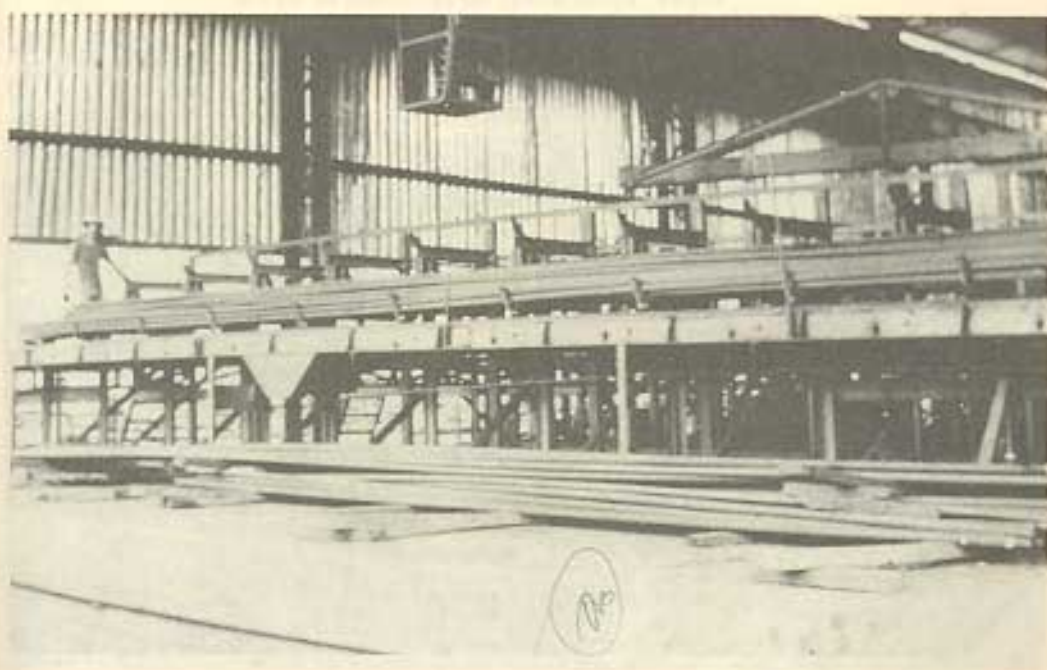


Figura 8.48 - Prateleiras de recepção de barras para o alimentador de roletes - Itaipu

Para o corte das barras é usado um sistema de limitadores pneumáticos que permite o posicionamento das barras a intervalos de 50 cm.

Para o posicionamento das barras até valores de centímetros a "guilhotina" da mesa de corte faz ajuste na posição desejada, através de sistema pantográfico.

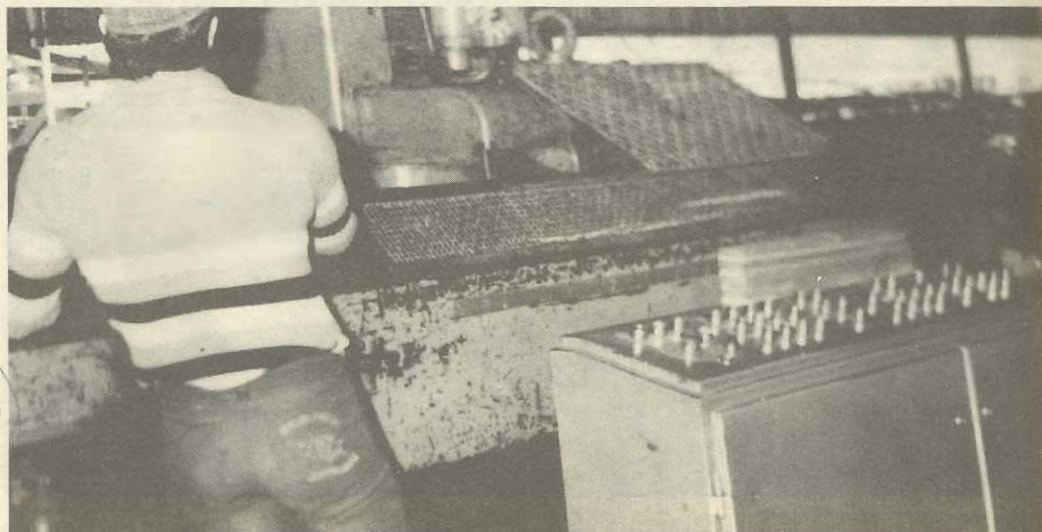


Figura 8.49 - Guilhotina para corte, com regulagem pantográfica. À frente da máquina de corte o painel de comando do sistema - Itaipu

Após o corte as barras podem seguir dois fluxos distintos.

- Aço cortado, porém não dobrado, indo para estoques através das mesas transportados.

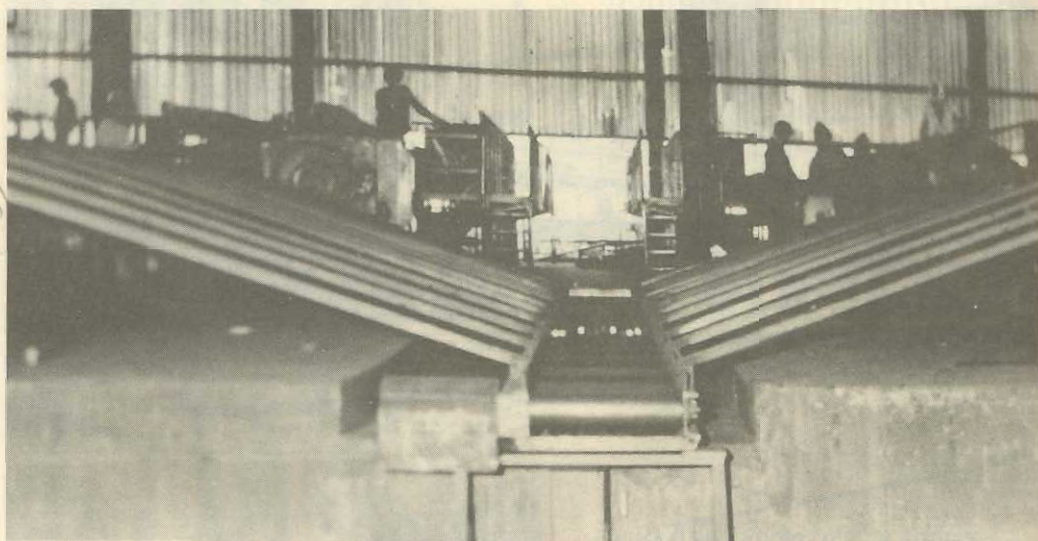


Figura 8.50 - Mesa orientadora do fluxo de barras, após o corte - Itaipu

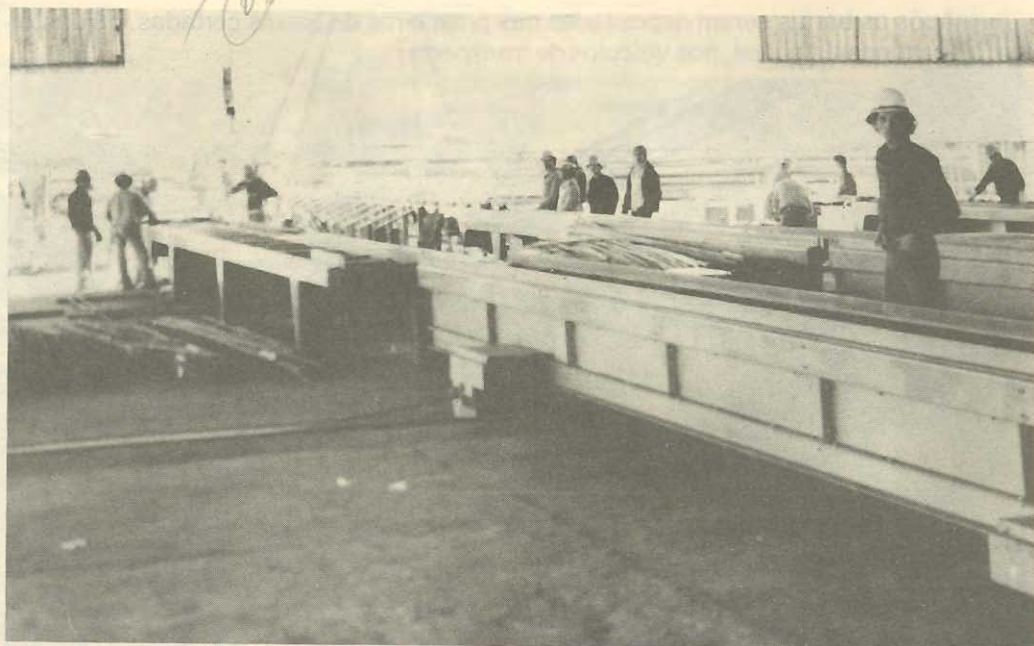


Figura 8.51 - Mesa transportadora autopropelida que conduz as barras às prateleiras de ferro cortado ou às máquinas de dobramento - Itaipu

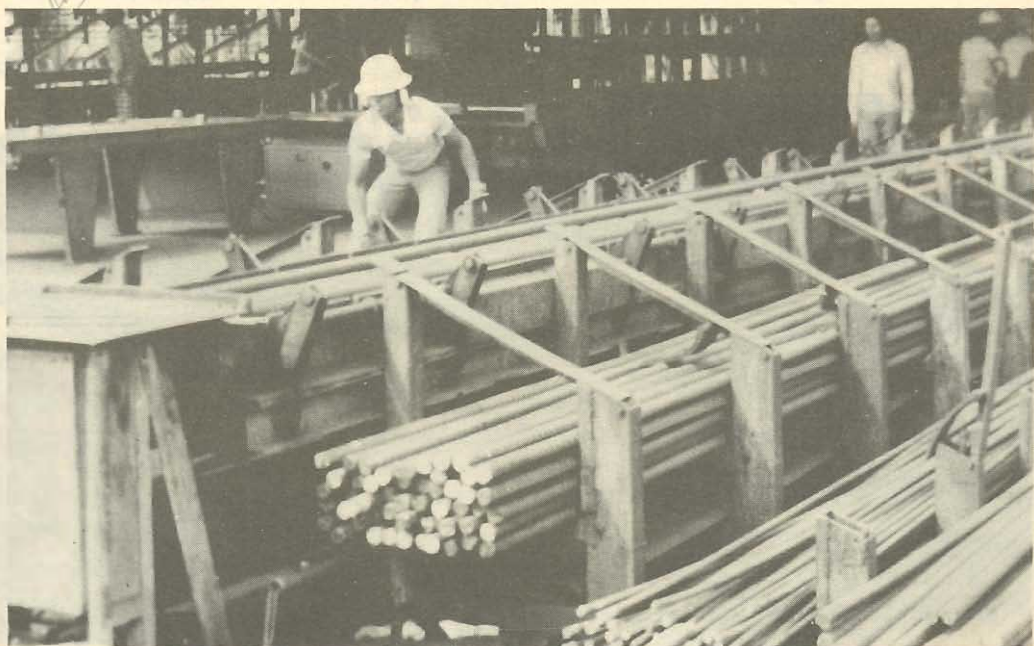


Figura 8.52 - Prateleiras de barras retas cortadas - Itaipu

Após as barras serem depositadas nas prateleiras de barras cortadas, guidastes as colocam nos estoques, nos veículos de transporte.

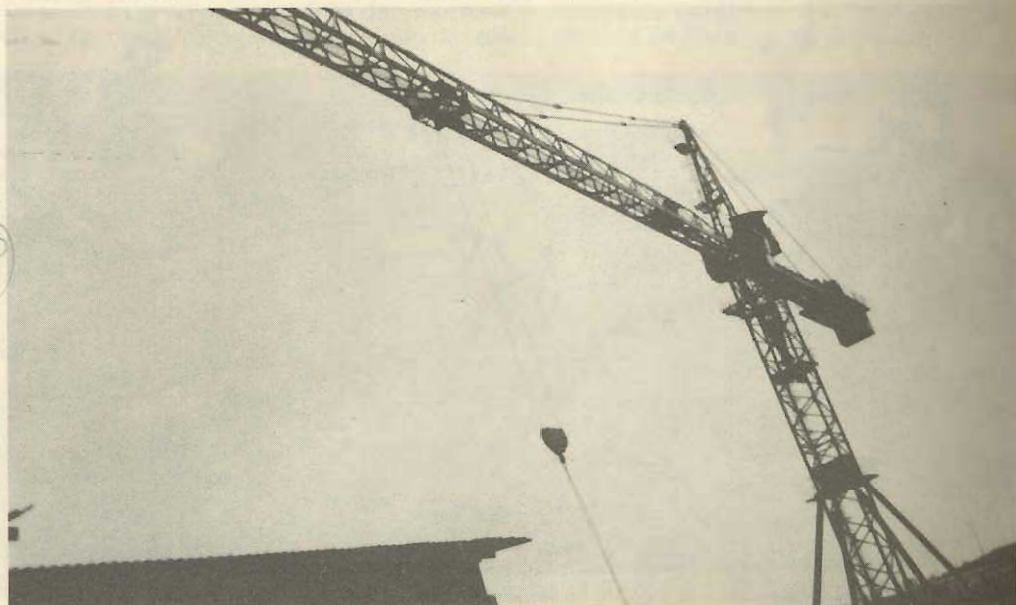


Figura 8.53 - Guindaste tipo lança em torre, para manuseio de barras beneficiadas - Itaipu

- Aço cortado e dobrado. Nessa situação, as barras são transportadas pelas máquinas vistas, nas Figuras 8.50 e 8.51, para as máquinas de dobramento.

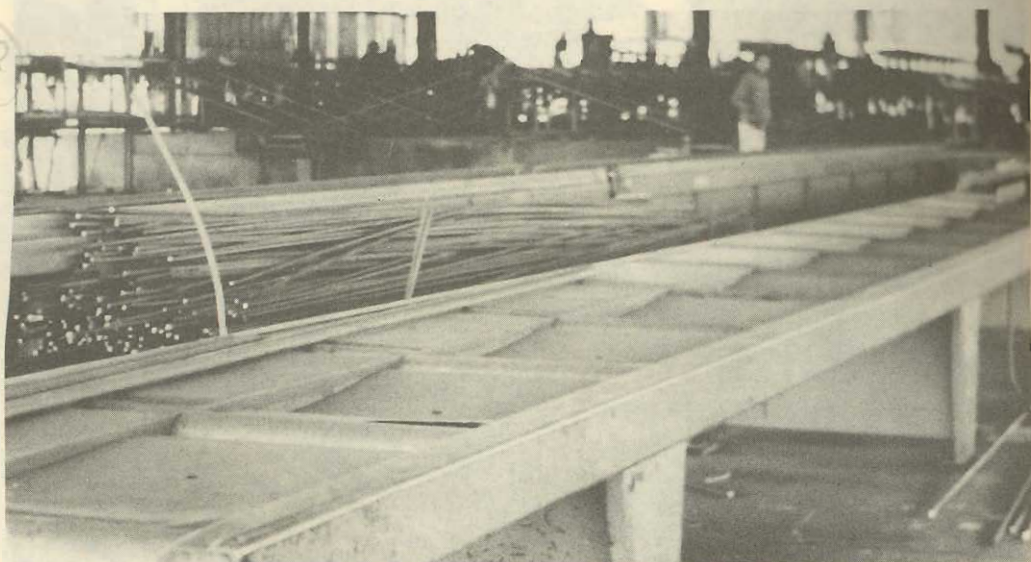


Figura 8.54 - Bancada para medição dos pontos de dobramento - Itaipu

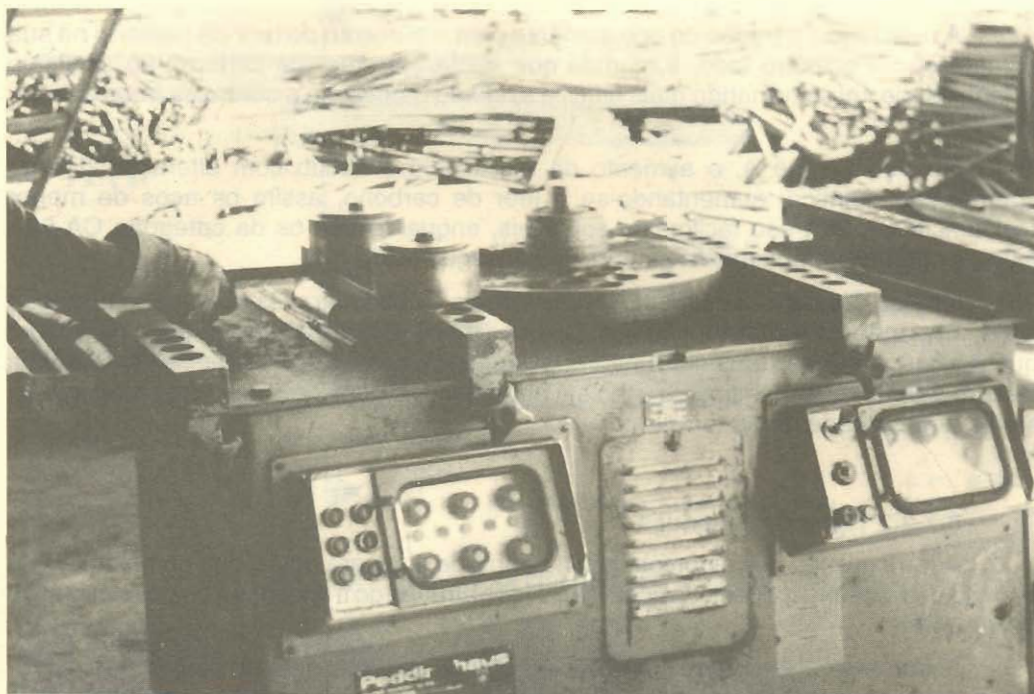


Figura 8.55 - Máquina de dobramento com programação de pontos e ângulos de dobramento - Itaipu

Após o dobramento, as barras dobradas são estocadas ou colocadas nos veículos de transporte pelo guindaste.

O sistema permite o retorno das pontas, após o corte, pelo acionamento dos roletes das mesas transportadoras.

As emendas podem ser feitas através de máquinas de solda colocadas em pontos da linha de beneficiamento.

8.7.2 Controle de Emendas em Barras de Aço

8.7.2.1 Recomendações Executivas

Com o intuito de permitir a colocação de grandes quantidades de aço para armadura, houve necessidade de implementar o uso de emendas. Dessa forma, as emendas têm sido aplicadas intensamente, requerendo cuidados com respeito à qualidade, a fim de atender as solicitações. As pontas das barras, provenientes de sobras, podem ser aproveitadas, gerando economia, e dentro de condições especificadas.

Segundo a NBR-7480 da ABNT, os aços para aplicação em concreto armado, dependendo do processo de fabricação são classificadas em:

- Aço Classe A, obtidos por laminação a quente, sem necessidade de posterior deformação a frio;
- Aço Classe B, obtidos por deformação a frio.

A resistência a tração do aço aumenta com o aumento do teor de carbono na sua composição. Por outro lado, à medida que aumenta o teor de carbono no aço, sua soldabilidade vai se tornando mais difícil e exigindo processos e controles mais criteriosos.

No Aço Classe A, o aumento da resistência é obtido com alteração de sua composição química, aumentando-se o teor de carbono, assim os aços de menor resistência CA-25A são facilmente soldáveis, enquanto que os da categoria CA-50A exigem critérios complementares para se conseguir soldá-los.

No Aço Classe B, o aumento da resistência é obtido através de uma deformação a frio, alterando-se a estrutura do aço. O aquecimento deste tipo de aço pode fazer com que sua estrutura se transforme na inicial, e, assim reduzir a resistência do material. Recomenda-se que este tipo de aço seja emendado através de conectores mecânicos, sem a necessidade de aquecimento.

8.7.2.2 Tipos de Emendas

A transmissão dos esforços de uma barra de aço para outra, que complementa a continuidade dentro da peça de concreto, é feita através do transpasse ou pela utilização de emendas.

Essas emendas podem ser feitas através de soldagens ou de conectores mecânicos.

Usualmente, as emendas com solda são mais aplicáveis em Aços de Classe A.

Para os Aços Classe B, os conectores mecânicos são recomendados.

Vários tipos de emendas tem sido usadas nas obras no Brasil, como ilustram as Figuras [8.4], [8.5] e [8.6].

Emendas por transpasse (justaposição)

Com esse tipo de emenda, os esforços nas barras são transmitidos pela aderência concreto-aço.

Emendas por sobreposição, com deposição de eletrodos

Essa emenda é um dos vários tipos utilizados através da soldagem, depositando-se material de eletrodos.

Essa emenda é semelhante àquela feita por transpasse, somente que a transmissão dos esforços é feita pelo material depositado na soldagem.

Este tipo de emenda deve ser executada com quatro cordões de solda. A utilização de apenas dois cordões deve ser em condições excepcionais. Na Figura 8.56 são indicados os comprimentos mínimos dos cordões de solda.

Para minimizar a possibilidade de desalinhamento, esse tipo de emenda é feita com a separação do cordão de solda, como ilustra a Figura 8.57.

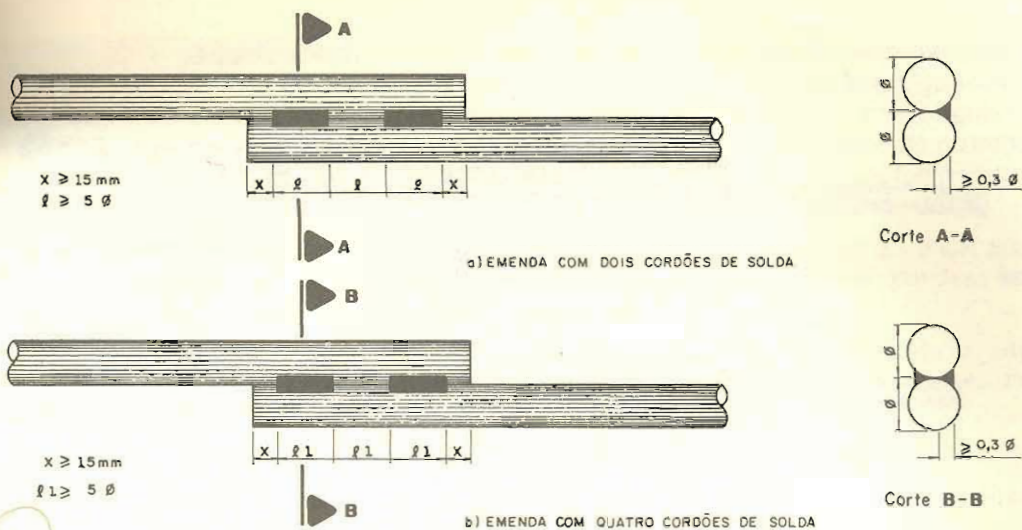


Figura 8.56 - Características da emenda com solda por transpasse

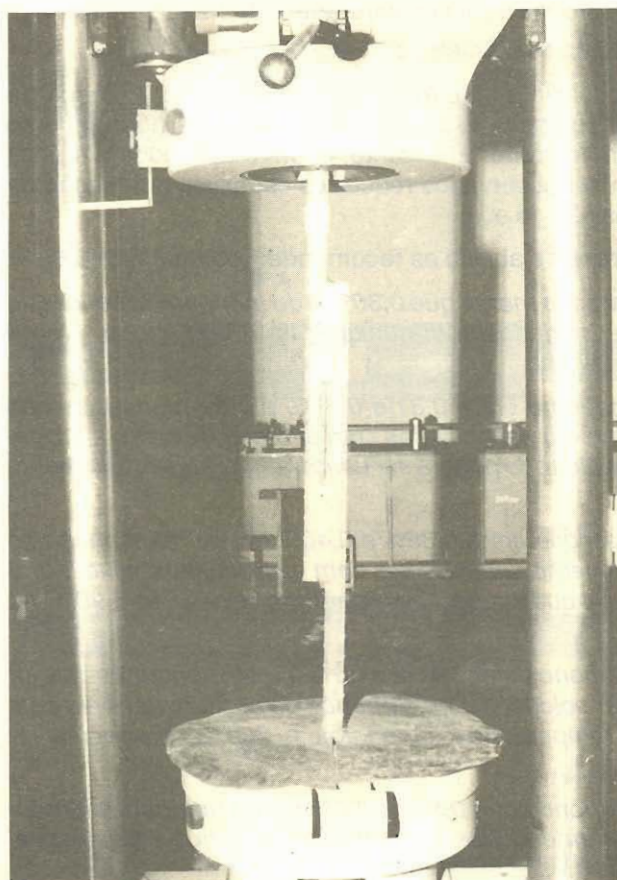


Figura 8.57 - Emenda por sobreposição com solda de deposição de eletrodos em cordões afastados - Itaipu

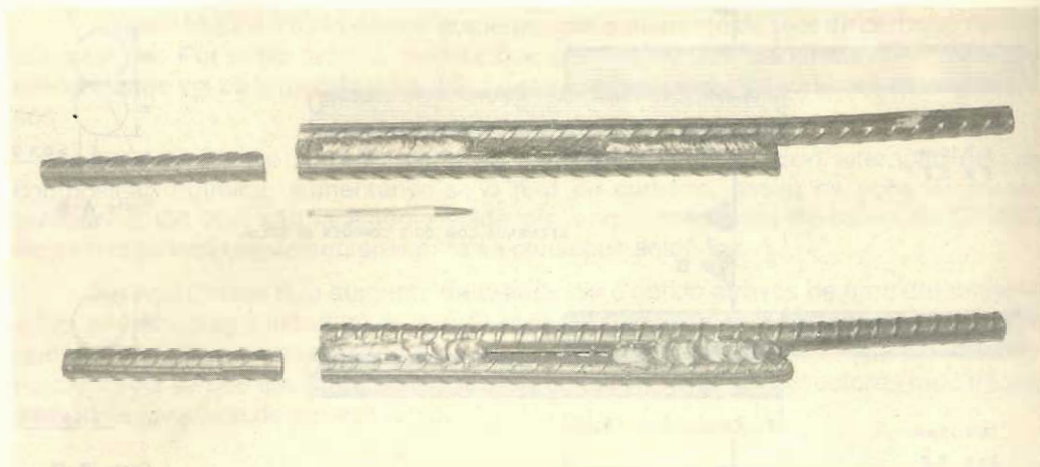


Figura 8.58 -Solda por transpasse, com deposição de eletrodo com cordão, em um lado

O comprimento l_s (Figura 8.56) deve ser determinado através de ensaios, sendo que no mínimo, somando-se os dois cordões de um mesmo lado da barra, deve ser maior ou igual a $5 \times \phi$ (ϕ representa a medida do diâmetro da barra).

O processo de solda por deposição de eletrodos quando aplicado em aços da categoria CA 25 (ABNT), não exige cuidados especiais, além daqueles normalmente exigidos para soldagem comum com eletrodo. Entretanto, quando aplicados em aços da categoria CA 50 (ABNT), devem ser observados requisitos especiais em função do teor de carbono presente na composição do aço.

Para essas condições transcreve-se abaixo as recomendações da AWS [8.6].

- Aços com teor de carbono menor que 0,30% e de manganês menor que 0,60%, poderão ser soldados com qualquer tipo de eletrodo. Não é necessário pré-aquecimento.
- Aços com teor de carbono entre 0,31 e 0,36% e o de manganês não superior a 0,90% deverão ser soldados com eletrodo de baixo hidrogênio. Qualquer tipo de eletrodo poderá ser usado através do aquecimento a 37°C.
- Aços com teor de carbono entre 0,36% e 0,40% e o de manganês não superior a 1,30%, deverão ser soldados com eletrodos de baixo hidrogênio, através de pré-aquecimento à temperatura superiores a 90°C na região da emenda.
- Aços com teor de carbono entre 0,41 e 0,50% e o de manganês inferior a 1,30%, deverão ser soldados com eletrodos de baixo hidrogênio com pré-aquecimento a temperaturas superiores a 200°C, na região da emenda.
- Aços com teor de carbono entre 0,51 e 0,80% e o de manganês inferior a 1,30% poderão ser emendados por outro processo que seja adequado.

- A qualidade das soldas nas quais é utilizado o preaquecimento da ordem de 200°C poderá ser melhorada através do "alívio de tensões", que evita os repuxos de solda. Esse "alívio" é conseguido com um pós-aquecimento de 650°C na região da solda, evitando-se resfriamento brusco. O controle da temperatura pode ser realizado com "lápiz de temperatura".

Considerando as composições químicas de aços da categoria CA 25 e CA 50, têm-se que os eletrodos de classificação AWSE 70.18 e AWSE 70.18-G atendem às exigências acima, respectivamente para os aços CA25 e CA50.

Recomenda-se que as características geométricas do cordão de solda sejam controlados pela quantidade de eletrodo utilizada para um determinado comprimento do cordão de solda.

Soldas por barras justapostas (dupla sobreposição) ou cobrejunta

Esse tipo de solda deve possuir, preferencialmente, oito cordões de solda longitudinais (Figura 8.59 a). Excepcionalmente são utilizadas soldas com quatro cordões, (Figura 8.59 b).

As barras devem ser ajustadas de tal modo a coincidir o eixo baricêntrico do conjunto com o eixo longitudinal das barras emendadas.

A eficiência desse tipo de emenda é também comprovada por ensaios (ver Figura 8.60), para cada bitola e categoria de barra. Através de ensaios determina-se o comprimento mínimo de costura de solda. A composição química do aço e as condições ambientes são levadas em consideração para a soldagem.

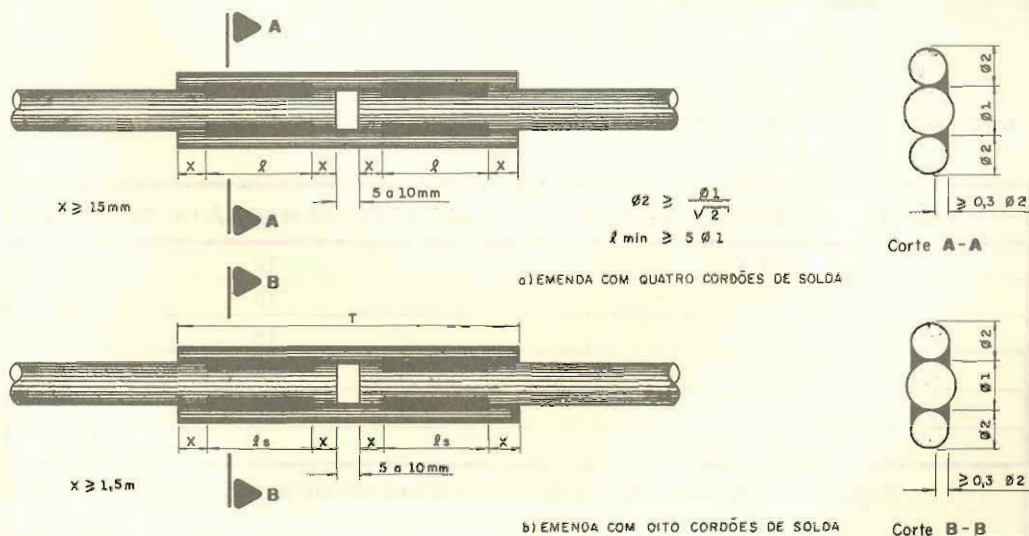


Figura 8.59 - Solda com barras justapostas

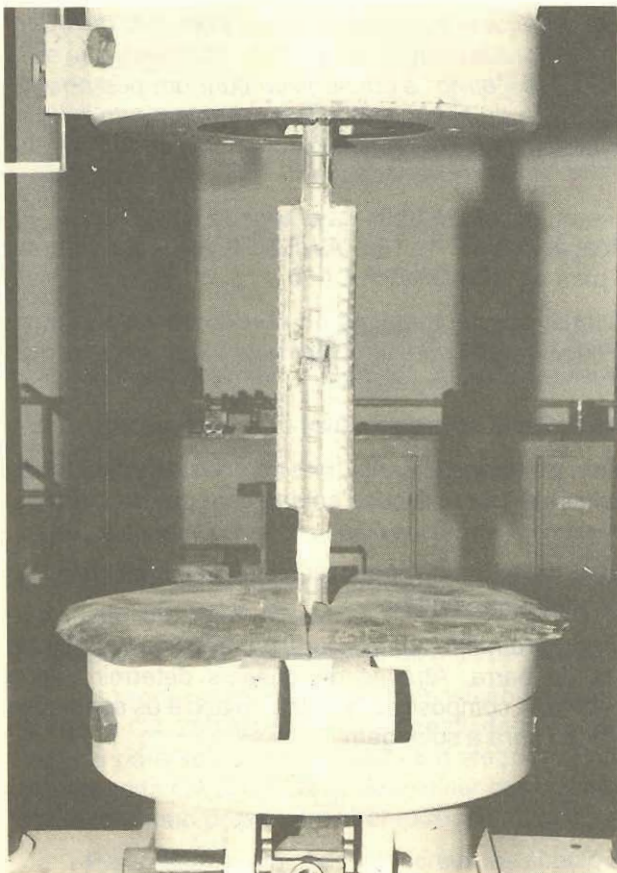


Figura 8.60 -Emenda por dupla sobreposição com deposição de eletrodos - Itaipu

Os aços das barras justapostas devem ser da mesma classe e categoria do aço das barras principais e o diâmetro conforme a Figura 8.61.

DIÂMETRO DA BARRA PRINCIPAL	DIÂMETRO DA BARRA DO TARUGO
12	12
16	12
20	16
25	20
32	25
40	32

Figura 8.61 - Relação entre diâmetro da barra principal e do tarugo

Para este tipo de solda são válidas as recomendações quanto ao tipo de eletrodo e controle térmico indicado anteriormente.

Solda com cobrejunta de cantoneiras

Este tipo de solda é utilizado em locais onde devido a dificuldades executivas não é possível a execução adequada de outro processo de solda.

A solda deve ser executada conforme indicações da Figura 8.62. As cantoneiras devem ter abas iguais e com área conforme indicado na Figura 8.63. As cantoneiras devem ser de aço comum (tensão de escoamento 25 kgf/mm²).

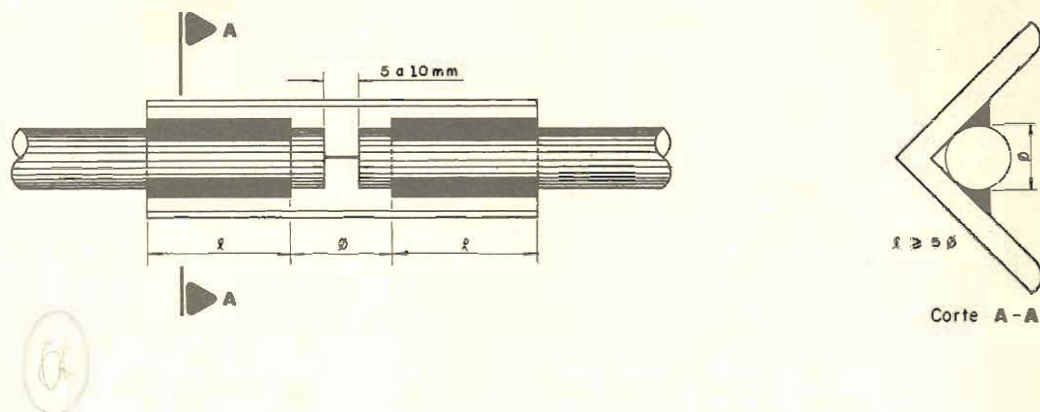


Figura 8.62 - Solda com cobrejunta de cantoneira

CATEGORIA DA BARRA	ϕ (mm)	CORDÃO min (mm)	ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA CANTONEIRA (cm ²)
CA - 25	12	60	1,6
	16	80	2,6
	20	100	4,1
	25	130	6,4
	32	200	12,1
	40	200	19,4
CA - 50A	12	60	3,0
	16	80	5,3
	20	100	8,3
	25	130	12,7
	32	200	24,2

Figura 8.63 - Características da solda com cobrejunta de cantoneira

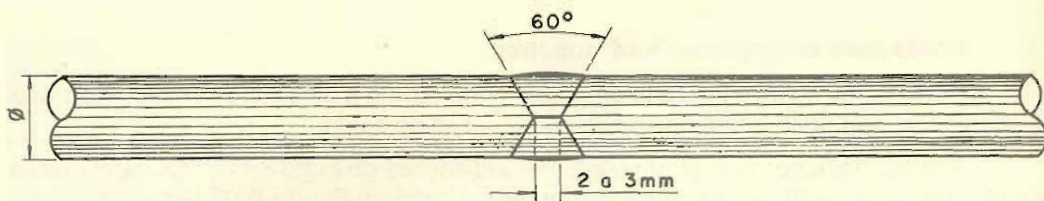


Figura 8.64 - Solda do topo com eletrodo

Para este tipo de solda são válidas as recomendações quanto ao tipo de eletrodo e controle térmico, já citados.

Solda de topo com deposição de material de eletrodo

Esse tipo de solda é indicado somente quando qualquer dos outros processos de emenda citados não for possível de ser aplicado. Somente os aços com bitola maior ou igual a 20 mm são indicados para aplicação deste processo. Para execução de solda as barras devem ser chanfradas, conforme Figura 8.64. O diâmetro do bolete de solda deve ser determinado experimentalmente.

São válidas, também neste caso, as recomendações de tipo de eletrodo e controle térmico indicados anteriormente.

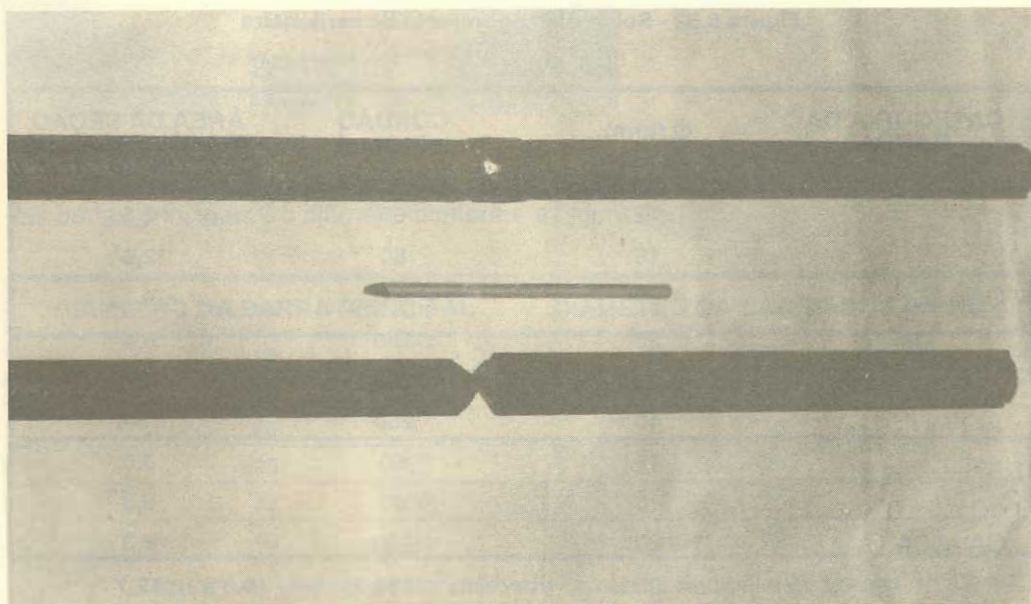


Figura 8.65 - Barras preparadas e com solda topo a topo, com deposição de eletrodo - Água Vermelha.



Figura 8.66 -Solda com cobrejunta de cantoneira de abas iguais - Água Vermelha.

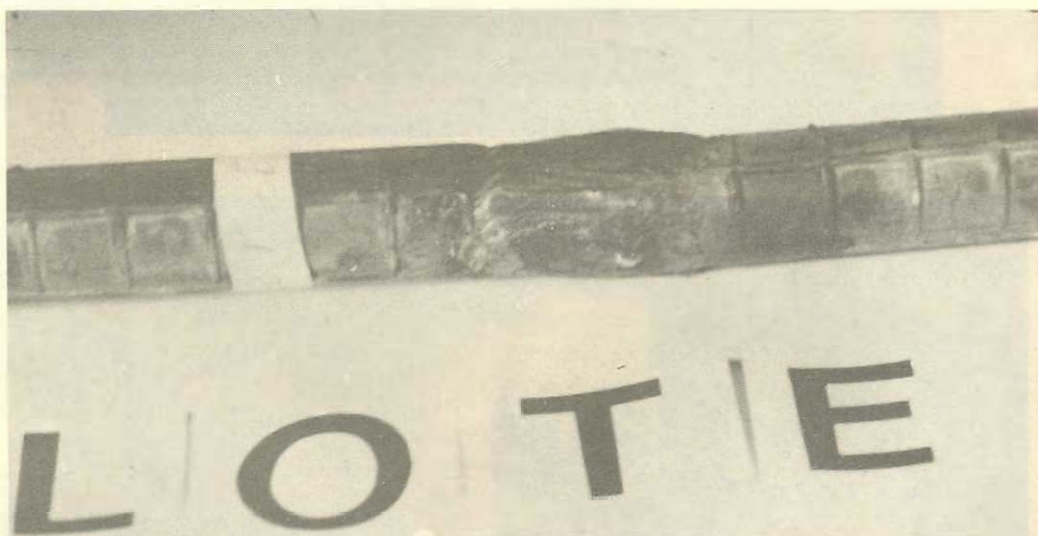


Figura 8.67 -Solda de topo com eletrodo - Ilha Solteira

Solda do tipo por caldeamento

Esse processo não utiliza deposição de eletrodo, sendo que a soldagem é feita com o próprio material da barra de aço. Através de máquinas especiais (Figuras 8.68 e 8.73) as pontas das barras a serem soldadas são submetidas à passagem de corrente elétrica. Nestas condições, as barras são aquecidas próximo à 900°C , forma-se um arco voltaico e em seguida elas são comprimidas mecanicamente, ocorrendo a soldagem das barras. Esse processo é permitido para barras com bitolas não menor que 10 mm.

As máquinas de solda a serem utilizadas para execução deste tipo de emendas podem ser de controle automático, com preaquecimento seguida da prensagem automática ou manual.

Recomenda-se a determinação do teor de carbono dos aços para avaliações de comportamento deste processo de solda. Teores acima de 0,40% (ocorrem principalmente em aços CA 50A) devem ser observados com cuidados especiais, principalmente nas bitolas maiores.

Figura 8.68 - Momento da execução de uma emenda de topo por caldeamento - Máquina manual

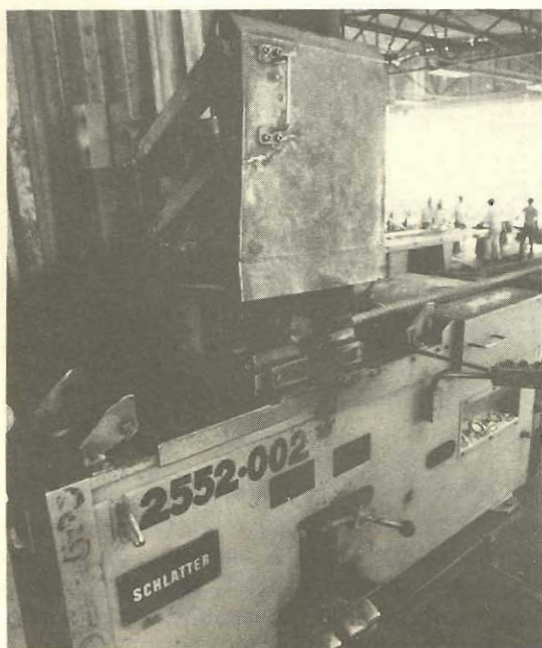
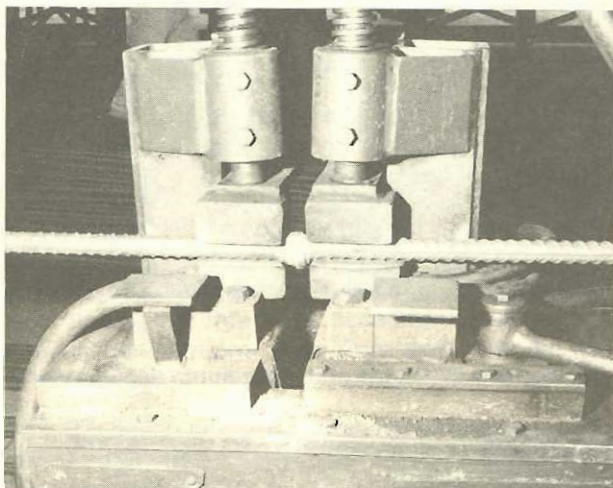


Figura 8.69-Posicionamento da primeira barra na máquina automática-Itaipu

Nesse processo de emenda as barras são colocadas topo a topo em cabeçotes móveis de uma máquina. Através da passagem da corrente elétrica aquece-se o material (formação de um arco) e por intermédio de uma alavanca move-se um dos cabeçotes, deformando-se o material (dando origem ao "boleto"). Dessa forma é realizada uma emenda topo a topo, por caldeamento. A temperatura, nesse processo, algumas vezes atinge 900°C.

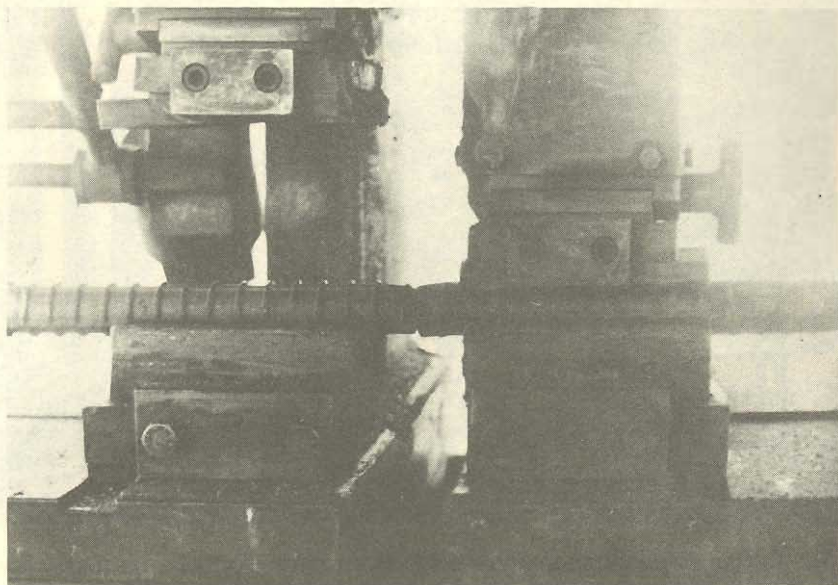


Figura 8.70 - Abaixamento do mancal superior sobre a barra - Itaipu



Figura 8.71- Colocação da barra a ser emendada-Itaipu

A máquina deve ter características elétricas e mecânicas apropriadas às características e bitolas das barras, de modo a garantir a qualidade da emenda. Nessas emendas as extremidades das barras devem ser planas e normais aos eixos.

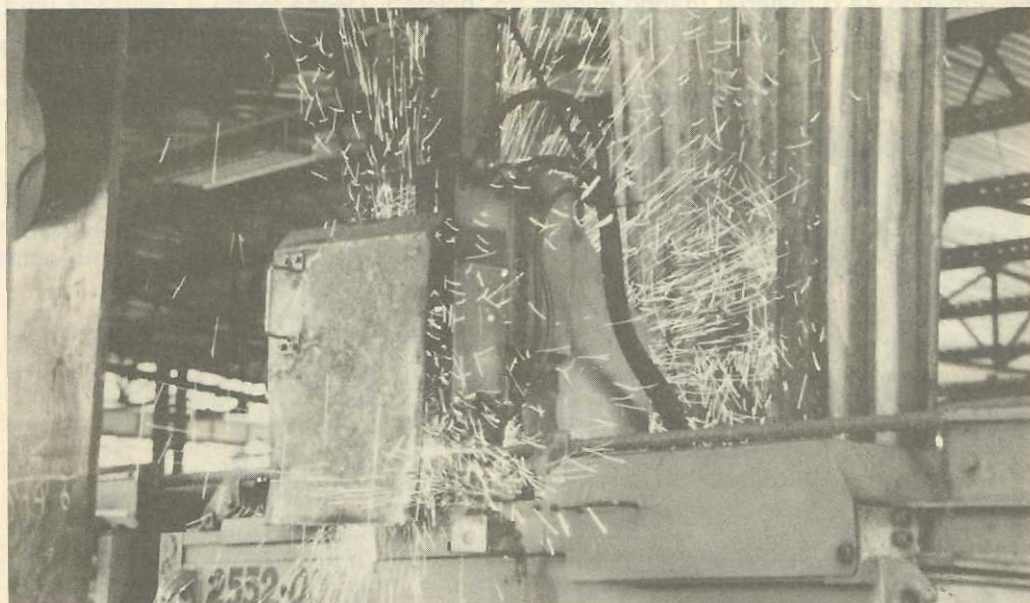


Figura 8.72 - Execução da emenda. Passagem da corrente elétrica e formação do boleto - Itaipu

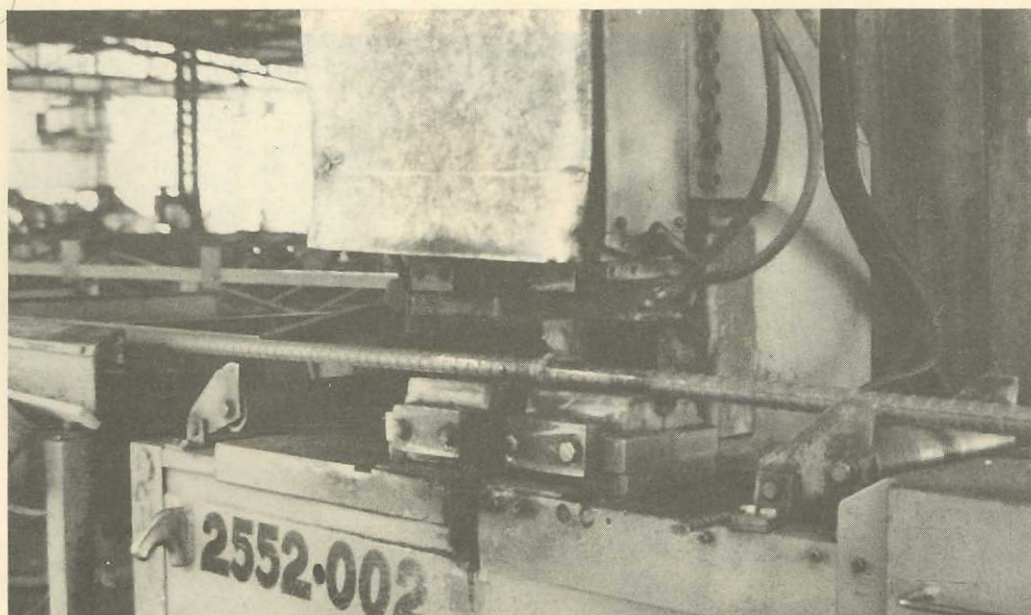


Figura 8.73 - Emenda pronta - Itaipu

Esse tipo de emenda tem sido largamente usada em obras de hidroelétricas, sendo que desde o início de seu emprego, ao redor de 1971, Ilha Solteira, até as obras recentes, apresentou uma sensível evolução, como mostra a Figura (8.74) [8.5].

O intenso uso desse tipo de emenda se justifica pelo fato de não haver necessidade de introduzir um outro material na mesma, utilizando apenas a energia elétrica, a máquina e a mão-de-obra.

A demanda de energia para a execução dessa emenda é proporcional à área de seção transversal da barra, como ilustra a Figura 8.74.

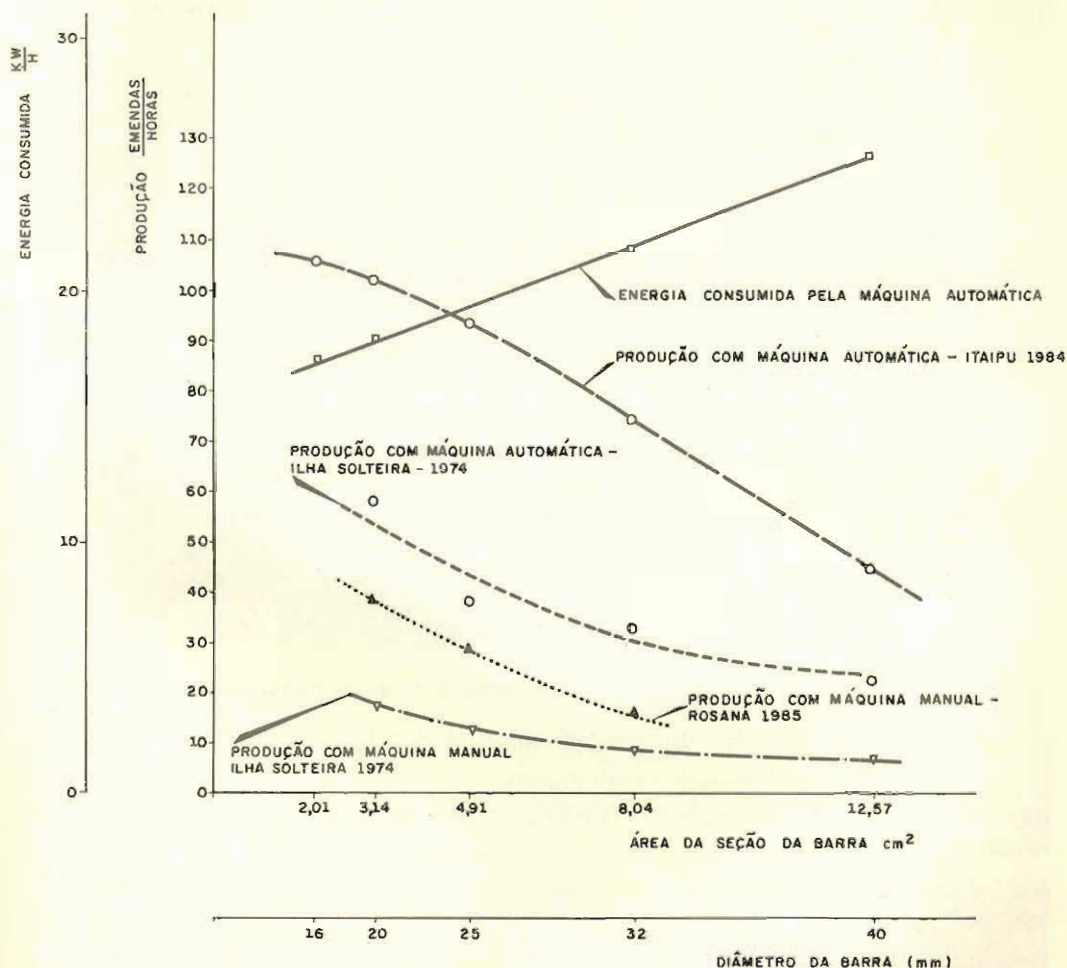


Figura 8.74 - Energia consumida e produção horária na execução de emendas topo a topo por caldeamento [8.5]

Observa-se pelos valores da Figura 8.74 que houve uma sensível melhoria na produtividade de execução das emendas, quando se compara os dados obtidos:

- Em Itaipu (dados até 1984) e Ilha Solteira (até 1974), com máquina automática.
- Em Rosana (dados até 1985) e Ilha Solteira (até 1974), com máquina manual.

Evidencia-se, ainda, a diferença de capacidade de produção das máquinas automáticas para com as máquinas manuais.

Salienta-se que esse tipo de emenda só tem sido executado em bancadas de trabalho, o que permite a redução sensível de perdas e o aproveitamento de pontas.

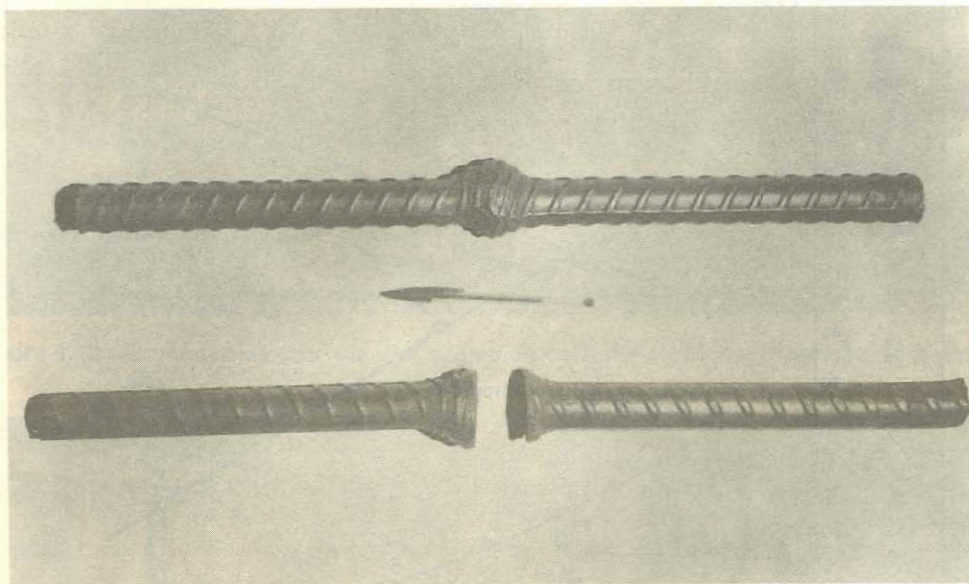


Figura 8.75 - Solda de topo por caldeamento, obtidas com máquina manual

Emendas mecânicas por fusão de mistura metálica

Nesse sistema a emenda é feita por meios mecânicos. É utilizado nesse caso a rugosidade das barras a serem emendadas. Em termos básicos seria como a ação da rosca dos parafusos e porcas.

Para a realização desse tipo de emenda várias opções e processos se apresentam, como se segue:

- Processo por preenchimento do espaço entre luva e as barras com metal fundido (Cadweld Erico).

Para a execução dessa emenda as barras são colocadas topo a topo dentro de uma luva. As extremidades da luva são vedadas com asbestos. Através de um recipiente semelhante a um cadinho refratário, funde-se uma mistura que em estado líquido preenche os vazios entre as nervuras das barras e da luva.

Neste processo utiliza-se uma luva envolvendo as barras na região da emenda. O espaço compreendido entre a luva e as barras é preenchido por uma mistura metálica fundida, que após solidificar-se irá promover a ligação da luva com as barras de aço. Este processo é indicado para emendas de barras com diâmetros superiores a 12,5 mm e que não sejam lisas.

Na execução dessas emendas os principais cuidados a serem observados devem ser os seguintes:

- O metal de enchimento deve preencher totalmente o espaço entre as extremidades das barras, bem como o espaço compreendido entre as mossas das barras e as ranhuras da luva e emenda.
- A luva da emenda deve ter seção transversal, comprimento e resistência adequadas.
- O metal de enchimento deve apresentar composição química que não provoque alterações nas características físico-químicas das barras, a serem emendadas sob ação de temperaturas elevadas.

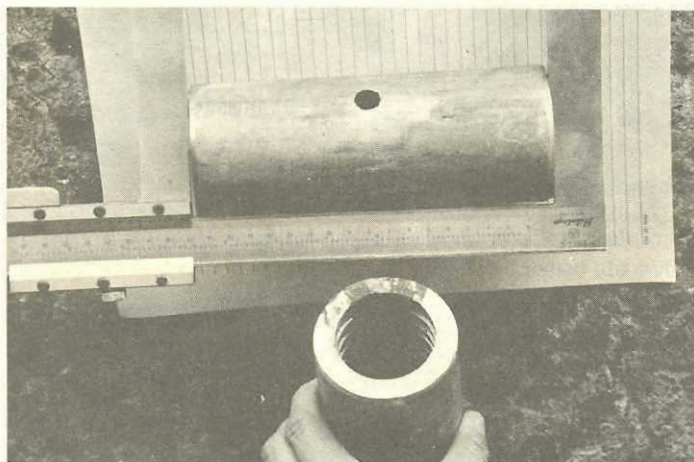


Figura 8.76 - Tubo-luva para emenda mecânica por fusão de mistura metálica

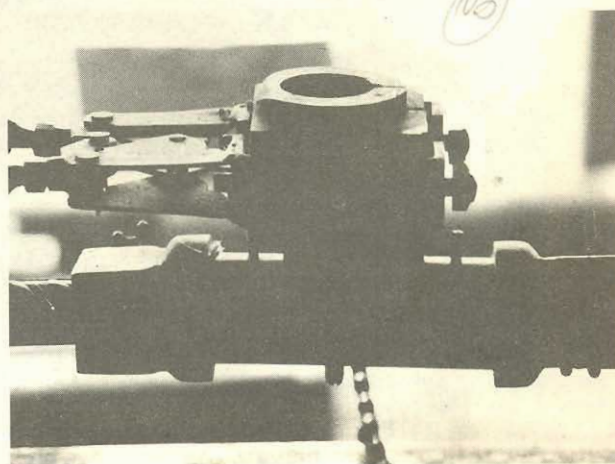


Figura 8.77 - Preparativos para execução de emendas com luva preenchida com metal - Itaipu



Figura 8.78 -Emendas com luvas Cadweld-Érico - Itaipu

A Figura 8.79 mostra um corte longitudinal da situação em que se apresentam as barras, metal fundido entre a luva e a barra.

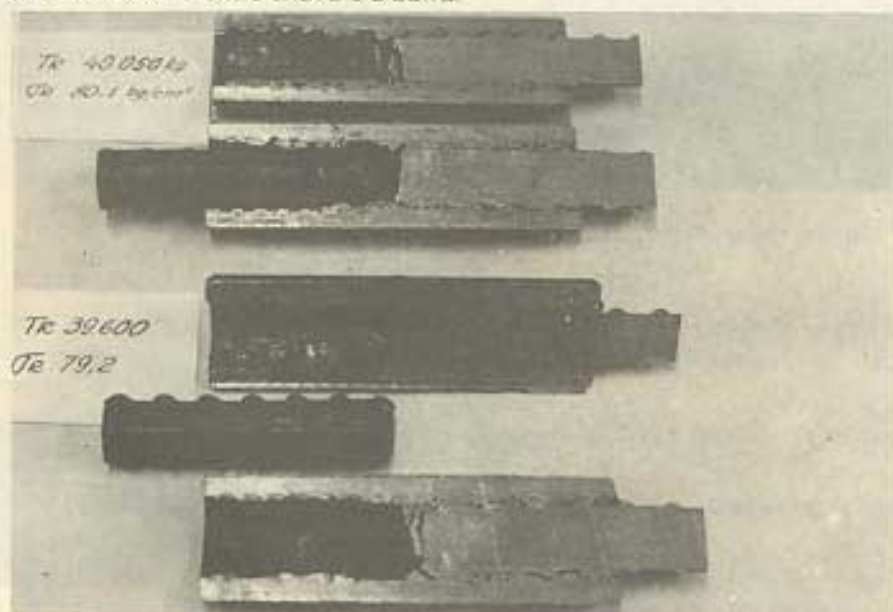


Figura 8.79 - Ilustração do preenchimento entre as nervuras da luva e das barras - Itaipu

É importante para esse tipo de emenda que as barras tenham grande rugosidade, pois caso contrário pode haver deslizamento das barras.

Com base nas informações de ensaios (ver Figuras 8.79 e 8.81) pode-se dimensionar o comprimento das luvas, adequadas às rugosidades das barras, de modo a atender os requisitos técnicos.

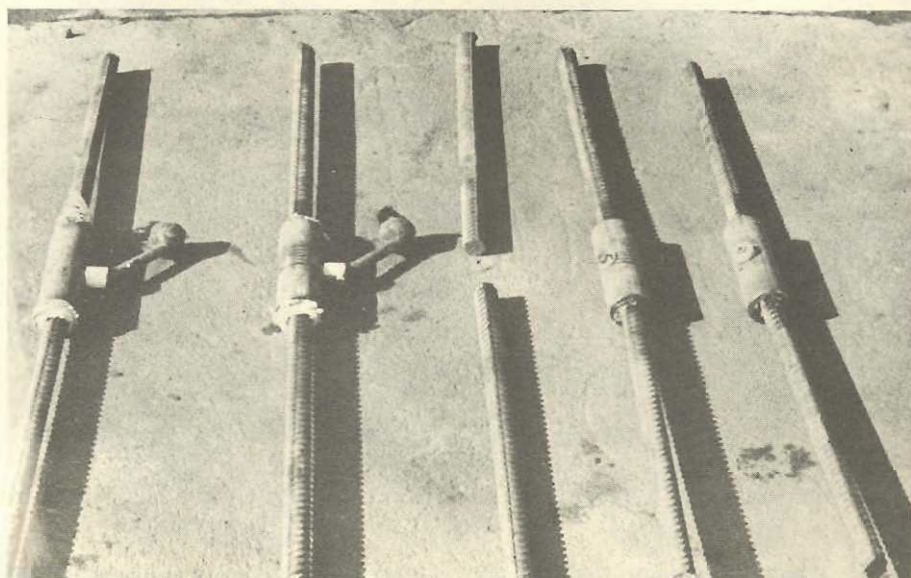


Figura 8.80 - Emenda obtida pela fusão de mistura metálica dentro da luva e que garante a ligação entre a luva e a barra de aço - Água Vermelha

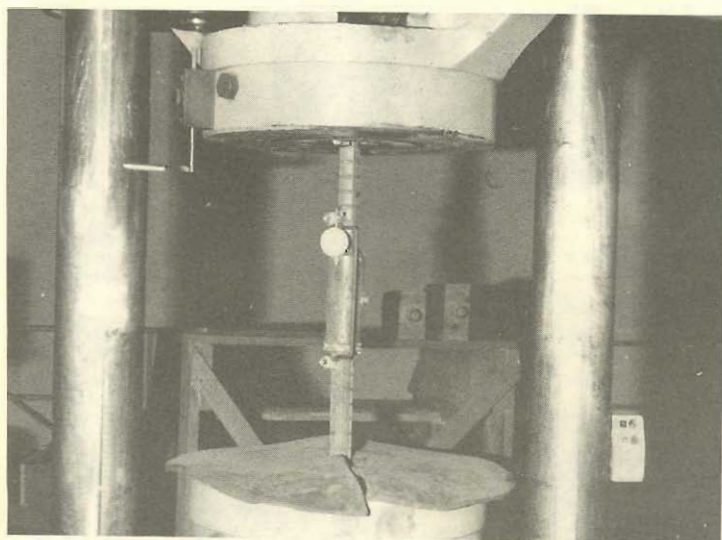


Figura 8.81 - Ensaio de tração em emenda, com luva preenchida com metal, tomando-se medidas das deformações para verificação de escorregamento das barras emendadas - Itaipu

- Processo com luva prensada contra as nervuras das barras (C.C.L.)

Nesse tipo de emenda um tubo-luva é comprimido diametralmente através de uma prensa hidráulica que o deforma contra as nervuras das barras a serem emendadas.

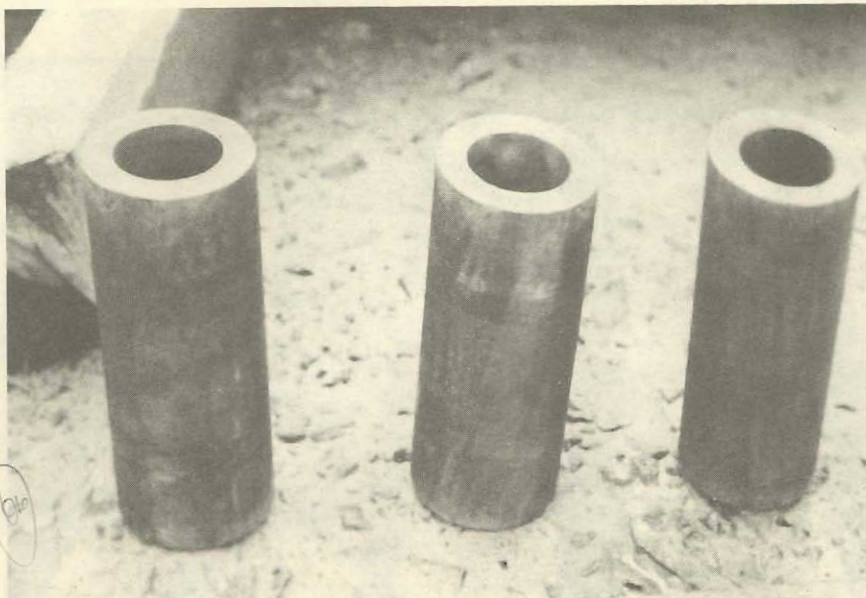


Figura 8.82 - Tubos-luva para execução de emenda tipo CCL

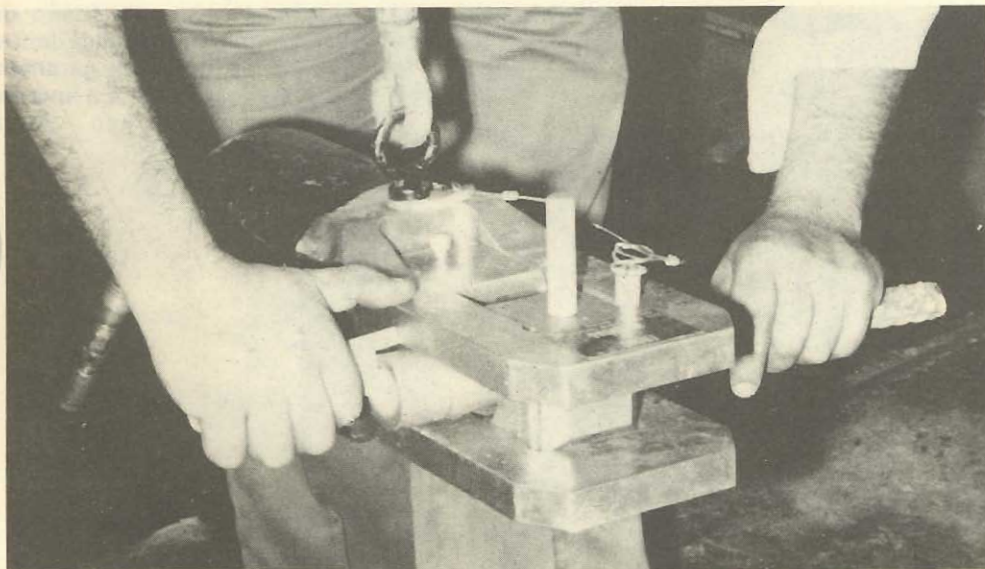


Figura 8.83 - Execução (de uma amostra) da emenda pela prensagem da luva - Itaipu

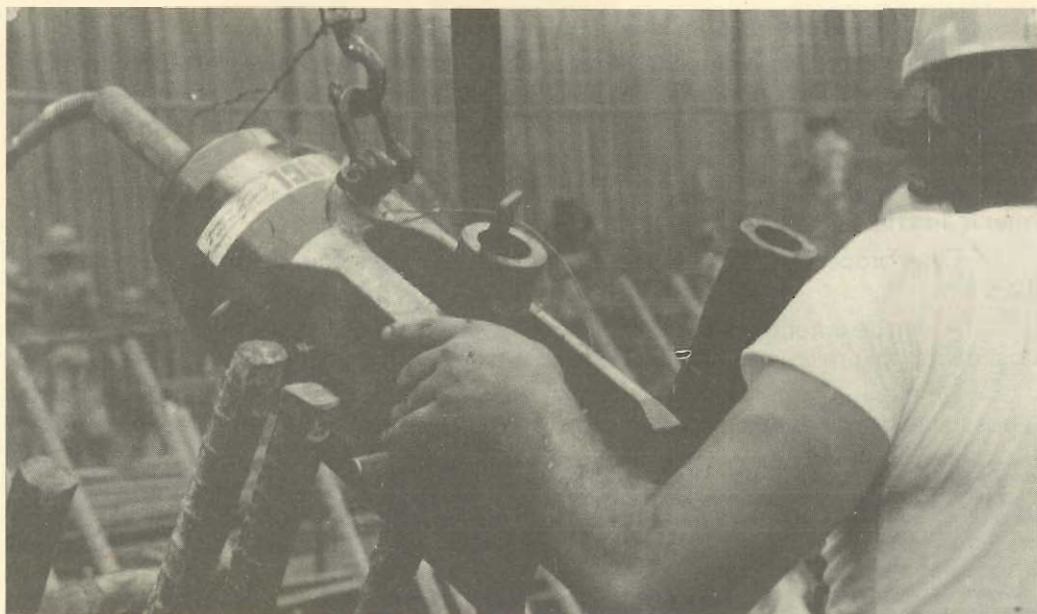


Figura 8.84 - Equipamento posicionado para execução de emenda prensada "IN SITU"
-Itaipu

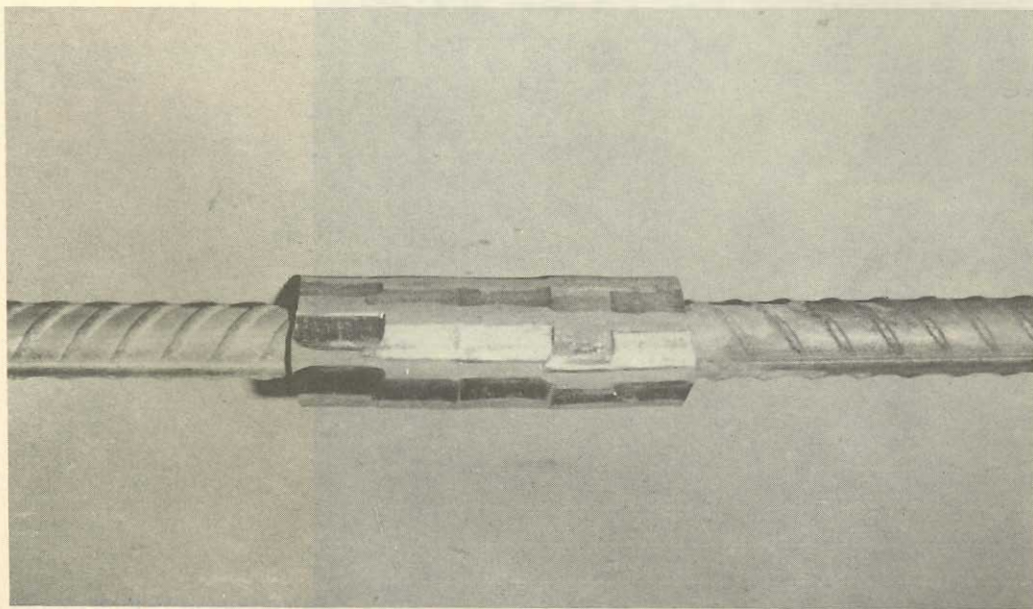


Figura 8.85 - Emenda obtida pela prensagem da luva contra a barra de aço, obtendo assim a conexão das peças - Água Vermelha

- Processo com luva rosqueada e prensada (C.C.L.)

Nesse processo a emenda é executada pela compressão de dois tubo-luva (um em cada barra a ser emendada) através de prensagem contra as nervuras das barras, sendo que apenas a metade do tubo é prensado, ficando a outra metade livre, com rosca interna.

Após a primeira prensagem, as barras são unidas pela colocação de uma união rosqueada nas partes livres das luvas.

Esse processo é indicado para emendas de barras com diâmetros superiores a 12,5 mm.

A luva de emenda deve ter seção transversal, comprimento e resistência adequados, de modo que a barra emendada atenda às exigências especificadas.

Da mesma forma que a luva, o comprimento das roscas executadas nas barras e nas luvas deve ser tal que o conjunto emendado atenda os requisitos especificados.



Figura 8.86 - Situação da execução de emenda prensada em armadura de espera - Itaipu

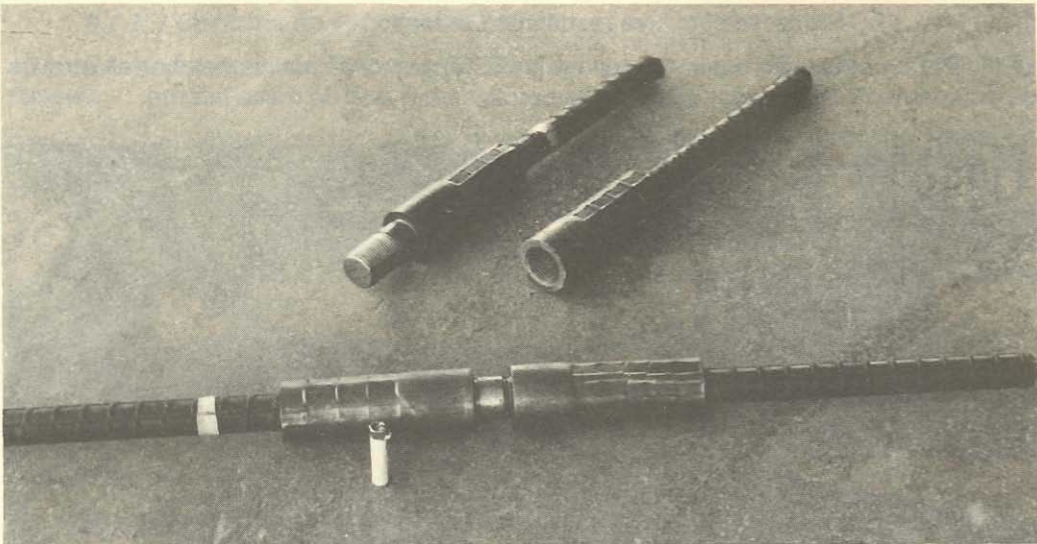


Figura 8.87 - Emenda rosqueada, com luva prensada - Itaipu

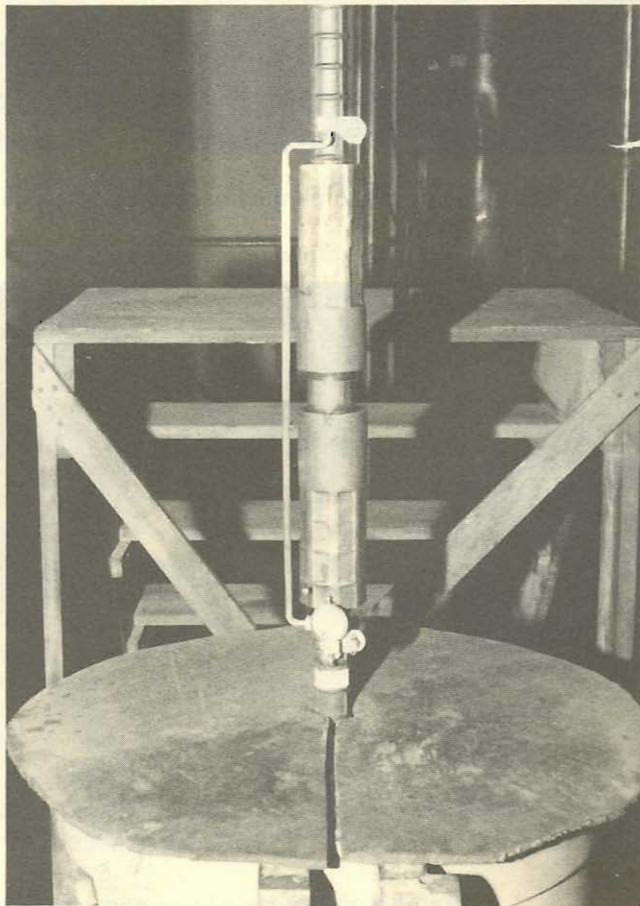


Figura 8.88 - Ensaio de deformação da emenda, à tração a fim de avaliar e dimensionar o comprimento das emendas - Itaipu

- Processo com luva rosqueda (Lenton)

Para a execução desse tipo de emenda, faz-se rosca cônica nas barras através de equipamento adequado, e une-se as barras com a luva de rosca interna.

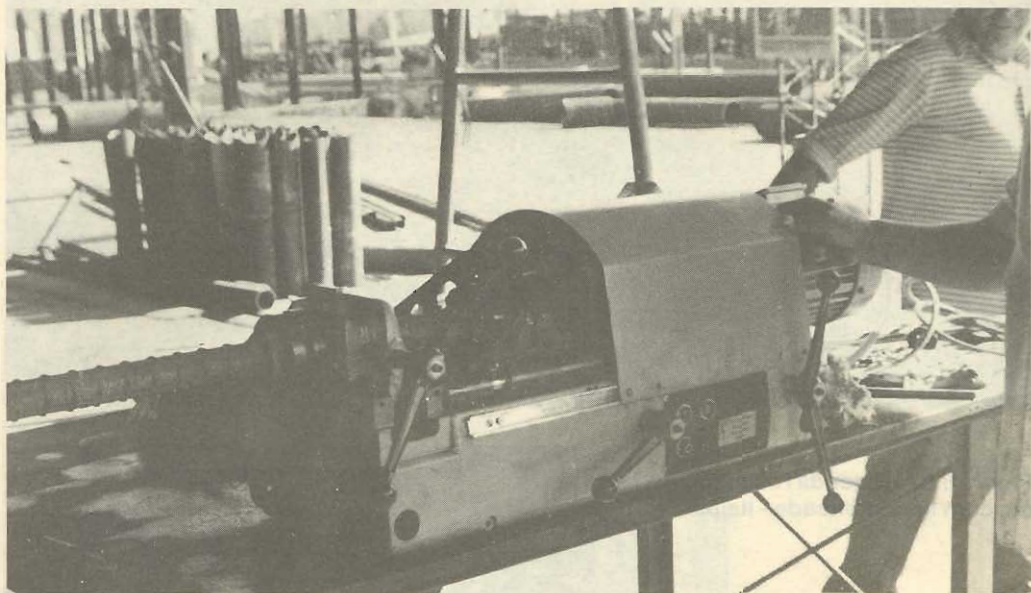


Figura 8.89 - Equipamento para confecção da rosca cônica na extremidade das barras - Itaipu

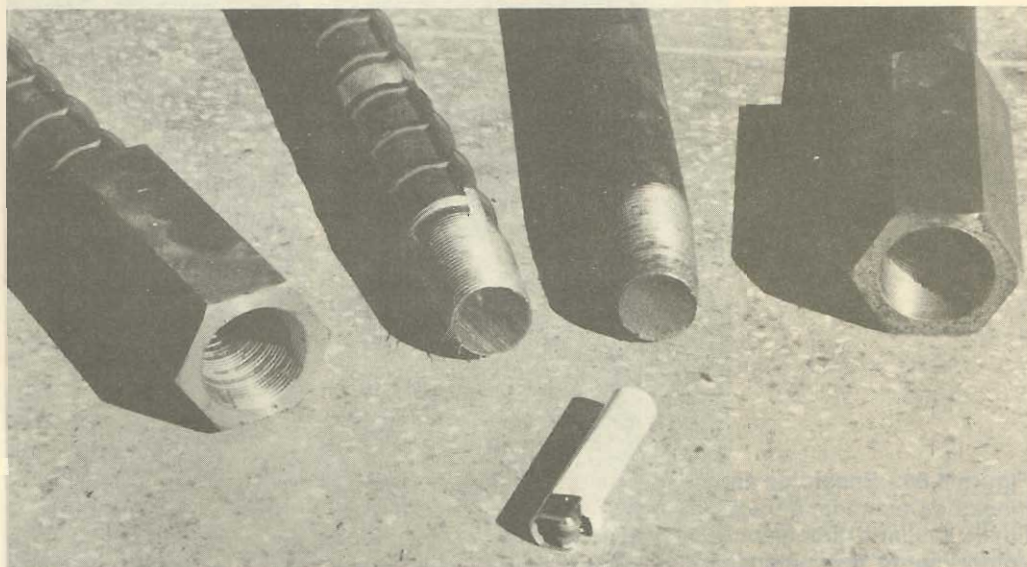


Figura 8.90 - Barras e luvas com cavidades cônicas - Itaipu

8.7.2.3 Controle do Processo Executivo

Para o controle do Processo de Execução, podem ser seguidos os seguintes passos:

- Antes da execução da emenda deve-se inspecionar as barras e verificar as condições do perfil em relação ao tipo de emenda que irá ser executada.
- As barras a serem emendadas deverão ser alinhadas corretamente, e posicionadas conforme as prescrições específicas para cada tipo de emenda.
- Os operadores das máquinas deverão ser devidamente preparados.
- As superfícies de contacto das barras a serem emendadas deverão estar isentas de quaisquer materiais que prejudiquem uma boa ligação; atenção especial deve ser dada para eliminação completa da ferrugem nas extremidades de contacto.
- Os cortes das barras devem ser sempre feitos a frio.
- O local da execução das emendas deve ser abrigado das intempéries.

Para soldas executadas na estrutura, dependendo do tipo utilizado (emenda por prensagem de luva, rosca, etc.) não há necessidade de proteção.

Nas emendas realizadas a quente, o resfriamento subsequente deverá ser gradual, evitando-se quedas bruscas.

Deve-se, portanto, tomar precauções afim de evitar o contato desta emenda com as superfícies frias e úmidas.

- Recomenda-se manter um espaçamento mínimo entre as soldas de 1,50 m.

Para execução do controle de qualidade, recomenda-se observar o método MB-857 da ABNT e as indicações transcritas a seguir:

Fases do Controle

O controle deve ser executado em duas fases, sendo:

- 1) A primeira fase corresponde à avaliação do processo de execução da emenda, do desempenho do operador e da máquina;
- 2) A segunda fase corresponde ao controle da aplicação da emenda.

Observa-se que sempre que houver uma alteração do processo de execução ou substituição do operador deve-se refazer o controle da primeira fase.

Amostragem

Para o controle da primeira fase a amostra constará de 6 segmentos com emendas (6 emendas) e 4 segmentos não emendados, para comparação, conforme Figura 8.91.

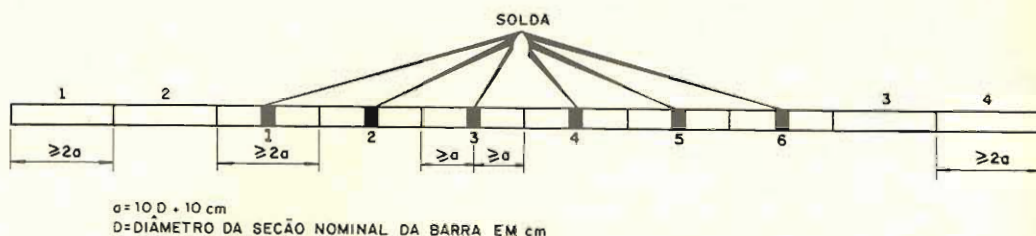


Figura 8.91 - Amostras para avaliação do processo solda e operador

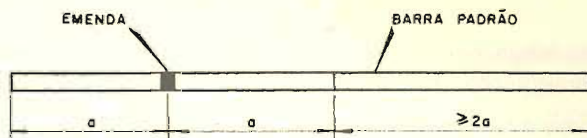
Para o controle de aplicação recomenda-se formar lotes, conforme indicado na Figura 8.92. Este critério deve ser adotado no início da aplicação do processo. Após o conhecimento das variações inerentes de cada processo, o número de emendas soldadas de cada lote pode ser aumentado, porém, nunca ultrapassando 50 soldas por lote.

TIPO DE EMENDA	NÚMERO DE EMENDAS PARA A FORMAÇÃO DE UM LOTE	
	AÇO CA 25	AÇO CA 50
Solda por Transpasse	15	10
Solda com Barras Justapostas	20	15
Topo com Eletrodo	20	10
Topo por Caldeamento	20	20
Conectores Mecânicos	20	20
Com Cobre juntas de Cantoneira	20	15

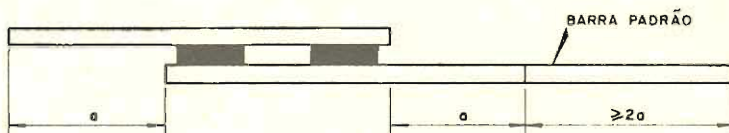
Figura 8.92 - Número de amostras para formação de lotes de soldas

De cada lote deve ser coletada uma amostra.

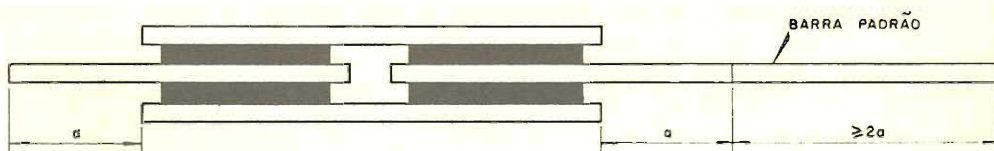
Essas amostras serão representadas por corpos de prova, constituídos de um segmento emendado e um segmento sem emendas (caso já se tenha testado a barra de aço, que está sendo emendada, o segmento sem emenda pode ser dispensado) e deverão ter as dimensões indicadas nas Figuras 8.93.



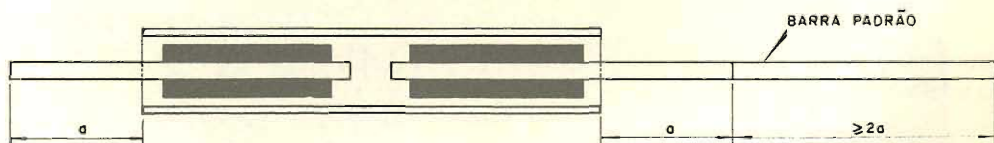
A - Emendas de topo



B - Emendas por transpasse com solda



C - Emendas por barras justapostas



D - Emendas com cobrejuntas de cantoneiras

Figura 8.93 - Dimensões dos corpos de prova de emendas

Os corpos de prova não necessitam ser usinados para ensaio e deverão ser identificados com as seguintes indicações:

- Classe e categoria do aço.
- Bitola de aço.
- Processo de emenda.
- Nome do operador.
- Condições de limpeza.
- Tensão e intensidade da corrente elétrica.
- Tipo, diâmetro, revestimento e fabricante do eletrodo.
- Quantidade de eletrodo usado por solda.
- Temperatura de préaquecimento quando exigido.
- Posição de soldagem.
- Polaridade.
- Data de execução da emenda.
- Tipo de resfriamento ou tratamento, quando houver.

Ensaaios

Os corpos de prova deverão ser ensaiados à tração, de acordo com o método da NBR - 6152 da ABNT, determinando-se somente a resistência à ruptura dos segmentos sem emendas e emendados. Observa-se que em emendas com luvas (conectores mecânicos) podem ocorrer deformações excessivas, e portanto recomenda-se que seja determinado a curva tensão-deformação para os segmentos emendados e aqueles sem emenda.

Os ensaios de tração e dobramento nos segmentos dos corpos de prova sem emenda, poderão ser dispensados, caso o lote de onde foram retiradas as barras para emenda, tenha sido aprovado previamente.

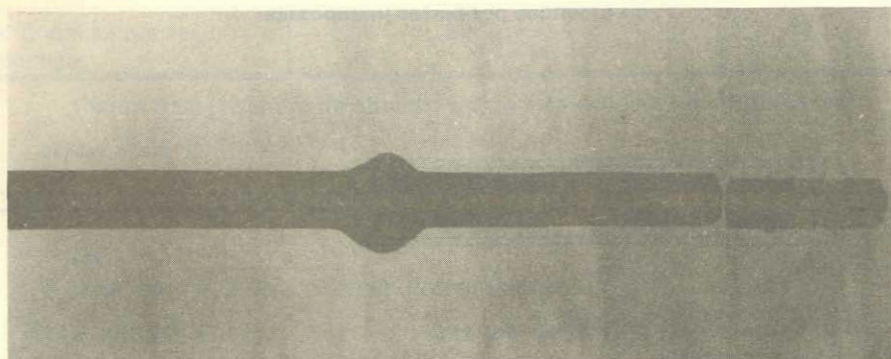


Figura 8.94 - Emenda por caldeamento notando-se a marca da sapata no local de ruptura - Água Vermelha

Após a execução do ensaio a tração, o corpo de prova deve ser inspecionado e verificado, principalmente, o local de ruptura da solda. Em alguns tipos de soldas, a ruptura se localiza fora da região da solda, e, mesmo assim, apresentam valores de resistência na ruptura, abaixo daquele apresentado pelo aço sem solda (Figuras 8.94 e 8.95). Nas emendas por caldeamento este fenômeno ocorre normalmente no local em que máquina de solda fixa a barra (sapata da máquina). Nas emendas obtidas por deposição de eletrodos, este fenômeno ocorre tão logo no final do cordão de solda, que corresponde a uma região da barra entre a parte que sofreu um elevado aquecimento.

Esta região normalmente é denominada de transição.

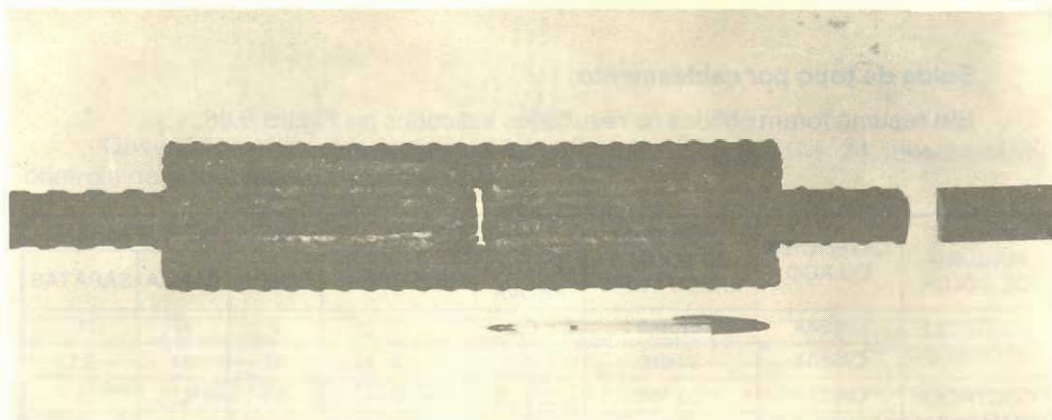


Figura 8.95 - Emenda tipo "Bacalhau" - Ruptura na região de Transição - Água Vermelha

As amostras devem atender aos requisitos especificados pela NBR-6118 da ABNT, sendo que o quociente entre a resistência à ruptura, obtida no ensaio, e a resistência ao escoamento nominal, respectivamente à categoria do aço que foi soldado, deve ser maior ou igual que os seguintes limites:

- 1,2 para o aço classe B, se a ruptura se der na solda ou em uma seção distante menor que 3D (diâmetro) do centro da solda;
- 1,1 para o aço classe B, se a ruptura se der fora deste trecho;
- 1,2 para o aço classe A, em qualquer caso.

Nas emendas com luvas os alongamentos devem ser limitados, relativamente ao alongamento da barra sem emenda, e em função das condições de trabalho projetada para a estrutura.

Um valor que tem sido adotado é que o alongamento, determinado na emenda e correspondente a uma carga de até 70% da resistência ao escoamento, não deve ser superior àquele determinado na barra sem emenda.

O lote será aceito quando:

- O segmento sem emenda apresentar no ensaio de tração, resultados que atendam as exigências da NBR-7480 da ABNT, caso este ensaio não seja dispensado conforme mencionado acima.

- O segmento emendado apresentar, no ensaio de tração, resistência convencional de ruptura, de acordo com os limites indicados acima.
- Caso todos os corpos de prova da nova amostra apresentem resultados satisfatórios, o lote será aceito.
- Caso um dos exemplares da nova amostra apresente resultados não satisfatórios, o lote será recusado.

Nas Figuras a seguir, são apresentados resultados do controle de qualidade obtido para os vários processos de soldas utilizados na obra de Água Vermelha - CESP[8.7].

Solda de topo por caldeamento.

Em resumo foram obtidos os resultados indicados na Figura 8.96.

TIPO DE MÁQUINA DE SOLDA	CATEGORIA DO AÇO	NÚMERO DE SOLDAS EXECUTADAS	% DE SOLDAS		LOCAL DE RUPTURA %		
			CONTRA PROVA	REJEITADAS	SOLDA	BARRA	SAPATAS
CONTROLE AUTOMÁTICO	CA-24A	67.440	0	0	2	97	1
	CA-50A	30.060	8	3	37	42	21
CONTROLE MANUAL	CA-24A	20.160	4	0	51	47	2
	CA-50A	1.480	24	22	50	28	22

Figura 8.96 - Resumo do controle de qualidade da obra de Água Vermelha - CESP para solda por caldeamento[8.7]

Pode-se observar com base nesses dados que:

- O processo de solda por caldeamento é eficiente para aços CA-24 desde que a máquina de solda tenha controle automático, podendo, entretanto, ser utilizada a máquina sem o controle automático, porém não é recomendada.
- Para aços da categoria CA-50A é conveniente a utilização de máquinas de solda com controle automático e mesmo assim deve-se realizar um controle rigoroso durante a execução.

Observa-se também que a performance deste processo depende do teor de carbono no aço e que para bitolas maiores o processo apresenta-se menos eficiente.

Solda com cobrejunta.

Em resumo foram obtidos os resultados indicados na Figura 8.97.

TIPO DE COBREJUNTA	CATEGORIA DO AÇO	NÚMERO DE SOLDAS EXECUTADAS	% DE SOLDAS		LOCAL DE RUPTURA %		
			CONTRA PROVA	REJEITADAS	SOLDA	BARRA	SAPATAS
TARUGO DE AÇO	CA-24A	2.860	2	0	9	81	10
CANTONEIRAS	CA-24A	1.590	1	0	7	93	0

Observa-se que estes processos são eficientes para aço CA- 24, mesmo sem o controle do aquecimento e resfriamento.

[illegible]

Figura 8.98 - Solda de topo por caldeamento em Aço CA-24, executada em máquina com controle automático de soldagem - Obras de Água Vermelha

BITOLA (mm)	NÚMERO DE LOTES					% DE LOTES		RUPTURA		LOCAL DE RUPTURA(%)			MÉDIA		DESVIO PADRÃO		COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	
	TESTADOS	NÚMERO DE SOLDAS	CONTRA- PROVA	CONDE- NADOS	NÚMERO SOLDA COND.	CONTRA- PROVA	CONDE- NADOS	TENSÃO MÍNIMA (kgf/mm ²)	TENSÃO MÁXIMA (kgf/mm ²)	SOLDA	BARRA	SAPATA	ESCOAM.	RUPTURA	ESCOAM.	RUPTURA	ESCOAM.	RUPTURA
10	12	240	-	-	-	-	-	70,3	90,0	17	83	-	54,8	80,4	-	5,6	-	7,6
12,5	15	300	-	-	-	-	-	67,5	91,5	13	74	13	56,1	80,2	1,0	6,5	-	7,9
16	33	660	-	-	-	-	-	56,2	94,0	52	39	9	58,8	82,4	3,2	6,9	5,2	8,4
20	71	1420	16	6	120	23	9	19,0	96,0	37	34	29	52,7	71,3	1,8	9,4	3,4	13,5
25	1368	27360	100	28	560	7	2	41,8	95,0	33	45	22	53,3	77,5	1,7	6,9	3,2	9,1
32	454	9080	35	11	220	8	2	40,0	84,5	49	31	20	55,0	71,0	2,4	4,8	4,3	6,8
SOMATÓRIA						RESULTADOS MÉDIOS PONDERADOS												
	1953	39060	151	45	900	7,6	2,2	19,0	96,0	36,9	41,7	21,4	53,7	75,9	1,9	6,5	3,5	8,7

8.99 - Solda de topo por caldeamento em Aço CA-50A, executada em máquina com controle automático de soldagem - Obra de Água Vermelha

BITOLA (mm)	NÚMERO DE LOTES					% DE LOTES			RUPTURA		LOCAL DE RUPTURA(%)			MÉDIA		DESVIO PADRÃO		COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	
	TESTADOS	NÚMERO DE SOLDAS	CONTRA PROVA	CONDE- NADOS	NÚMERO SOLDA COND.	CONTRA PROVA	CONDE- NADOS	TENSÃO MÍNIMA (kgf/mm²)	TENSÃO MÁXIMA (kgf/mm²)	SOLDA	BARRA	SAPATA	ESCOAM.	RUPTURA	ESCOAM.	RUPTURA	ESCOAM.	RUPTURA	
12,5	4	160	-	-	-	-	-	51,4	59,2	25	50	25	40,0	55,3	3,7	2,8	9,8	5,1	
25	19	760	-	-	-	-	-	35,0	45,2	11	89	-	28,7	41,1	1,1	2,5	3,8	6,2	
40	31	1240	2	-	-	7	-	9,6	58,4	78	22	-	31,9	43,3	2,4	7,0	7,4	16,6	

8.100 - Solda de topo por caldeamento em Aço CA-24, executada em máquina com controle manual de soldagem - Obra de Água Vermelha

BITOLA (mm)	NÚMERO DE LOTES					% DE LOTES		RUPTURA		LOCAL DE RUPTURA(%)			MÉDIA		DESVIO PADRÃO		COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	
	TESTADOS	NÚMERO DE SOLDAS	CONTRA PROVA	CONDE- NADOS	NÚMERO SOLDA COND.	CONTRA PROVA	CONDE- NADOS	TENSÃO MÍNIMA (kgf/mm ²)	TENSÃO MÁXIMA (kgf/mm ²)	SOLDA	BARRA	SAPATA	ESCOAM.	RUPTURA	ESCOAM.	RUPTURA	ESCOAM.	RUPTURA
12,5	34	680	4	4	80	12	12	25,6	95,8	33	33	34	53,4	72,3	9,5	18,6	17,8	25,8
25	24	480	4	2	40	17	8	26,0	84,0	42	40	18	53,3	70,9	1,1	10,0	2,1	15,2
32	16	320	10	10	200	63	63	11,3	82,0	98	-	2	52,4	67,7	3,0	15,9	11,1	51,8
	SOMATÓRIA					RESULTADOS MÉDIOS PONDERADOS												
	74	1480	18	16	320	24	22	11,3	95,8	50	28	22	53,2	70,8	5,4	15,2	11,3	28,0

8.101 - Solda de topo por caldeamento em Aço CA-50A, executada em máquina com controle manual de Soldagem - Obra de Água Vermelha

[illegible]

8.102 - Solda com cobrejunta tipo bacalhau em Aço CA-24, executada sem controle de temperatura - Obra de Água Vermelha

Outro dispositivo utilizado com menor frequência é o veda-junta metálico.

8.7.3.1 Controle de Liberação na Fonte

Inspeção

O material deve ser inspecionado e verificada a homogeneidade geométrica do perfil, a existência de bolhas e outras imperfeições.

A cada 60 m de veda-junta acabado deve ser coletada uma amostra de no mínimo 30 cm.

No caso de emendas, as amostras devem ser retiradas transversalmente à emenda.

Ensaaios

Cada amostra de veda-junta acabado deve ser ensaiada na condição natural e nas condições de envelhecimento estabelecidas nos métodos de ensaios abaixo indicados. Nestas condições será possível comparar as características do material no seu estado natural e após sofrer um envelhecimento acelerado, através de possíveis variações na resistência à tração, alongamento na ruptura, dureza e peso.

- Determinação da resistência à tração.
- Determinação do alongamento na ruptura.
- Determinação da dureza (Shore).
- Extração acelerada.
- Efeito álcalis.

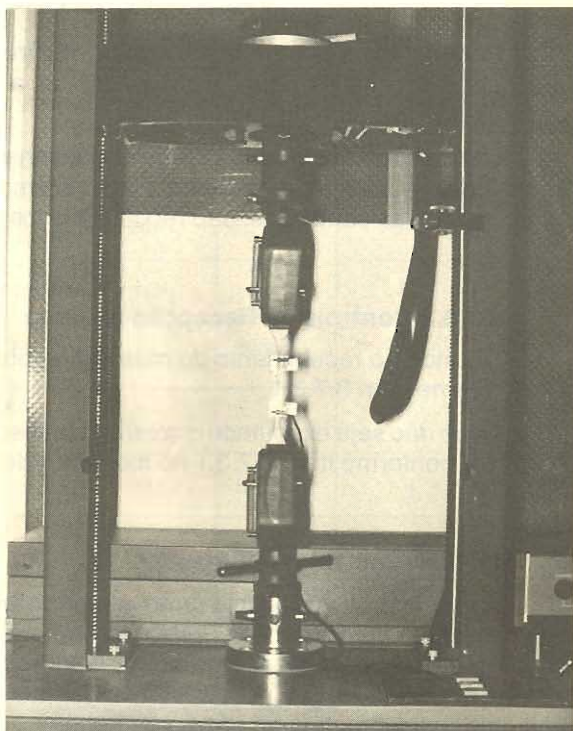


Figura 8.105 -Ensaio de alongamento na ruptura - Itaipu

A maior parte do alongamento que o veda-junta estará sujeito, quando de sua atuação na estrutura, é absorvida pela forma com que o perfil é projetado. Assim sendo, normalmente são produzidos perfis denominados "O" e "M", cuja parte central é em forma de "O" ou "M", de maneira a absorver determinado alongamento.

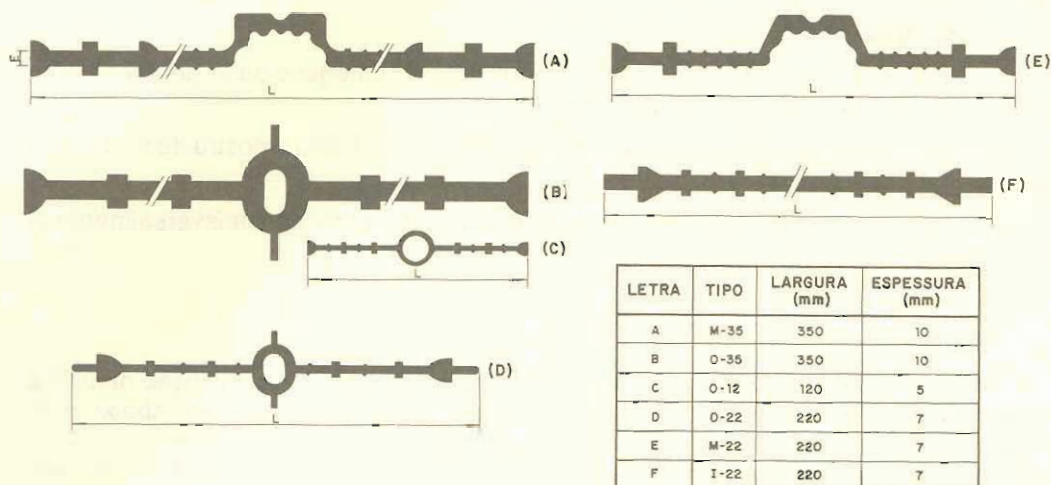


Figura 8.106 - Tipos de Perfis de veda-junta

Para se ensaiar o perfil em sua forma final e às condições de projeto a que ele será submetido na estrutura, recomenda-se a realização de ensaios simulando às condições de trabalho da mesma.

Caso sejam observadas irregularidades na característica do veda-junta acabado, recomenda-se que seja ensaiado material em lençol, isto é, antes do processo de extrusão. Nestas condições, são recomendados os ensaios acima indicados.

8.7.3.2 Controle de Recepção na Obra

Quando do recebimento do material na obra recomenda-se executar uma inspeção conforme item 8.7.3.1.

Caso não seja executado o controle de liberação na fonte, recomenda-se executar o controle conforme item 8.7.3.1 no momento do recebimento na obra.

8.7.3.3 Controle da Emenda

A emenda do veda-junta deve ser executada conforme procedimentos indicados pelo fabricante do mesmo. No início da aplicação do processo devem ser executadas amostras-ensaio para aferir o processo e operador. Estas amostras devem ser submetidas ao ensaio de tração. A cada vinte emendas executadas na obra, deve ser coletada uma amostra submetida ao ensaio de tração.

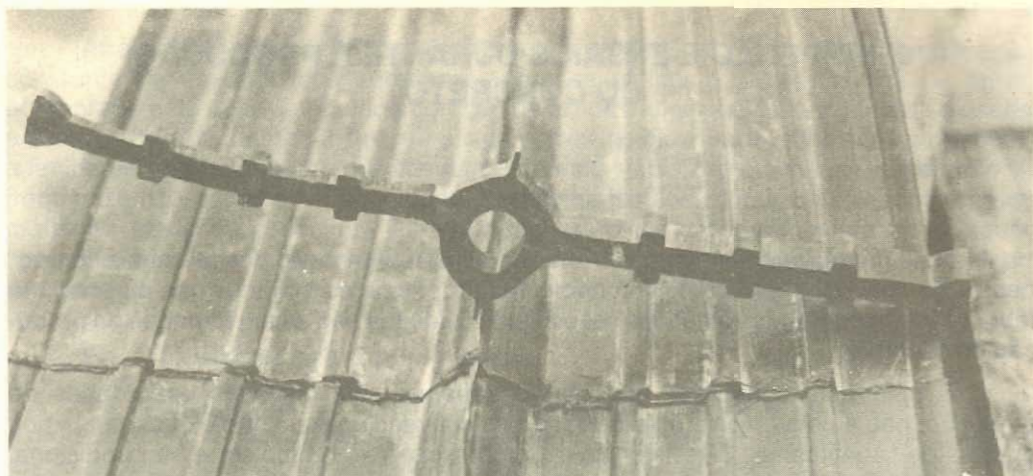


Figura 8.107 - Veda-junta emendado

Recomenda-se que, para aceitação do lote, as amostras devem apresentar resultados que atendam aos limites indicados na Figura 8.108. Caso contrário recomenda-se a coleta de uma contra prova. Se a contraprova apresentar resultados que atendam aos limites recomendados, o lote deve ser aceito; caso contrário será rejeitado.

CONDIÇÃO DO MATERIAL	CARACTERÍSTICA	LIMITE	UNIDADE	LIMITES RECOMENDADOS
NATURAL	TENSÃO DE TRAÇÃO	MÍN.	kgf/cm ²	120
	ALONGAMENTO NA RUPTURA	MÍN.	%	280
	VARIAÇÃO DA DUREZA	-	SHORE	80 ± 5
EXTRAÇÃO ACCELERADA	TENSÃO DE TRAÇÃO	MÍN.	kgf/cm ²	103
	ALONGAMENTO NA RUPTURA	MÍN.	%	260
	VARIAÇÃO DA DUREZA	-	SHORE	± 5
EFEITO ÁLCALIS	VARIAÇÃO DE MASSA APÓS 7 DIAS	-	%	ENTRE 0,10% E 0,25%
	VARIAÇÃO DE DUREZA	MÁX.	SHORE	± 5
EMENDA	TENSÃO DE TRAÇÃO	MÍN.	kgf/cm ²	70
MATERIAL EM LENÇOL	TENSÃO DE TRAÇÃO	MÍN.	kgf/cm ²	123
	ALONGAMENTO NA RUPTURA	MÍN.	%	350

Figura 8.108 - Limites recomendados para veda-junta executado à base de Cloreto de Polivinila (PVC) [8.8]

9. INSPEÇÃO E ENSAIOS DURANTE A PRODUÇÃO DO CONCRETO

Todo o programa de estudos básicos para caracterização dos materiais componentes do concreto, bem como o controle das propriedades dos mesmos durante sua fabricação ficariam comprometidos caso alguns cuidados não sejam tomados na produção do concreto.

É importante considerar que, ao se trabalhar com elevadas velocidades de produção, não é conveniente ficar calcado nos convencionais controles baseados nos ensaios de "Abatimento", "Resistência a Compressão Axial Simples" e seu tradicional controle estatístico, pois sob elevadas velocidades de produção de concreto, bem como pelas características e formas de estrutura, pouco ou quase nada valeria detectar uma resistência abaixo dos valores aceitáveis, após 3 ou 7 ou 28 dias, cuja correção acarreta providências fatalmente onerosas.

A partir dos anos 70, preocupados então com essa dinâmica de produção, as equipes de controle de qualidade, no Brasil, procuraram adotar esquemas e rotinas de controle de modo a conviver com a menor possibilidade de eventos adversos à uniformidade do concreto.

Os esquemas e rotinas aqui sugeridos foram agrupados a partir dos controles adotados pelas equipes de controle de qualidade das maiores obras em concreto massa no Brasil, considerando também as referências existentes, de âmbito internacional.

A fim de acompanhar a dinâmica de produção é aconselhável um esquema de controle de modo a conviver com a menor possibilidade de eventos adversos à uniformidade do concreto.

O controle adotado durante a produção de concreto deve englobar duas etapas básicas: Concreto Fresco e Concreto Endurecido.

9.1 Controle do Concreto Fresco

O controle do concreto fresco, é também conhecido por controle para a uniformidade na produção de concreto e visa produzir concreto com as características necessárias para cada "frente" (local) de aplicação.

Visando produzir concretos com as características necessárias para cada frente de aplicação, devem ser efetuadas em cada central de produção, a intervalos preestabelecidos durante a produção contínua, ensaios de verificação, tais como:

- Temperatura.
- Teor de Ar Incorporado.
- Trabalhabilidade.
- Peso Específico.
- Tempo de Pega.

Através dos ensaios de controle durante a produção do concreto e da verificação constante da umidade dos agregados, pode-se efetuar o ajuste do teor de água, porcentagem de aditivo para incorporação de ar, da trabalhabilidade e, ainda, se usada a quantidade de refrigeração (gelo, água gelada ou insuflações de ar frio nos agregados), a fim de se obter a temperatura adequada quando se utilizar concretos refrigerados. A frequência dos ensaios e mais o controle sistemático dos silos-balanças das centrais, mediante aferições periódicas, tornam possíveis a detecção imediata de qualquer anomalia, a tomada das providências decorrentes e conseqüentemente a uniformidade desejada.

9.1.1 Condições dos Equipamentos

Os equipamentos do sistema de produção de concreto devem ser verificados periodicamente. É conveniente que os equipamentos (balanças, dosadores, registradores, tanques, mostradores etc.) sejam inspecionados ao início de cada jornada de trabalho (diariamente ou em cada turno).

As balanças dosadoras, para pesagem dos materiais constituintes do concreto, devem ser aferidas nos períodos de manutenção ou, no mínimo, mensalmente, utilizando-se pesos padrões.

Os processos de medição dos materiais na obra podem ser:

- Volumétricos.
- Gravimétricos.

Medição volumétrica apresenta alta dispersão pelo fato de ser função da densidade aparente que nos materiais granulares sofre grande variação de valores, como é o caso do cimento e dos agregados.

No caso do cimento, a dispersão é tão grande que torna totalmente inadmissível sua medição em volume para concretos estruturais, obrigando a sua medição em sacos inteiros, onde, por força da embalagem industrial adotada, fica garantida a quantidade base de 50 kg líquidos, com a dispersão própria do sistema clássico de ensacamento.

A dispersão dos valores da densidade aparente dos agregados e, em conseqüência, a dispersão de sua medição volumétrica, decorre de duas classes de fatores, a saber:

Fatores Intrínsecos

- Granulometria.
- Diâmetro máximo.
- Forma e rugosidade dos grãos.
- Composição mineralógica.

Fatores Extrínsecos

- Umidade superficial, que ocasiona o fenômeno do inchamento dos agregados miúdos.
- Forma e dimensões dos recipientes de medida.
- Modalidade e energia das operações de enchimento.

Passíveis de sensíveis variações na fase da medições são os fatores extrínsecos, campo onde a influência da mão-de-obra de baixa capacitação é preponderante.

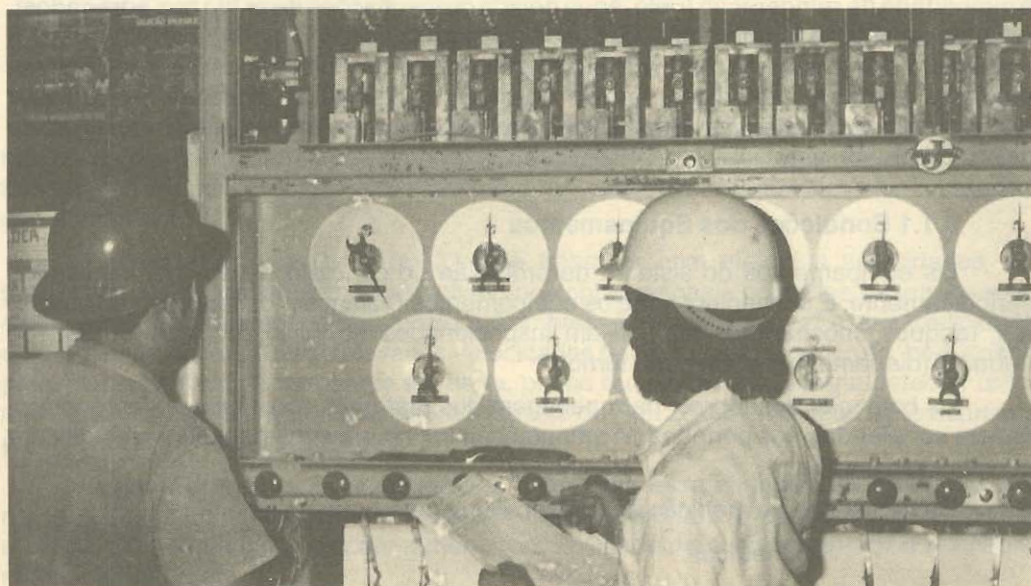


Figura 9.1 - Vista de um conjunto de mostradores analógicos de balanças (centrais Johnson). Indica a pesagem de cada material dos silos-balança - Itaipu

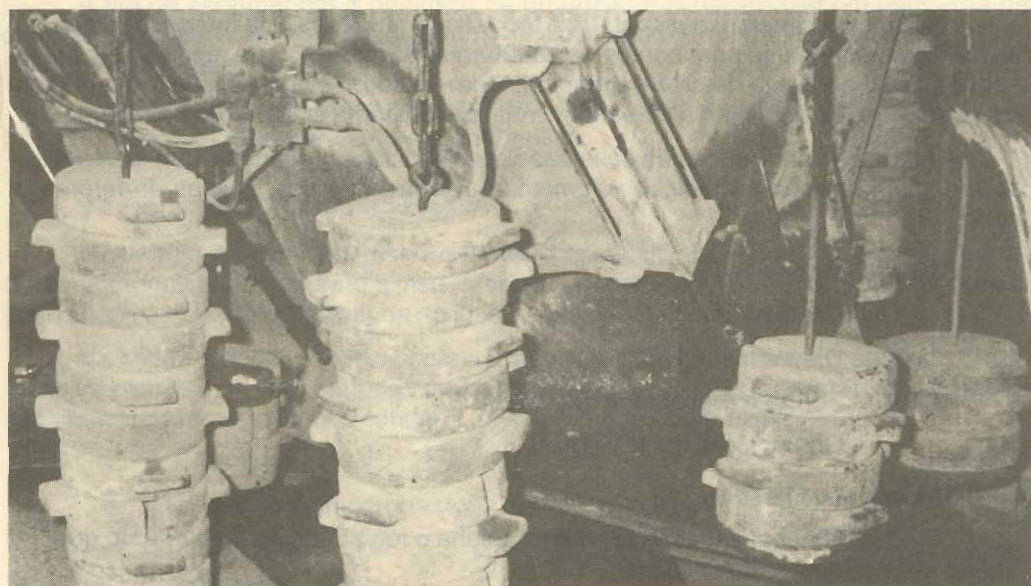


Figura 9.2 - Aferição de silos-balança, com utilização de pesos padrões - Ilha Solteira

A medição gravimétrica independe da densidade aparente dos agregados e, em consequência, elimina as correspondentes dispesões resultantes de sua variação.

Por outro lado, introduz novos fatores de variação, agora relacionados com as operações de pesagem, e que também podem ser agrupados em:

- **Fatores Intrínsecos:** próprios dos dispositivos e equipamentos de pesagem, as balanças.

Esses fatores são: sensibilidade e fidelidade.

- **Fatores Extrínsecos:** próprios dos processos de pesagem adotados, e são: pesagem individual e pesagem cumulativa.

A Sensibilidade (capacidade de registrar pequenas diferenças de massa com precisão) e Fidelidade (capacidade de registrar com dispersão mínima e indefinidamente o valor de uma mesma massa) são características dos equipamentos de pesagem que vêm registrando sucessivos progressos na medição de quantidades cada vez maiores de materiais e com operosidade crescente.

A única forma de garantir a precisão desejada consiste nos trabalhos de manutenção dos equipamentos, acompanhados das indispensáveis operações de aferição, com carga estática e sob regime de alimentação automática.



Figura 9.3 - Betoneira portátil de capacidade 500l, normalmente usada com dosagem em volume

(B)

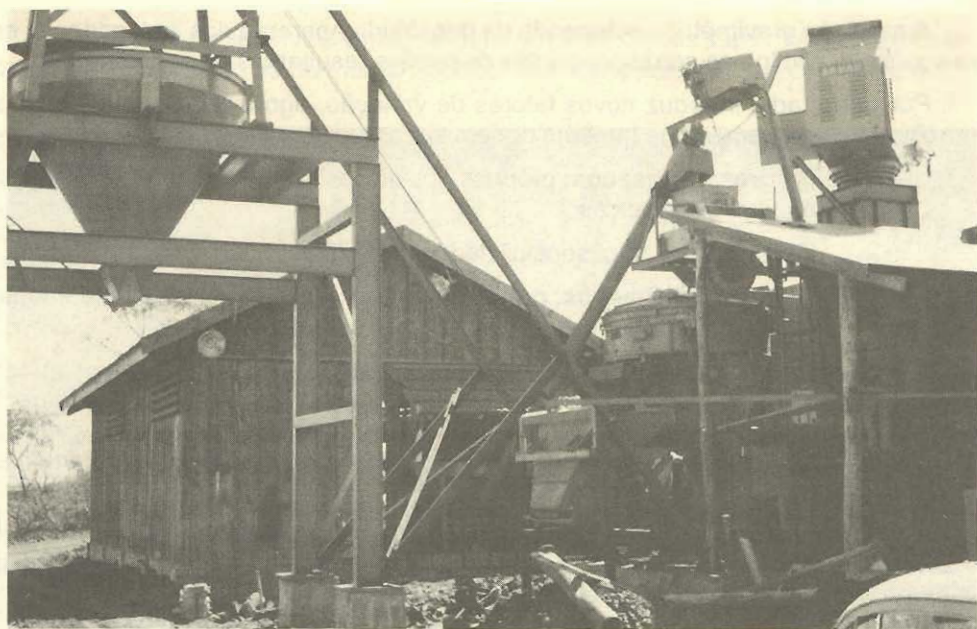


Figura 9.4 - Central de concreto com dosagem em peso, por processo acumulativo. A alimentação da caçamba-balança é feita por uma pá de arrasto - Água Vermelha.

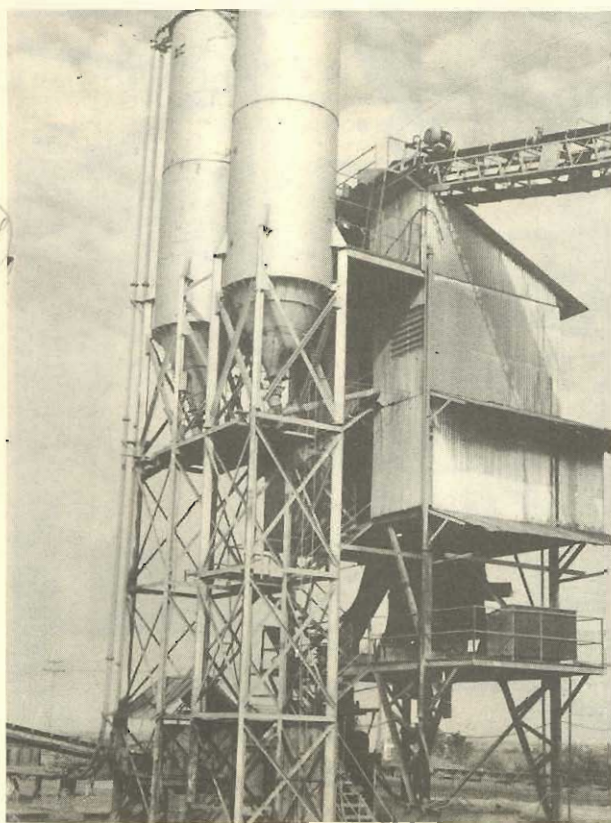


Figura 9.5 - Central de concreto com capacidade de $30 \text{ m}^3/\text{h}$, com alimentação por gravidade. Beteira de eixo vertical. Normalmente usada para concretos com pequeno tamanho máximo ($D \text{ Máx} = 38 \text{ mm}$) - Ilha Solteira

As diferenças básicas dos dois processos de pesagem consistem no fato de o processo de pesagem cumulativa gerar a necessidade de aumento da capacidade de carga do equipamento e, com ele, a redução da sensibilidade e da fidelidade, ou, em contrapartida, levar à sofisticação técnica do equipamento e, em consequência, ao alto custo de sua aquisição, manutenção e operação, trazendo, no entanto, como vantagem principal, o aumento da capacidade de produção.

Por sua vez, o processo de pesagem individual reduz o rendimento, pela necessidade de repetições de pesagens com o mesmo equipamento, por traço efetuado, introduzindo ainda a possibilidade de erro relativo à retenção de materiais da pesada anterior, ou o retardamento das operações para o esvaziamento da caçamba.

Acrescente-se ainda o fato de que, em caso de defeito mecânico do equipamento, o erro resultante se repetirá em todas as pesagens sucessivas, enquanto no processo cumulativo apenas incidirá na faixa de sua ocorrência e apenas uma vez por traço efetuado.

A inspeção de um canteiro de obra de concreto, no que se refere à fase Medição dos Materiais, deve se fixar nas seguintes exigências básicas:

Medição Volumétrica:

- Os traços do concreto deverão ser sempre efetuados para um número inteiro de sacos de cimento, não sendo permitido o reenchimento de sacos, salvo em casos de emergência (de reduzida probabilidade de ocorrência) e sempre medidos em peso.
- O traço em volume adotado deverá ser dosado originalmente em peso e sua transformação obtida a partir de valores da densidade aparente dos agregados, determinados preferencialmente na obra, e para os recipientes e condições de enchimento nela empregados.
- A correção dos efeitos do inchamento da areia e do arrastamento de água causados pela umidade superficial dos agregados deve ser efetuada periódica e sistematicamente.
- Os recipientes de medida adotados; devem ser mantidos em perfeito estado de conservação e permitir, com facilidade, as correções do seu volume, determinadas pela correção dos efeitos da umidade superficial.
- Os recipientes empregados devem sempre ser tratados como medidas de volume e não como simples meios de transporte, e, portanto, respeitado o seu valor correto.

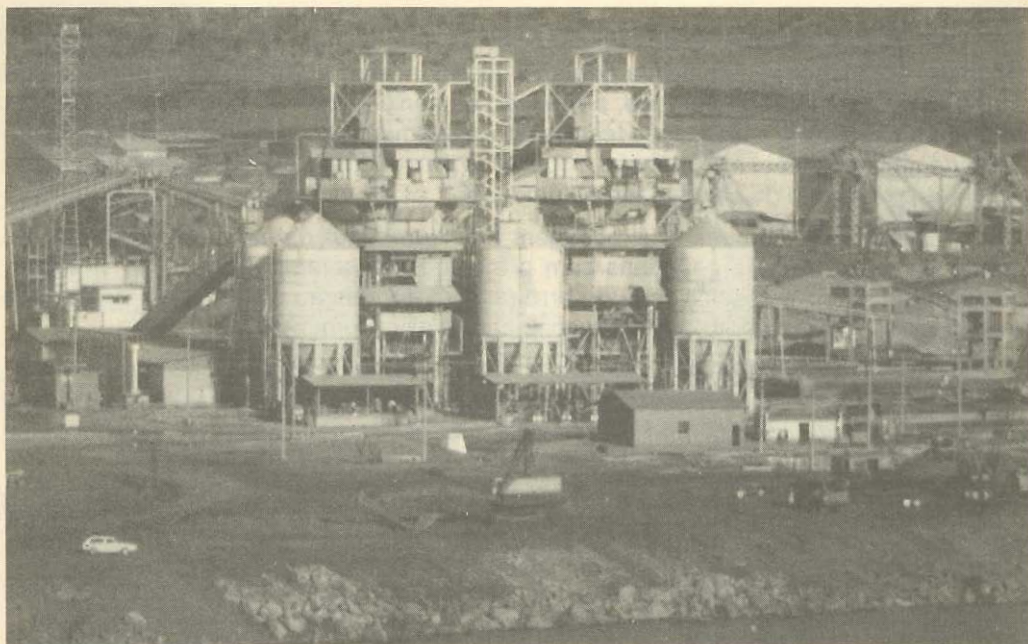


Figura 9.6 - Centrais de concreto (2) com capacidade de $180 \text{ m}^3/\text{h}$ (cada), usadas em Ilha Solteira

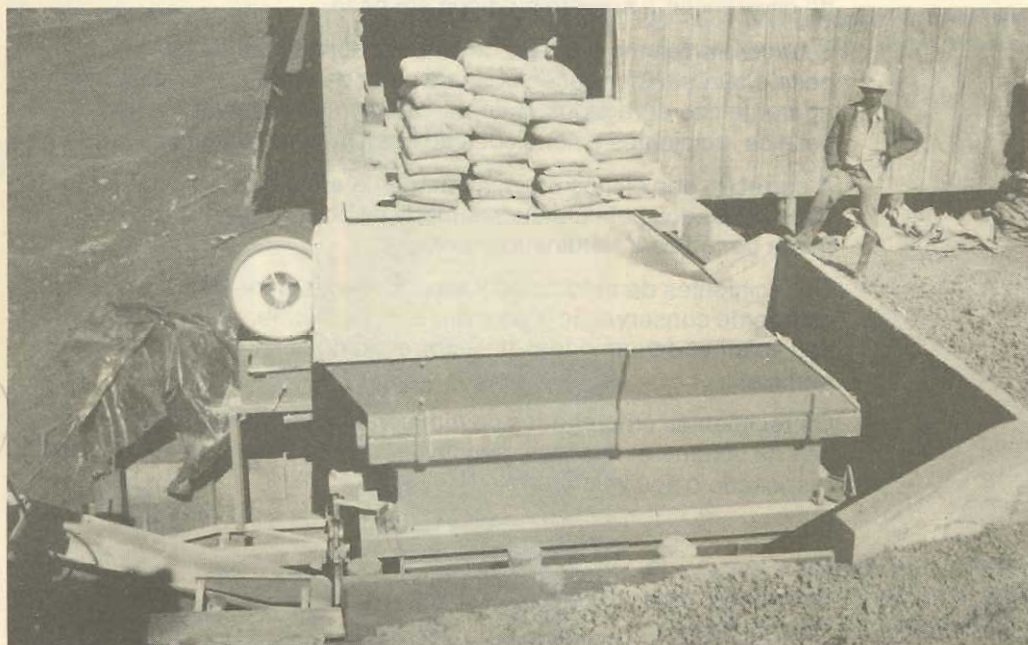


Figura 9.7 - Dosagem cumulativa com mostrador analógico - Itaipu

- Sempre que possível proceder à verificação do traço, por processo gravimétrico, e efetuar as correções devidas, se for o caso, também gravimetricamente.

Medição Gravimétrica:

- Verificação sistemática do estado de conservação dos equipamentos e de sua manutenção.
- Aferição periódica dos dispositivos de medida.
- Correção sistemática da água de arrastamento, resultante da umidade superficial dos agregados.

Uma das condições básicas da qualidade de um concreto endurecido, e com maior razão, dos concretos estruturais, é a homogeneidade, que teoricamente pode ser definida como uma distribuição estaticamente uniforme dos seus elementos constituintes.

A homogeneidade desejada para os concretos endurecidos decorre da homogeneidade que for obtida ao final das operações de moldagem.

Duas etapas básicas da fabricação do concreto influem preponderantemente no estado da homogeneidade final da peça moldada:

- Etapa da MISTURA dos componentes
- Etapa da COLOCAÇÃO (transporte; lançamento e cura; ver capítulos 10 a 13)

Na etapa da Mistura, persegue-se como objetivo básico a obtenção da máxima homogeneidade, enquanto a etapa da Colocação se caracteriza pela obtenção da máxima trabalhabilidade com o mínimo de perda da homogeneidade anteriormente obtida.

O tempo de mistura passa a ser condicionante limite em face do fenômeno da pega do cimento, o que leva de imediato a restringir o processo manual a pequenas quantidades a misturar.

Por outro lado, o aumento da energia e da velocidade no deslocamento dos materiais, nas betoneiras, pode mais facilmente superar as forças negativas resultantes do atrito mútuo dos elementos em contato, e em consequência o manuseio de maior quantidade de materiais, assegurando assim o aumento do rendimento.

A dispersão que decorre da falta de homogeneidade do processo manual é bastante elevada e, por este motivo, interdita pelas Normas Técnicas, mundialmente, para o caso dos concretos estruturais, apelando-se, em casos de emergência, para um superdimensionamento do traço pelo aumento do consumo de cimento.

São do conhecimento dos que trabalham com o concreto os diferentes tipos e capacidades das betoneiras empregadas na mistura mecanizada do concreto, e seria sumamente exaustivo e, portanto, impróprio, examinar aqui suas diferentes características técnicas.

No entanto, as dispersões finais da homogeneidade do concreto produzido em betoneiras decorrem, basicamente, dos seguintes fatores:

Fatores Intrínsecos:

- Forma, posição e dimensões da cuba e das paletas internas.
- Velocidade e rotação.
- Capacidade de carga.

Fatores Extrínsecos:

- Tempo de duração da mistura.
- Formas de carregamento e descarga.
- Condições de funcionamento e conservação.

No primeiro caso, a escolha criteriosa do tipo e da capacidade da betoneira torna paramétricas, em cada obra, e minimizáveis as dispersões por fatores intrínsecos.

Em oposição, os fatores extrínsecos, por dependerem primordialmente de mão-de-obra raramente de qualidade, podem introduzir dispersões de grande monta.

O tempo ideal de mistura é previamente fixado, tecnicamente, para cada tipo e capacidade das betoneiras, e sua alteração pode provocar homogeneidade insuficiente em caso de redução, enquanto o aumento do tempo de mistura, além de antieconômico, interfere na consistência do concreto, pelo início das reações de hidratação, na fase da pega.

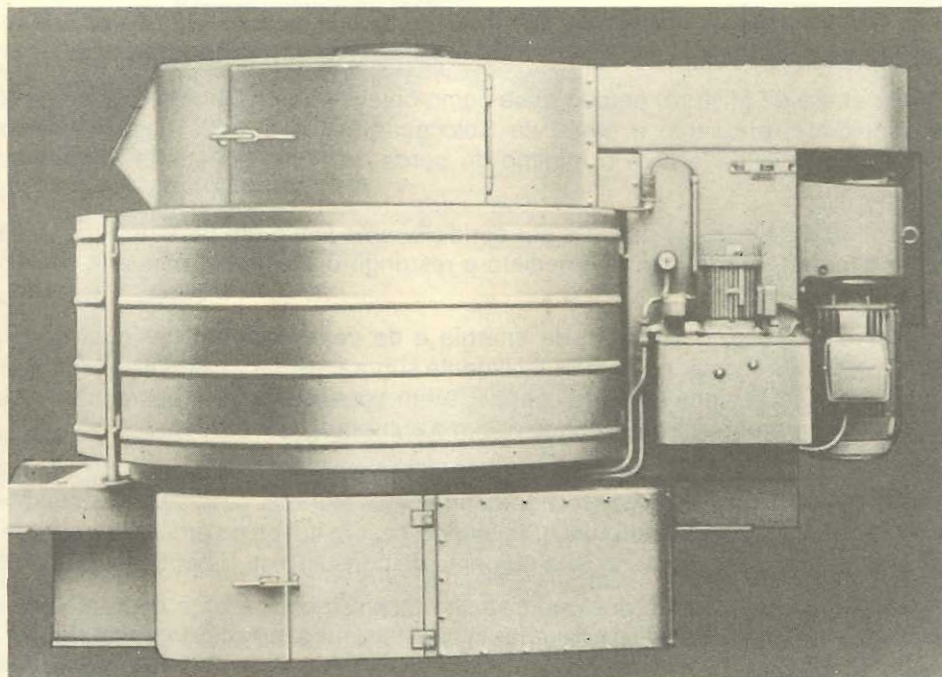


Figura 9.8 - Betoneira com eixo vertical e sistema de descarga por comporta de fundo - Ilha Solteira

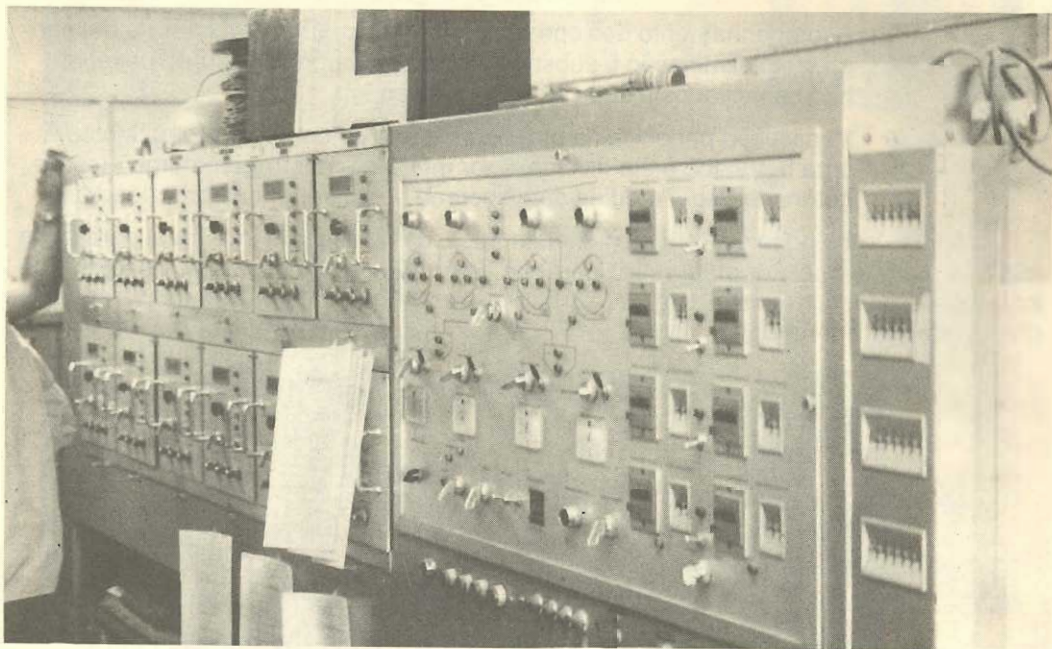


Figura 9.9 - Pannel automático com mostradores digitais para dosagem em uma central de concreto - Rosana

O carregamento, por sua vez mal ordenado, vai roubar tempo necessário à mistura correta para a homogeneização, e deve ser estudado em cada caso, com a finalidade de reduzir as dificuldades da mistura.

As dispersões na fase da descarga resultam de dois fatos: fracionamento da betonada e altura do tombamento da massa do concreto, os quais podem rapidamente destruir todo o trabalho de homogeneização efetuado, principalmente quando ocorrem conjuntamente.

Logicamente, as condições de funcionamento e conservação das betoneiras merecem toda a atenção em um canteiro de serviços, principalmente no sentido de assegurar a continuidade da qualidade desejada.

Os trabalhos de inspeção do concreto, nos canteiros de obra, no que se refere à fase Mistura e Homogeneização, devem se basear nas seguintes exigências:

- Proibir a mistura manual para os concretos estruturais.
- Em casos de emergência, e apenas para término de moldagem de peças onde não se admite paralisação da concretagem, efetuar um superdimensionamento do traço, com aumento do consumo de cimento, em pelo menos 10% do valor original.
- Seleção e/ou aceitação do tipo e da capacidade do equipamento mecânico de mistura e suas condições de conservação e manutenção.

- Acompanhamento das operações de carregamento, mistura e descarga, com eliminação e substituição do equipamento e/ou do pessoal não capacitados a sua correta execução.
- Verificação periódica da homogeneidade do concreto produzido em uma betonada e em diversas, por múltipla amostragem numa mesma betonada, e por medida da dispersão de qualquer das propriedades.

A instalação pode ser totalmente automática, com pesagem individual para cada material, com um seletor automático para um certo número de misturas. Esse tipo de instalação é usado, normalmente, para grandes volumes de concreto, usando 3 ou mais graduações de agregados.

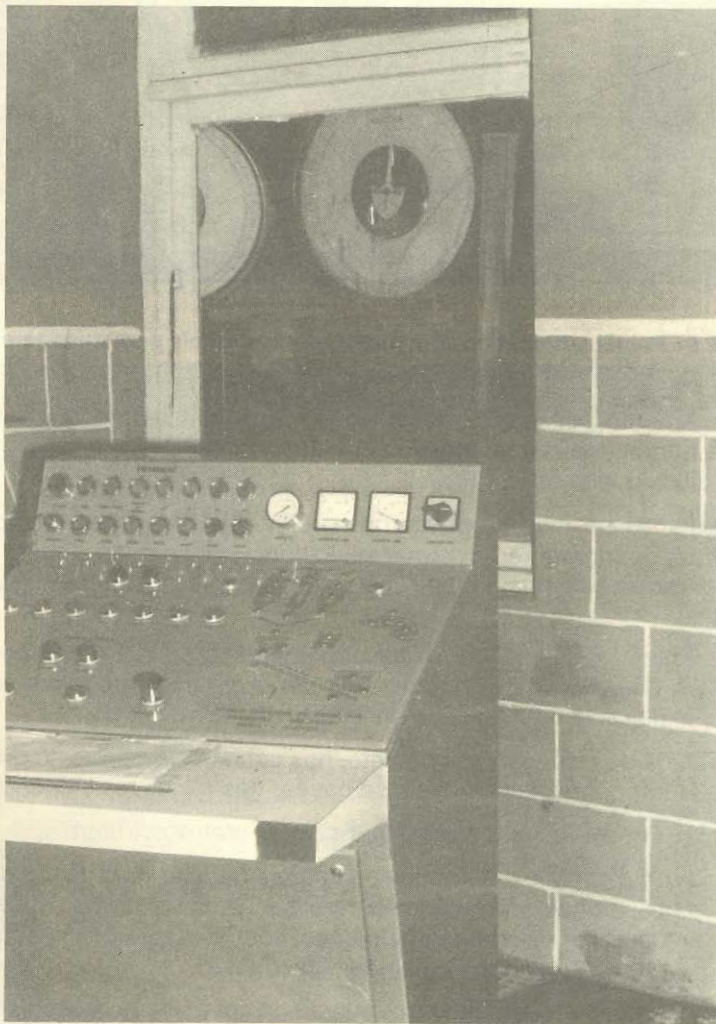


Figura 9.10 - Painel para dosagem semi-automática de uma central dosadora - Itaipu

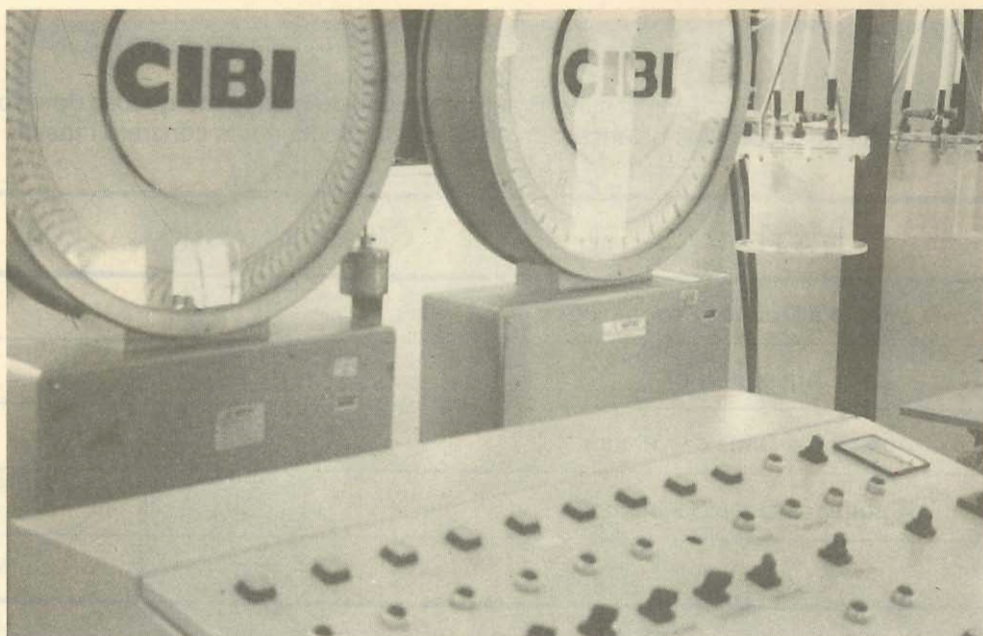


Figura 9.11 - Mostradores analógicos acoplados e silo-balanças. Esse sistema é interligado ao painel digital visto nas Figura 9.9 ou 9.12.

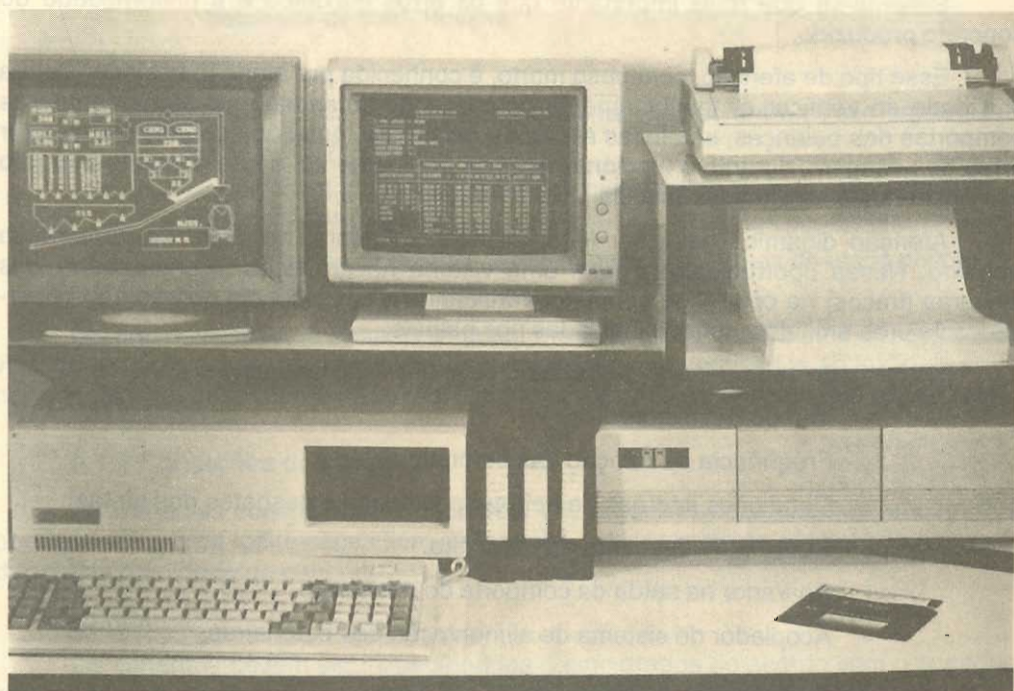


Figura 9.12 - Registradores digitais, com circuito de visualização

As Especificações Técnicas, no Brasil, têm adotado o seguinte quadro de erros máximos para aferições das balanças em sistemas de produção de concreto massa:

MATERIAL	ERRO MÁXIMO %
Cimento e Material Pozolânico	1
Água e Gelo	1
Agregados D Máx. ≤ 38 mm	2
Agredagos D Máx. > 38 mm	3
Aditivos	3

Tabela 9.13 - Erros máximos permitidos nas aferições das balanças

Saliente-se que mais importante que os erros máximos é a uniformidade do concreto produzido.

Esse tipo de aferição, com peso morto, é conhecida por aferição estática. Com a finalidade de verificar o funcionamento do comando automático de fechamento das comportas das balanças, são feitas aferições dinâmicas, que são capazes de detectar erros de pesagem, durante o funcionamento do equipamento, e que normalmente não são observados na aferição estática.

Aferição dinâmica deve ser feita, preferencialmente, no início da jornada de trabalho. Nessa oportunidade é feita uma vistoria na gravação (memorizador) das misturas (traços) na central de concreto, verificando a coincidência ou não são observados valores emitidos, com as indicadas nos painéis.

No início de cada período de trabalho deve ser verificado ainda:

- Tempo de mistura.
- Frequência de rotação das betoneiras.
- Condições internas da betoneira (limpeza e desgates das aletas).
- Sistema de descarga da betoneira.
- Aparador na saída da comporta de descarga.
- Acoplador do sistema de alimentação das betoneiras.

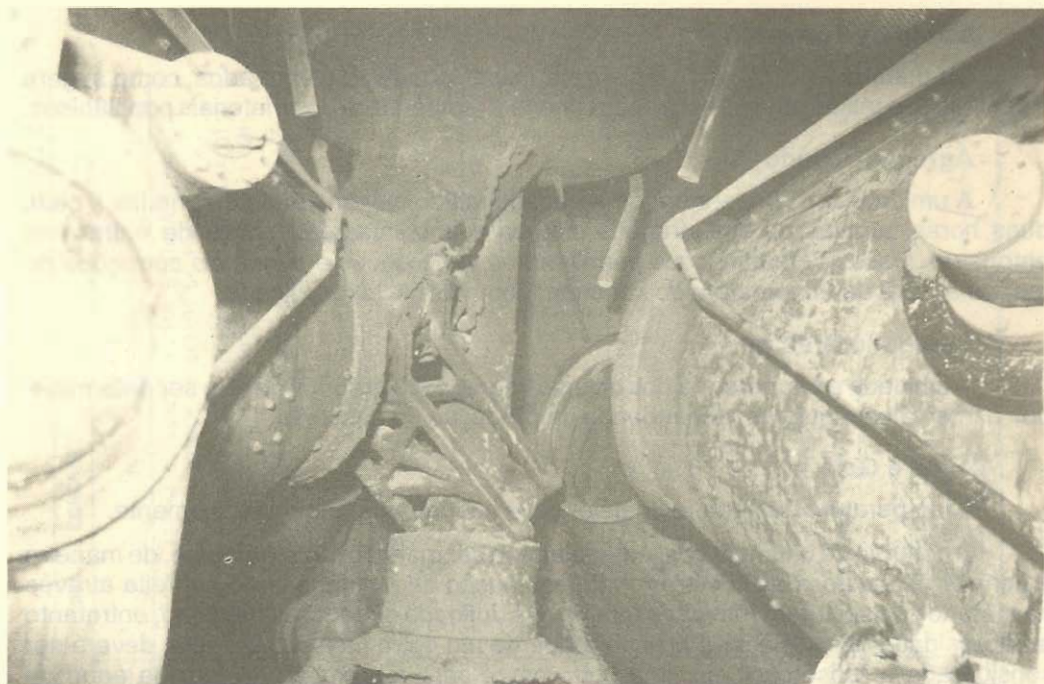


Figura 9.14 - Acoplamento de um chute telescópico giratório a uma betoneira de 3 m³ - Rosana

- Ob
- Condições do sistema elétrico que faz ligação entre os silo-balanças e o painel de comando.
 - Condições e posicionamento dos pinos do dispositivo automático de pesagem dos materiais.
 - Condições do dispositivo de comunicação entre os diversos pontos de solicitação e o de emissão.

Os equipamentos de ensaios (réguas, moldes, aparelhos de medida, balanças, vibradores, estufas, termômetros etc) devem também ser verificados ao início de cada período de trabalho e atender aos requisitos dos métodos de ensaios que os utilizam.

9.1.2 Condições dos materiais

Os materiais constituintes do concreto devem ser inspecionados e amostrados obedecendo a uma rotina específica, de maneira a dar suporte ao controle de uniformidade e de qualidade do concreto.

Cimentos

Os cimentos devem ser inspecionados e amostrados de acordo com o sugerido no capítulo 8. Durante a amostragem será determinada a temperatura dos cimentos.

Materiais Pozolânicos

Os materiais pozolânicos devem ser inspecionados e amostrados, como sugere o capítulo 8, ocasião em que será determinada a temperatura dos materiais pozolânicos.

Agregado Miúdo

A umidade e a temperatura do agregado miúdo devem ser determinadas a cada duas horas, através de amostragens efetuadas imediatamente antes de entrar nas betoneiras. Essas determinações permitirão as verificações e eventuais correções do teor de água e da temperatura do concreto, com vista ao especificado.

Agregado Graúdo

A umidade e temperatura dos diversos agregados graúdos devem ser determinadas a intervalos regulares, dependendo da produção do concreto.

Água e Gelo

A temperatura da água (e do gelo) deve ser determinada periodicamente.

O controle da umidade dos materiais deve ser mantido rigorosamente, de maneira a permitir os ajustes das misturas. A determinação da umidade pode ser feita através de métodos de secagem (umidade total) ou da umidade superficial, havendo, entretanto a necessidade de conhecer a aplicabilidade de um outro método. Ou seja, deverá ser considerada a "absorção" em um outro caso, para a correção do teor de água da mistura.

9.1.3 Condições do Concreto

Ao receber a solicitação para a produção de concreto, a equipe encarregada do sistema de produção deve efetuar as correções das quantidades de gelo (ao se trabalhar com concreto refrigerado onde se utilize gelo), aditivo(s), a fim de manter os requisitos de trabalhabilidade, temperatura e incorporação de ar, ou seja, deve ser feito o "ajuste da mistura". Para a realização desse ajuste devem ser coletadas amostras logo nas primeiras betonadas e a intervalos regulares (ver Figura 9.15).

A frequência de amostragem e tipo de ensaios é sugerida no Quadro 9.15, com base nos controles efetuados em Itaipu, e em Tucuruí [9.1].

PERÍODO	OPERAÇÃO	TIPO DE CONCRETO								
		UNIFORMIDADE (CONCRETO FRESCO)	QUALIDADE (CONCRETO ENDURECIDO)							
INICIAL - CORRESPONDENTE A APROXIMADAMENTE 15 A 20 % DO VOLUME DA OBRA.	AMOSTRAGEM	ENTRE 15 MINUTOS (ITAIPU) E 60 MINUTOS (ILHA SOLTEIRA E ÁGUA VERMELHA	- A CADA 150 m ³ DE CONCRETO, POR MISTURA (TRAÇO) AMOSTRA PARA MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA. - A CADA 5000 m ³ DE CONCRETO, POR MISTURA (TRAÇO) AMOSTRA PARA MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA COM CONCRETO INTEGRAL.							
	NÚMERO DE CORPOS DE PROVA		- 6 CILINDROS D.15 x 30 cm, SENDO 2 PARA ENSAIOS À CADA IDADE. - 2 CILINDROS COM CONCRETO INTEGRAL PARA ENSAIOS À IDADE INDICADA PARA O "FCK".							
		- TEMPERATURA - TRABALHABILIDADE - INCORPORAÇÃO DE AR - PESO ESPECÍFICO - AVALIAÇÃO DO FATOR A/Ceq - TEMPO DE PEGA	- RUPTURA AXIAL SIMPLES DOS CILINDROS D.15 x 30 cm A:							
			IDADE DO "FCK" (DIAS)	IDADE DOS ENSAIOS (DIAS)						
				3	7	28	90	180	365	
			3	(x)	x	x				
			7	x	(x)	x				
			28 - AMOSTRAS IMPARES	x	x	(x)				
			28 - AMOSTRAS PARES		x	(x)	x			
			90 - AMOSTRAS IMPARES		x		(x)	x		
			90 - AMOSTRAS PARES			x	(x)		x	
			180 - AMOSTRAS IMPARES		x			(x)	x	
			180 - AMOSTRAS PARES			x	x	(x)		
			365 - AMOSTRAS IMPARES		x		x		(x)	
			365 - AMOSTRAS PARES			x		x	(x)	
ANÁLISE										
COMPLEMENTAR	AMOSTRAGEM	* A DETERMINAR	* A DETERMINAR							
	NÚMERO DE ESPÉCIMES	* A DETERMINAR	* A DETERMINAR							
	ENSAIOS	* A DETERMINAR	* A DETERMINAR							

*IDADE DO FCK

Figura 9.15 - Quadro de sugestões para a rotina de Controle [9.1]

A fase inicial de operação do sistema de produção corresponde normalmente ao período de acertos do sistema e de formação da equipe de inspeção e controle. Nesse período é conveniente que a amostragem seja mais intensa, e será através dela que se poderá conceber a rotina para o controle da fase normal de operação.

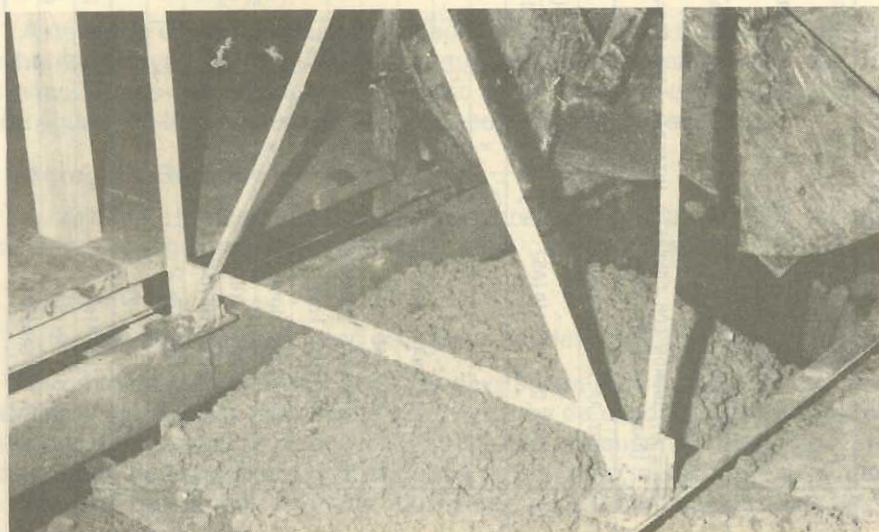


Figura 9.16 - Coleta de amostra do concreto, no sistema de produção através de "carrinho amostrador" cortando o fluxo de descarga do concreto - Itaipu



Figura 9.17 - Amostrador hidráulico, para extração de amostras da caçamba do Dumpcrete

A amostragem do concreto deve ser feita, de preferência, junto à descarga da betoneira, cortando o fluxo do concreto, recolhendo a quantidade necessária para os ensaios da fração intermediária da betonada.

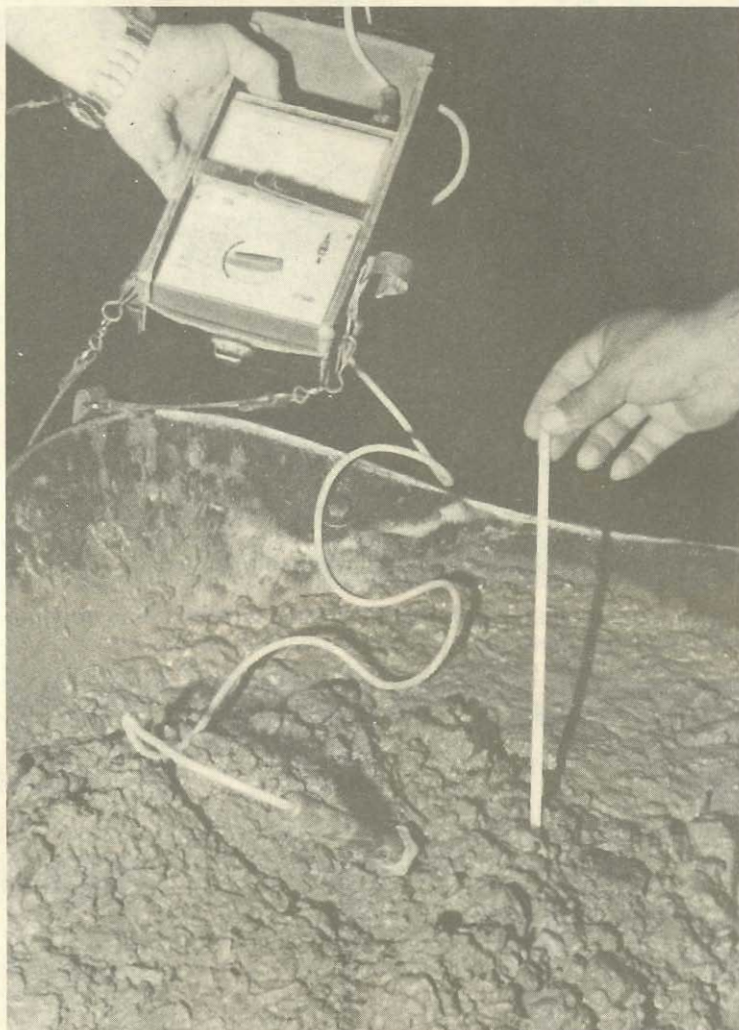


Figura 9.18 - Tomada de temperatura do concreto através de termômetro eletrônico e/ou de vidro - Itaipu

A medição da temperatura do concreto (controle importante quando se trabalha com concreto refrigerado) pode ser feita ainda na fase da coleta da amostra, evitando-se a troca de calor com o ambiente. Ao se trabalhar com agregados pré-refrigerados, é conveniente que a medição da temperatura do concreto se prolongue por um período ao redor de 15 a 20 minutos, pois as partículas do agregado graúdo (dependendo da difusibilidade) podem demorar para ceder "frio" à massa do concreto, e desta forma apresentar um valor falso para sua temperatura.



Figura 9.19 - Separação pelo peneirador de concreto, da fração superior a 38 mm, no concreto massa, para ensaios de controle durante a produção para diversas moldagens

A avaliação da trabalhabilidade é feita através da medida do abatimento do tronco de cone, como ilustra a Figura 9.20.

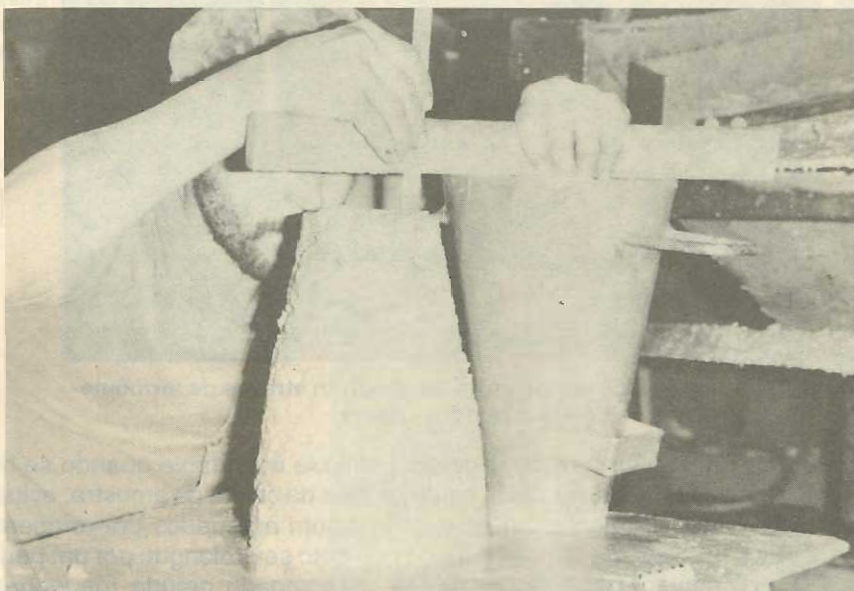


Figura 9.20 - Medição do abatimento do concreto peneirado (passante pela malha de abertura 38 mm). A partir do concreto massa (D Máx. 76 ou 152 mm).

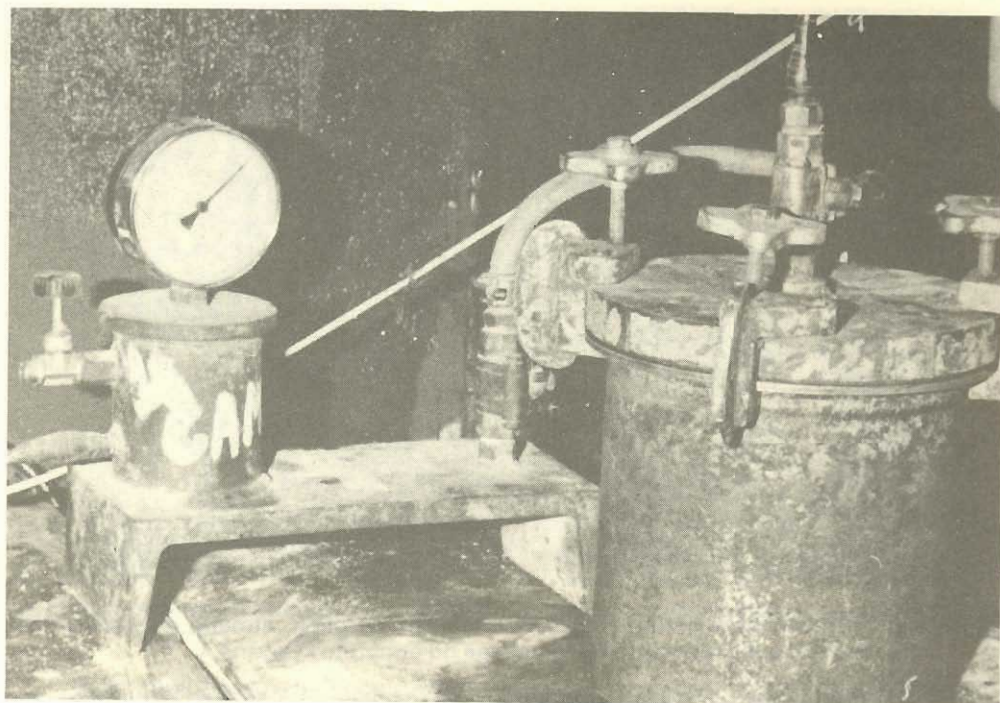


Figura 9.21 - Medição do teor de ar incorporado a fim de controlar a dosagem do aditivo incorporador de ar. O ensaio é efetuado na fração peneirada (menor que 38 mm) a partir do concreto integral

A medição do abatimento e da incorporação de ar facilita o controle da uniformidade de produção do concreto, permitindo a aplicação do concreto com um menor índice de variação.

Os ensaios de pega devem ser realizados com a finalidade de manter os tempos (início e fim) de pega entre valores convenientes para aplicação do concreto, evitando a ocorrência de junta-fria.

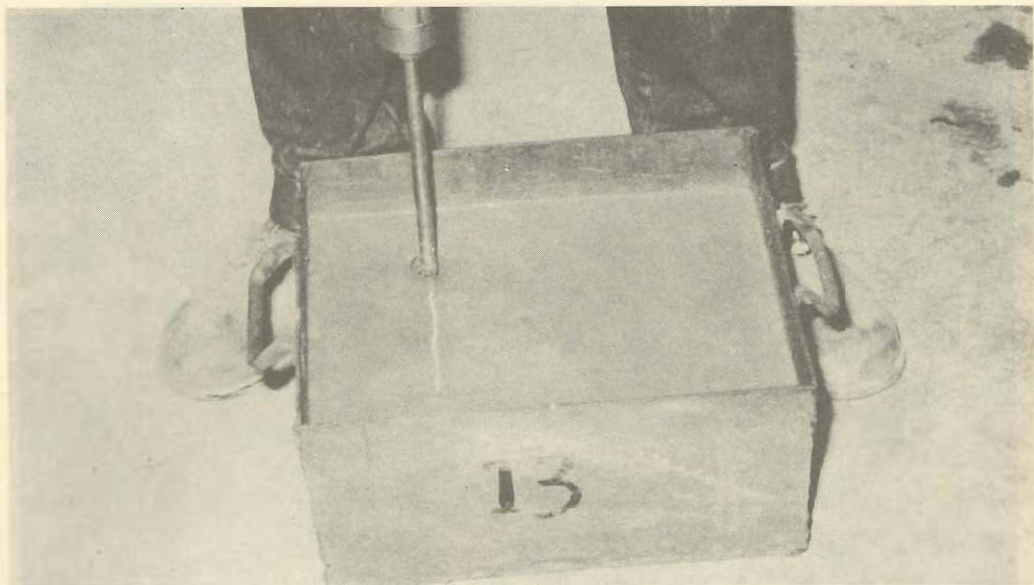


Figura 9.22 - Ensaio para determinação dos tempos de pega, através do penetrômetro Proctor aplicado sobre a argamassa de concreto -Tucuruí

A moldagem dos corpos de prova para ensaios com o concreto endurecido deve ser feita através de prática recomendada e conhecida.



Figura 9.23 - Moldagem de corpos de prova cilíndricos D 15 x 30 cm com a fração inferior a 38mm, a partir do concreto integral - Itaipu



Figura 9.24 - Moldagem de corpo de prova D 45 x 90 cm com concreto integral de agregado D Máx. 152 mm

A desmoldagem e o transporte dos corpos de prova de concreto massa não devem ser executados antes de completada 24 horas de idade. Esse prazo pode ser ampliado para 36 horas ao se trabalhar com concreto refrigerado. Preferencialmente, os corpos de prova devem ser transportados desde o local de moldagem até o de "cura" e ensaio, dentro de seus próprios moldes. Isso evitará danos eventuais e variações de resultados dos ensaios.



Figura 9.25 - Desforma dos corpos de prova. Nota-se a identificação do grupo de corpos de prova (nº 385) e da central de concreto (c-3) - Itaipu

Os corpos de prova devem ser identificados de maneira segura, e de forma alguma podem causar dúvidas. É conveniente que, além da identificação dos corpos de prova, estes sejam acompanhados por uma folha de amostragem, contendo (no mínimo):

- Data e hora da amostragem.
- Local de coleta.
- Identificação da dosagem (traço).
- Temperatura.
- Trabalhabilidade.
- Materiais usados (aglomerantes, aditivos, agregados).
- Local de aplicação (camada, cota, estrutura).
- Massa específica.
- Teor de ar incorporado.
- Tempo de pega.



Figura 9.26 - Câmara úmida para sazonalamento de corpos de prova de concreto

9.2 Controle do Concreto Endurecido

O controle do concreto endurecido e o controle sobre a mistura fresca ou o controle da uniformidade durante a produção se complementam no controle de qualidade do concreto massa. O controle do concreto endurecido engloba as diversas moldagens dos corpos de prova para os ensaios elastomecânicos de outras propriedades de interesse.

A partir dos dados obtidos nos controles, é importante estabelecer-se uma rotina de processamento, análise e interpretação. É importante ainda que essa análise seja feita com uma dinâmica compatível com a velocidade de construção da obra, de maneira que as providências decorrentes causem o mínimo de transtorno.

9.2.1 Tipo de Amostra

Tendo em vista que ao se trabalhar com concreto-massa, normalmente contendo agregados com dimensões máximas superiores a 38 mm e que os controles rotineiros são feitos sobre corpos de prova cilíndricos, padronizados, com D 15 x 30 cm de dimensões, é importante que se faça uma correção do valor de controle através do concreto peneirado para aquele existente na estrutura, com concreto integral.

Dessa forma, é também adotada a rotina de se ter dois tipos de amostra: amostra normal e amostra integral, como sugere o quadro da Figura 9.15.

Amostra Normal

A amostra normal tem sido coletada nas grandes obras de concreto no Brasil, aproximadamente entre 150 a 250 m³ de concreto produzido, para a fase inicial de operação.

Cada amostra coletada deve ter material suficiente para a realização dos ensaios sobre a mistura fresca e para a moldagem de 3 pares de corpos de prova cilíndricos D 15 x 30 cm.

Amostra Integral

A amostra integral tem sido também coletada nas grandes obras no Brasil, a cada 5.000 m³ de concreto produzido. Essa representatividade corresponde à fase inicial de produção e deve ser reavaliada a partir dos valores obtidos durante o controle.

Cada amostra coletada deve ter material suficiente para a realização de ensaios sobre a mistura fresca e para a moldagem de um par de corpo de prova com concreto integral (D 25 x 50 cm para concretos com D Máx 75 mm e D 45 x 90 cm para concretos com D Máx 152 mm) conjuntamente com três pares de corpos de prova cilíndricos D 15 x 30 cm.

Nota: Na convenção adotada poderá ser indicada a necessidade de moldagem de outros corpos de prova, para outros ensaios de interesse (como, por exemplo: vigas).

9.2.2 Local e Procedimento para Coleta das Amostras

A amostragem do concreto deve ser feita de preferência junto à descarga da betoneira, cortando o fluxo de concreto, recolhendo a quantidade necessária para os ensaios da fração intermediária da betonada. Em determinadas situações, quando a moldagem dos corpos de prova com concreto integral não possa ser feita junto ao sistema de produção, a Amostra Integral deve ser coletada no próprio local de aplicação.

A amostragem deve ser efetuada de acordo com os métodos recomendados, sendo que, de preferência, deve ser usado o "carrinho amostrador" (Figura 9.16) ou amostrador hidráulico (Figura 9.17).

Após a coleta da amostra deve ser determinada a temperatura do concreto.

Em concretos com D Máx. 76 e 152 mm deve ser feito um peneiramento sobre a malha de abertura 38 mm. Com a fração peneirada devem ser moldados corpos de prova e realizados os ensaios sobre a mistura fresca. Essa amostragem deve ser feita logo após as primeiras betonadas (segunda ou terceira betonada).

Após a pega do concreto, os corpos de prova devem ser identificados por grupos e por local de produção (Figura 9.25).

9.2.3 Ensaios

Com a mistura fresca devem ser feitos ensaios, como citado em 9.1 para se determinar:

- Abatimento.
- Incorporação de ar.
- Massa específica (na fração peneirada).
- Temperatura.
- Tempos de pega (quando houver interesse).
- Sobre o concreto endurecido, obtido a partir da "Amostra Normal", devem ser feitos ensaios para se determinar:
- Ruptura axial simples, através de método indicado no capítulo 17, nas idades sugeridas na Figura 9.15.
- Módulo de deformação e Coeficiente de Poisson (indo posteriormente até a ruptura axial), através de método indicado no capítulo 17, entre a 15ª e a 20ª amostra de cada grupo de 30 amostras de cada dosagem (traço), tomando-se, entretanto, uma amostra normal par e uma ímpar.



Figura 9.27 - Capeamento de corpos de prova cilíndricos D 15 x 30 cm, de acordo com metodologia adequada - Itaipu

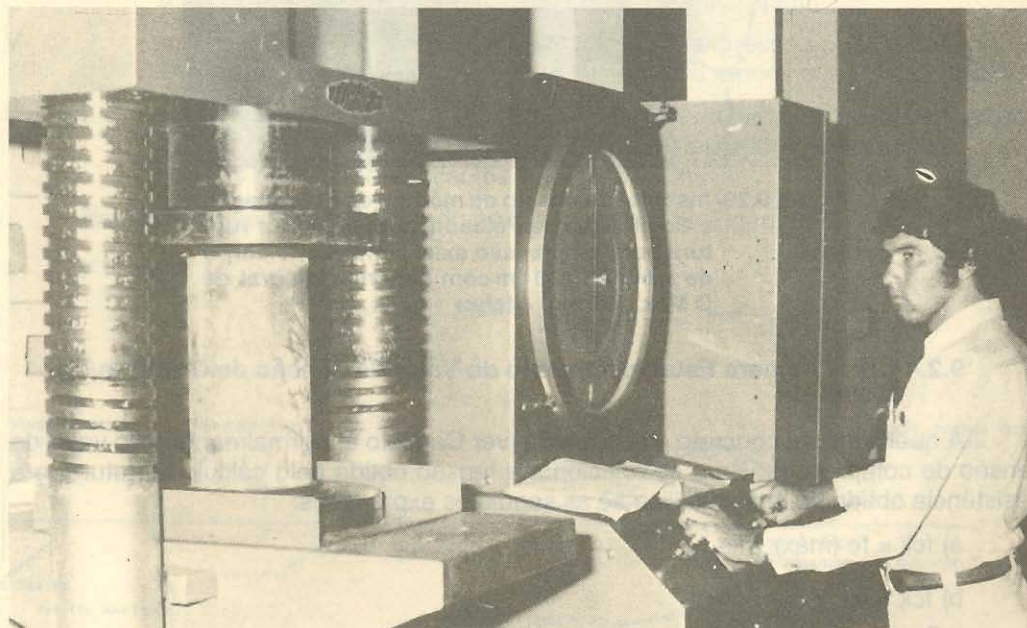


Figura 9.28 - Instante do início do ensaio de ruptura por compressão axial simples de corpos de prova D 15 x 30 cm

Sobre o concreto endurecido, obtido a partir da Amostra Integral, devem ser feitos ensaios para se determinar:

- Ruptura axial simples do concreto (peneirado), através de método indicado, nas idades sugeridas na Figura 9.15.
- Massa específica do concreto integral endurecido, na idade do fck, do projeto.
- Módulo de deformação e Coeficiente de Poisson (indo posteriormente até a ruptura axial simples) - Através de método indicado, dos corpos de prova de concreto integral, a idade do fck, do projeto (figura 9.29).

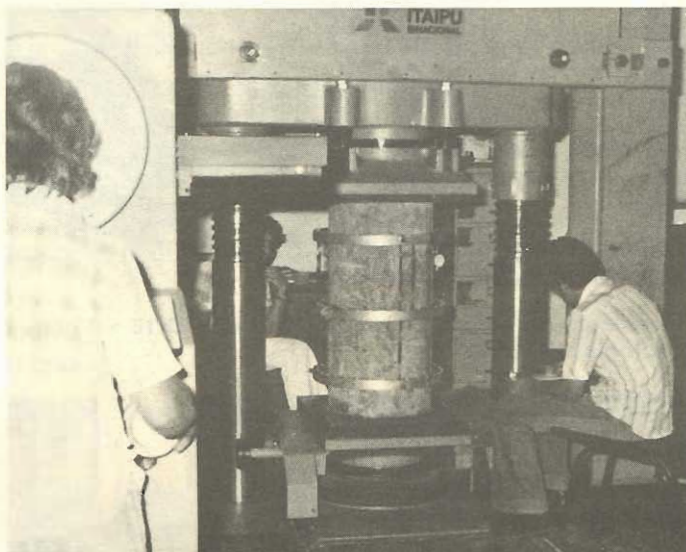


Figura 9.29- Instante do ensaio de módulo de deformação e Coeficiente de Poisson, com posterior ruptura por compressão axial simples, de corpo de prova 45 x 90 cm com concreto integral de D Máx. 152 mm - Itaipu

9.2.4 Critérios para Estabelecimento do Valor de Tensão de Controle do Concreto

A qualidade do concreto é controlada (ver Capítulo 6) normalmente pelo valor da tensão de compressão. Para se relacionar a tensão obtida pelo cálculo estrutural e a resistência obtida no ensaio utiliza-se as seguintes expressões:

$$a) f_{ck} = f_c (\text{máx}) \times k_s$$

$$b) \bar{f}_{ck} = f_{ck} \times p$$

$$c) \bar{f}_{ck} = f_{ck} \times p \times q$$

$$d) f_{cj} = \frac{f_{ck} \times p \times q}{(1 - t V)}$$

Sendo :

- $f_c \text{ máx}$ = Tensão efetiva máxima, obtida pelo cálculo estrutural;
- k_s = Coeficiente de segurança que considera: variações de carregamento, variações de probabilidade de ocorrência de eventos desfavoráveis, erros de hipóteses e deficiências localizadas;
- f_{ck} = Resistência mínima (kgf/cm^2) requerida de R% das amostras constituídas por corpos de prova cilíndricos moldados com concreto integral curados "In situ" e ensaiados na idade "K" sobre carregamento contínuo máximo;
- R = Confiança requerida no cálculo estatístico do f_{ck} ;
- p = Fator velocidade de carregamento, que expressa a correlação de variação de resistência obtida em função da velocidade de carregamento utilizada no ensaio;
- q = Fator tamanho do agregado, sendo o quociente do valor de compressão axial simples dos corpos de prova moldados com concreto peneirado, pelo valor de compressão axial simples dos corpos de prova moldados com concreto integral;
- f_{cj} = Resistência média (kgf/cm^2) das amostras constituídas por corpos de prova cilíndricos (15 x 30 cm) moldados com concreto peneirado (passando pela malha de 38 mm) curados em câmara úmida e ensaiados na idade $j = k$ dias, sob carregamento rápido;
- V = Valor estimado do coeficiente de variação, expresso sob forma de fração (determinado estatisticamente com não menos que 30 amostras);
- t = Uma constante que depende da quantidade relativa de ensaios que se permite apresentar valores abaixo do f_{ck} e do número de amostras usadas para determinação de V (Figura 9.32).

Este critério pode ser observado na forma gráfica da Figura 9.30.

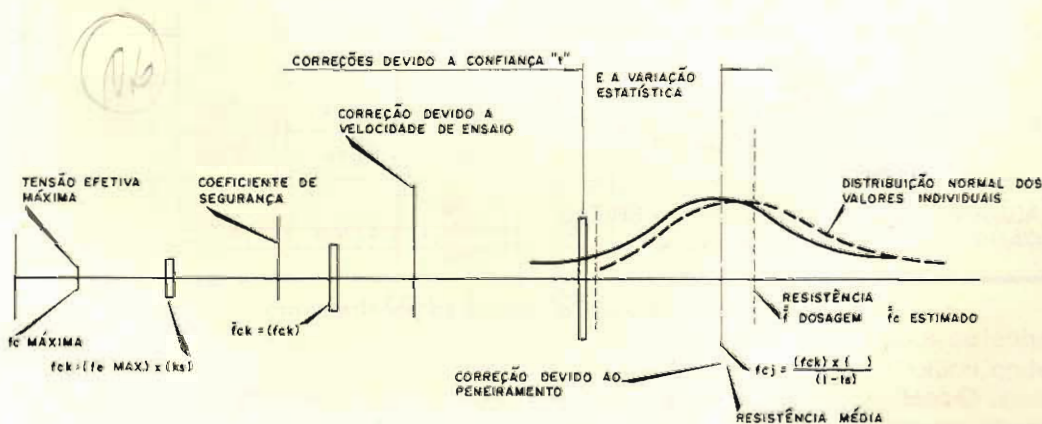


Figura 9.30 - Ilustrações do critério para a determinação da resistência do controle

Este critério tem sido aplicado tanto para concreto estrutural como para o concreto massa, sendo que para cada tipo de estrutura há considerações diferentes para cada um dos parâmetros de majoração e/ou correção.

O coeficiente de segurança "Ks" é definido na NB-1 para concreto estrutural. Para o concreto massa tem-se utilizado um valor ao redor de 3.

A diferença entre a velocidade de carregamento da estrutura e a do ensaio, fator "p", pode ser adotada no início das construções como 1,05 e posteriormente determinado em laboratório.

Esta correção não é normalmente aplicada sobre o coeficiente de segurança indicado pela NB-1 para concretos estruturais. O fator "q", que representa a correção devido ao peneiramento de concreto com D Máx. maior do que 38 mm e conseqüentemente execução do controle em corpos de provas de 15 x 30 cm, também não é aplicado em estruturas com concretos de D Máx. menores do que 38 mm (normalmente concretos de pontes, edifícios etc.). Nas estruturas de barragens têm sido utilizado, sendo que na Figura 9.31 são indicados valores obtidos em várias obras no Brasil. Em uma etapa inicial podem ser adotados os seguintes parâmetros:

- Concretos com D máx. não superior a 38 mm q = 1,00
- Concretos com D máx. 76 mm q = 1,20
- Concretos com D Máx. 152 mm q = 1,20

Estes valores devem ser confirmados por ensaios sobre concretos da obra em controle, passando a utilizar os valores obtidos.

OBRA	TIPOS DE AGREGADOS	D MÁX (mm)	FATOR g		
			28 dias	90 dias	365 dias
ILHA SOLTEIRA	CASCALHO + BRITAS DE BASALTO	76	-	1,22	-
		152	-	1,17	-
ITAIPU	BRITAS DE BASALTO	76	-	1,21	-
		152	-	1,08	-
ÁGUA VERMELHA ESTUDOS	CASCALHO + BRITAS DE BASALTO	76	1,31	1,25	-
		152	1,19	1,20	-
ÁGUA VERMELHA CAMPO	CASCALHO + BRITAS DE BASALTO	76	-	-	1,11
		152	-	-	1,20

Figura 9.31 - Fatores "q" devido ao peneiramento.

O coeficiente de variação V é uma grandeza estatística que dentro de um universo de valores expressa a dispersão dos valores individuais para com a média. Nos controles da resistência do concreto tem-se observado que os valores de V variam com a idade do concreto e com as características próprias das dosagens do concreto.

Para o estabelecimento da resistência de dosagem do concreto pode ser utilizado o valor de 15 % (0,15 na fórmula) para concreto estrutural e 20 % (0,20 na fórmula) para concreto massa.

Esses valores devem ser determinados nos primeiros grupos de amostras e alterados caso seja observado um comportamento diferente do inicialmente adotado.

O coeficiente "t" é estabelecido em função de a probabilidade de ocorrência da parte da estrutura apresentar resistência abaixo do especificado. Na Figura 9.32 se apresentam valores de "t". Nota-se nessa figura que quanto maior o número de amostras menor o valor de "t", da mesma que, forma quanto maior a parte da estrutura deficiente, menor o valor de "t".

Nº DE AMOSTRAS MENOS 1**	PERCENTAGEM DE RESULTADOS INCIDINDO ENTRE OS LIMITES $\bar{X} \pm t \cdot s$							
	50	60	70	80	90	95	98	99
	CHANCES DE OCORRÊNCIA ABAIXO DO LIMITE INFERIOR							
	2,5 em 10	2 em 10	1,5 em 10	1 em 10	1 em 20	1 em 40	1 em 100	1 em 200
1	1,000	1,376	1,963	3,073	6,314	12,706	31,821	63,657
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,192	5,541	5,841
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Figura 9.32 - Valores de "t"

Recomenda-se um número de amostras igual ou superior a 30 para que se tenha um universo mais confiável do controle do concreto. No caso de concreto estrutural, onde são fabricadas pequenas peças, a probabilidade de ocorrência de parte da estrutura deficiente representa um risco muito grande, e então recomenda-se uma chance de ocorrência de 1 em 20 de resistência inferior do limite, o que corresponde a um "t" = 1,645. Para o concreto, onde uma betonada não representa muito em relação à peça

considerada, adota-se um " t " = 1,282 (para o concreto massa estrutural) e " t " = 0,842 (para o concreto massa). A amostra indicada na Figura 9.32 normalmente, é representada por dois corpos de prova extraídos de uma mesma amostra, de uma mesma betonada e rompidos na mesma idade.

9.2.5 Idades de Controle

Na Figura 9.15 estão sugeridas as idades de rupturas dos corpos de prova para se determinar o fck. Entretanto, a idade a ser estabelecida para controle do fck, especificada no projeto, depende do tipo de concreto e da idade em que a estrutura será submetida a cargas de trabalho. Considerando que a resistência evolui com o tempo, o ideal seria estabelecer uma idade de controle maior possível, para se obter maior eficiência da mistura do concreto. Por outro lado, se a idade estabelecida é muito avançada, tem-se o inconveniente de ter que estocar os corpos de prova por mais tempo, aumentando o custo e a área necessária da câmara úmida. Na prática, utiliza-se para concretos estruturais a idade de 28 dias, desde que não seja utilizado cimento pozolânico. Nestas condições as idades de 90 ou 180 dias podem ser mais vantajosas.

No concreto massa, onde normalmente é utilizado o material pozolânico ou cimento pozolânico, e também onde a estrutura será submetida à carga de projeto, normalmente a idade maior que um ano, o ideal é de se estabelecer uma idade de controle aos 365 dias. Atualmente, há uma tendência, em uma fase inicial da obra, de se determinar o percentual de evolução da resistência de 90 para 365 dias e posteriormente estabelecer a idade de controle aos 90 dias, levando-se em consideração esta evolução no cálculo do fck. Recomenda-se, como o indicado na Figura 9.15, que seja efetuada ruptura de corpos de prova em idades anteriores e posteriores à idade de controle, para se avaliar o comportamento da mistura.

Para estruturas específicas, o calculista pode indicar uma idade diferente das indicadas acima, como é o caso da idade de desforma das peças pré-moldadas.

9.2.6 Critério para Interpretação e Controle da Resistência à Compressão Obtida nos Ensaios

9.2.6.1 Fatores Influentes na Determinação da Resistência e Padrões de Qualidade

A grandeza das variações na resistência dos corpos de prova de concreto depende do grau de controle exercido sobre seus materiais componentes, na sua fabricação e nos ensaios dos corpos de prova. Estas variações podem ser identificadas como provindo de duas origens fundamentalmente diferentes:

- Variações nos procedimentos de ensaio; e
- Variações nas propriedades dos ingredientes e na mistura do concreto.

Utilizando a análise estatística dos valores da resistência a compressão axial obtidas nos ensaios de ruptura, é possível calcular as variações atribuídas a cada uma das origens. Normalmente o coeficiente de variação (V) dentro do universo dos resultados de ruptura dos corpos de prova é tomado como índice de qualidade das variações globais observadas. As variações devido aos métodos de ensaios são medidas pelo

coeficiente de variação dentro do ensaio (V1), e as variações devido aos ingredientes e betonada são medidas pelo coeficiente de variação de betonada para betonada (V2).

O cálculo do coeficiente de variação do universo é bem conhecido dos técnicos e engenheiros e portanto não se entra em detalhes. Como padrão de qualidade recomenda-se os valores da Figura 9.33. Atualmente há uma tendência em se estabelecer o padrão de qualidade através do Desvio Padrão para os concretos estruturais.

PADRÕES PARA CONTROLE DO CONCRETO ACI - STANDARD - 214 - 65					
TIPO DE OPERAÇÃO		COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			
		EXCELENTE	BOM	SOFRÍVEL	POBRE
NO UNIVERSO	CONSTRUÇÕES DIVERSAS	10,0	10,0 15,0	15,0 20,0	20,0
	CONTROLE NO LABORATÓRIO	5,0	5,0 7,0	7,0 10,0	10,0
DENTRO DO ENSAIO	CONTROLE NO CAMPO	4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0
	CONTROLE NO LABORATÓRIO	3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0

TIPOS DE OPERAÇÕES		DESVIOS PADRÃO PARA DIVERSOS PADRÕES DE CONTROLE (kg/cm ²)				
		EXCELENTE	MUITO BOM	BOM	SOFRÍVEL	POBRE
NO UNIVERSO	CONSTRUÇÕES DIVERSAS	28,1	28,1 35,2	35,2 32,2 42,2	42,2 49,2	49,2
	ENSAIOS DE DOSAGENS	14,1	14,1 17,6	17,6 21,1	21,1 24,6	24,6
TIPOS DE OPERAÇÕES		COEFICIENTE DE VARIAÇÃO PARA DIVERSOS PADRÕES DE CONTROLE (%)				
		EXCELENTE	MUITO BOM	BOM	SOFRÍVEL	POBRE
DENTRO DO ENSAIO	CONTROLE NO CAMPO	3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0
	ENSAIO DE DOSAGEM	2,0	2,0 3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0

Figura 9.33 - Padrões usuais para análise de controle[9.4]

Como exemplo são mostrados na Figura 9.34 resultado do controle de algumas misturas de concreto utilizados na obra de Itaipu [9.1 - 9.3]

MISTURA	fck/IDADE kgf/cm ² (DIAS)	% (σ) COEFICIENTE DE VARIAÇÃO NO UNIVERSO NA IDADE DE (DIAS)				
		7	28	90	180	365
152-E-01	140/365	26,7	23,0	17,8	19,1	14,7
152-E-02	140/365	20,3	17,8	15,8	13,6	11,7
152-G-01	140/365	24,1	20,2	18,0	17,6	17,3
152-L-01	100/365	31,8	17,9	26,6	22,1	17,3

Figura 9.34 - Valores de coeficiente de variação (V) dentro do universo

Observa-se um decréscimo dos valores do coeficiente para com a idade de ensaio. Os valores à idade de 7 dias se situaram entre 20% e 32% e, à idade de 1 ano, os valores estiveram entre 12% e 17% para concretos com consumos entre 134 kg/m³ e 87 kg/m³ de aglomerante (cimento + pozolana). Nota-se, também, uma tendência de aumento de coeficiente para com o decréscimo do consumo de aglomerante.

Como já mencionado, uma das origens nas variações do concreto é devido a diferença no procedimento do ensaio. A grandeza destas variações podem ser medidas através do coeficiente de variação da diferença entre pares de corpos de prova confeccionados a partir de uma mesma amostra, de uma mesma betonada, e rompidos na mesma idade. O desvio padrão do ensaio e o respectivo coeficiente de variação podem ser satisfatoriamente determinados como se segue:

$$V_1 = \frac{1}{d^2} \cdot \bar{R}$$

$$V_1 = \frac{S_1}{\bar{X}} \cdot 100\%$$

onde :

S_1 = desvio padrão do ensaio.

1

----- = constante dependente do número de corpos de
 d^2 prova de cada grupo (Figura 9.35)

\bar{R} = amplitude média de grupos de pares de corpos de prova

V_1 = coeficiente de variação do ensaio

\bar{X} = resistência média

NÚMERO DE CORPOS DE PROVA	d_2	$1/d_2$
2	1,128	0,8865
3	1,693	0,5907
4	2,059	0,4857
5	2,326	0,4299
6	2,534	0,3946
7	2,704	0,3698
8	2,847	0,3512
9	2,970	0,3367
10	3,078	0,3249

Figura 9.35 - Coeficiente (d_2) para cálculo do desvio padrão do ensaio

Como padrão de qualidade recomenda-se os valores da Figura 9.33 e que, no mínimo, sejam utilizados 10 pares de valores. Como exemplo, mostra-se na Figura 9.36 resultado da avaliação do coeficiente de variação dentro do ensaio obtido em Itaipu. Estes resultados representam a média de 180 amostras da mistura 152-E-01. Observa-se que não houve diferença significativa, em se considerando, na avaliação efetuada, as amostras representadas por 2 (dois) ou 3 (três) corpos de prova à determinada idade.

IDENTIFICAÇÃO DA MISTURA	AMOSTRAS	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DENTRO DO ENSAIO σ_1 - %			
		$\sigma_1(1,2)$	$\sigma_1(1,2)$	$\sigma_1(2,3)$	$\sigma_1(1,2,3)$
152-E-01	DE 1 DE 30	3,5	3,4	3,2	3,2
	DE 31 A 60	3,2	3,8	3,5	3,5
	DE 61 A 90	3,3	3,2	3,4	3,3
	A2 91 A 120				
	DE 121 A 150	2,7	3,2	3,6	3,1
	DE 151 A 180	3,6	3,0	4,3	3,6
σ_1	(1,2) - COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DENTRO DO ENSAIO TOMANDO-SE OS ESPÉCIMES 1º E 2º DE CADA AMOSTRA.				
σ_1	(1,3) - IDEM, 1º E 3º				
σ_1	(2,3) - IDEM, 2º E 3º				
σ_1	(1,2,3) - IDEM TOMANDO-SE OS 3 CORPOS DE PROVA DE CADA AMOSTRA				

Figura 9.36 - Coeficiente de variação (V_1) dentro do ensaio

Ainda do controle de Itaipu, apresenta-se, na Figura 9.37, uma comparação entre os valores de coeficiente de variação dentro do ensaio para duas misturas em várias idades, onde, nota-se que não houve uma variação sensível com as idades.

MISTURA	fck/IDADE kgf/cm ² (DIAS)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DENTRO DO ENSAIO (σ_1) - %				
		7	28	90	180	365
152-E-01	140/365	4,3	4,6	4,4	4,1	3,6
152-G-01	140-365	4,1	4,7	3,8	4,3	4,1

Figura 9.37 - Coeficiente de variação (V1) dentro do ensaio em diferentes idades

As variações de betonada, para betonadas (V₂), refletem as diferenças na resistência, que possam ser atribuídas às variações nas características e propriedades, proporcionamento, misturas e amostragem, são determinadas pela expressão:

$$V_2 = \sqrt{V^2 - V_1^2}$$

onde :

- V₂ = coeficiente de variação de betonada para betonada
- V = coeficiente de variação do universo
- V₁ = coeficiente de variação dentro do ensaio

Esse índice não é usualmente utilizado como padrão de qualidade. Ilustrativamente, apresentam-se na Figura 9.38 valores de "V₂" calculados a partir das Figuras 9.34 e 9.37.

MISTURA	fck/IDADE kgf/cm ² (DIAS)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO BETONADA PARA BETONADA σ_2 - %				
		7	28	90	180	365
152-E-01	140/365	26,3	22,5	17,3	18,7	14,2
152-G-01	140/365	20,1	19,6	17,6	17,1	16,8

Figura 9.38 - Coeficiente de variação (V₂) betonada para betonada em diversas idades.

9.2.6.2 Processamento dos Resultados e Análises dos Parâmetros Obtidos.

Os parâmetros básicos para controle do concreto endurecido são: fck, fcj, V e o V₁.

Para obras onde o número de corpos de amostras é inferior a 30 a NB-1 apresenta critérios para determinação do f_{ck} . Em obras onde existem corpos de prova suficientes o f_{ck} pode ser calculado pela expressão:

$$f_{ck} = \frac{f_{cj} (1 - t_V)}{p.q}$$

Existem vários critérios para plotar em gráficos ou tabelas os resultados do controle, porém a de maior utilização é a carta de controle (Figura 9.39), e a tabela do controle estatístico a cada 30 amostras (Figura 9.40).

A carta de controle é útil para acompanhamento diário de ruptura dos corpos de prova, pois mostra a tendência do comportamento da resistência, e variações anormais podem ser analisadas em tempo e suas causas, corrigidas.

Este controle pode ser aperfeiçoado após o conhecimento da mistura e a evolução da resistência com a idade, estabelecendo-se prováveis faixas de cargas de ruptura nas várias idades, de tal forma que o operador da prensa possa detectar possíveis anomalias no momento da ruptura do corpo de prova. O controle estatístico serve para avaliar o padrão de qualidade do controle, dos procedimentos de fabricação do concreto e de ensaio, bem como de se avaliar a provável resistência da estrutura e compará-la com a especificada. Com base nestes parâmetros, as misturas devem ser ajustadas com o intuito de obter a maior eficiência do concreto com um consumo mínimo de cimento e conseqüentemente mais economia.

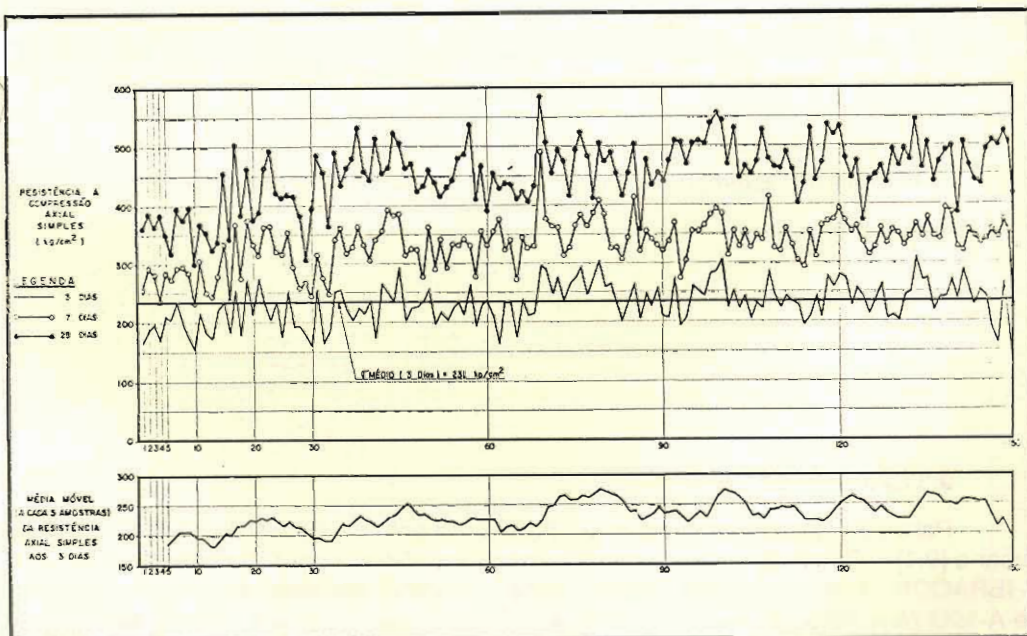


Figura 9.39 - Exemplo de carta de controle [5.17]

ITAIPU BINACIONAL ASSISTÊNCIA CONSTRUÇÃO CONCRETO (DIVISÃO DE LABORATÓRIO E INSTRUMENTAÇÃO DE CONCRETO) CERO4 - CONTROLE ESTATÍSTICO PARA 30 AMOSTRAS - VALORES INDIVIDUAIS														
DADOS NOMINAIS				CONSUMO I (kg/m ³)				CONSUMO II (kg/m ³)						
TRACO 152-F01		FCK 140/360		CENTRAL 3		CIMENTO 100		INCORPORADOR 0,00		AREIA N 402		BRITA 2		366
A/CEQ 0,650						FLY-ASH 29		RETARDADOR 0,00		AREIA A 156		BRITA 3		459
AR (%) 6,00±0,50		SLUMP 4,00±0,50 (cm)				ÁGUA 94		PLASTIFICANTE 0,00		BRITA 1 363		BRITA 4		642
AMOSTRA	DATA DA MOLDAGEM	NÚMERO DO ESPÉCIMEN	TRABALHABILIDADE (cm)	AR (%)	TEMPERATURA (°C)	DENSIDADE (T/m ³)	IDADE PCJ (kg/cm ²)							
							3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS	2 ANOS	5 ANOS
00001	28/04/78	010562 A 010568	5,0	4,0	6,0			48 51		143 167	208 221			
00002	28/04/78	010569 A 010575	4,5	6,4	6,0				109 105	218 226	209 227			
00003	30/04/78	010627 A 010633	3,8	6,5	6,0			42 35		117 124		175 203		
00004	30/04/78	010841 A 010847	3,7	7,0	6,2				58 58	144 164	184 194			
00005	02/05/78	010922 A 010928	3,6	5,8	5,0			60 62		162 192		253 248		
00006	02/05/78	010929 A 010935	3,2	5,7	5,0				93 103	232 235	261 250			
00007	02/05/78	010936 A 010942	4,5	6,3	6,5			63 59		178 184		246 275		
00008	02/05/78	010943 A 010951	3,0	5,7	8,0				104 108		257 255	273 269		
00009	02/05/78	010952 A 010958	5,0	5,6	5,0			41 44		132 134		202 208		
00010	02/05/78	011071 A 011077	4,0	6,3	5,2				86 78		226 212	259 250		
00011	02/05/78	011078 A 011084	3,0	6,3	5,0			41 41		115 117		183 134		
00012	03/05/78	011092 A 011098	4,5	6,8	5,5				103 100		221 198	209 221		
00013	03/05/78	011099 A 011105	4,0	5,2	6,0			66 61		182 181		272 274		
00014	04/05/78	011269 A 011275	4,0	5,8	5,0				158 167		335 334	358 346		
00015	04/05/78	011276 A 011282	4,3	6,4	6,0			52 50		146 159		218 237		
00016	04/05/78	011283 A 011289	4,3	6,3	5,0				85 98		238 226	248 235		
00017	06/05/78	011747 A 011758	3,0	5,2	8,0			84 83		247 247		290 321		
00018	08/05/78	011864 A 011870	3,9	6,5	4,8				98 99		215 192	229 222		
00019	08/05/78	011876 A 011881	3,1	6,3	7,5			63 61		207 208		278 288		
00020	08/05/78	011989 A 011995	4,0	8,3	8,5				108 118		260 243	289 200		
00021	08/05/78	011996 A 012002	4,0	5,7	5,5			39 46		158 150		225 231		
00022	08/05/78	012003 A 012009	4,8	5,7	5,8				91 91		235 243	244 242		
00023	09/05/78	012020 A 012032	3,8	8,2	4,5			49 47		183 197		276 270		
00024	12/05/78	012841 A 012847	4,2	5,0	5,7				103 96		249 243	260 255		
00025	14/05/78	012854 A 012860	4,7	5,4	7,0			96 91		333 315		370 400		
00026	14/05/78	012997 A 013003	4,0	5,5	6,5				137 131		345 338	351 347		
00027	15/05/78	013052 A 013058	3,9	5,7	8,0			90 92		313 340		314 407		
00028	15/05/78	013059 A 013065	4,6	8,6	7,0				74 79		226 240	233 232		
00029	15/05/78	013066 A 013072	4,2	5,4	7,0			41 41		167 158		273 227		
00030	16/05/78	013276 A 013282	4,0	6,0	7,0				109 111		294 306	302 283		
VALOR MÉDIO (kg/cm ²)				4,0	5,9	8,0		57,8	101,9	108,7	245,0	238,5		
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO				13,3	8,2	18,4		29,8	23,1	33,3	19,4	21,5		
VARIAÇÃO DA AMOSTRA								4,8	4,7	5,4	4,1	4,1		
FCK (PENEIRADO NA 38MT)								42,7	81,5	134,2	203,6	210,8		

Figura 9.40 - Exemplo de Controle Estatístico a cada 30 amostras [5.17]

9.3 Exemplo de Controle

Para exemplificar uma rotina de processamento de dados de controle pode-se usar o [9.1] - "Sugestões para Estabelecimentos de Rotina para Controle de Concreto" - IBRACON - 1981, onde são tomadas como exemplo duas misturas: as classes A-140f e A-100f (A=D Máx. 152 mm-fck = 140 kgf/cm² aos f = 365 dias e fck 100 kgf/cm² aos 365 dias) utilizadas em Itaipu e constantes da Figuras 9.41, 9.42 e 9.43.

MEXO - PESQUISA DO CONTROLE ESTATISTICO DE MODULO ELASTICIDADE E RESISTENCIA

14/04/90

TRACO 152-F01 (1)	A/C 0.650 AR(1)	6.0+-0.5	SLUMP(CM)	4.0+-0.5	CIMENTO 100	FLY-ASH	24	AGUA	94	AD.INC. 0.000	AD.RET. 0.00
FCR = 140/360	AD.PLAST 0.00	AREIA NAT. 402	AREIA ART. 156	BRITA 1 363	BRITA 2 366	BRITA 3 459	BRITA 4 642				
ORTIDO - AR(2) 5.9 SLUMP(CM) 4.0 TEMPERATURA(C) 5.9 DENSIDADE(T/M ³) 2.426 VOLUME APLICADO(M ³)											
PENETRADO											
(1) - SUBSTITUIÇÃO POR 152-E02	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS	720 DIAS	1800 DIAS			
FCJ (KG/CM ⁹⁹²) - NUM. AMOSTRAS	-	50 - 1	114 - 8	163 - 8	244 - 10	293 - 28	-	-			
RENDIMENTO(KG/CM ⁹⁹² /KG/M ⁹⁹³)	-	1.45	1.89	1.42	1.89	1.90	-	-			
VARIACAO(%) - FCR (KG/CM ⁹⁹²)	-	22.1 - 53	23.1 - 104	15.1 - 149	10.6 - 226	12.6 - 234	-	-			
VARIACAO(%) - ME(1000KG/CM ⁹⁹²)	-	27.4 - 184	21.5 - 269	12.8 - 318	12.0 - 351	7.4 - 344	-	-			
TRACO 152-F01 (1)	A/C 0.650 AR(1)	6.0+-0.5	SLUMP(CM)	4.0+-0.5	CIMENTO 100	FLY-ASH	24	AGUA	94	AD.INC. 0.000	AD.RET. 0.00
FCR = 140/360	AD.PLAST 0.00	AREIA NAT. 402	AREIA ART. 156	BRITA 1 363	BRITA 2 366	BRITA 3 459	BRITA 4 642				
ORTIDO - AR(2) 5.9 SLUMP(CM) 4.0 TEMPERATURA(C) 5.9 DENSIDADE(T/M ³) 2.426 VOLUME APLICADO(M ³)											
INTEGRAL											
(1) - SUBSTITUIÇÃO POR 152-E02	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS	720 DIAS	1800 DIAS			
FCJ (KG/CM ⁹⁹²) - NUM. AMOSTRAS	-	-	-	-	230 - 2	245 - 12	-	-			
RENDIMENTO(KG/CM ⁹⁹² /KG/M ⁹⁹³)	-	-	-	-	1.76	1.90	-	-			
VARIACAO(%) - FCR (KG/CM ⁹⁹²)	-	-	-	-	4.4 - 230	13.8 - 245	-	-			
VARIACAO(%) - ME(1000KG/CM ⁹⁹²)	-	-	-	-	10.2 - 403	13.0 - 446	-	-			
TRACO 152-F02 (1)	A/C 0.610 AR(1)	7.5+-0.5	SLUMP(CM)	3.5+-0.5	CIMENTO 120	FLY-ASH	14	AGUA	86	AD.INC. 0.000	AD.RET. 0.00
FCR = 140/360	AD.PLAST 0.00	AREIA NAT. 400	AREIA ART. 171	BRITA 1 400	BRITA 2 379	BRITA 3 465	BRITA 4 643				
ORTIDO - AR(2) 7.4 SLUMP(CM) 3.6 TEMPERATURA(C) 6.1 DENSIDADE(T/M ³) 2.405 VOLUME APLICADO(M ³)											
PENETRADO											
(1) - SUBSTITUIÇÃO POR 152-G01	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS	720 DIAS	1800 DIAS			
FCJ (KG/CM ⁹⁹²) - NUM. AMOSTRAS	-	94 - 3	157 - 3	226 - 5	271 - 5	217 - 8	-	-			
RENDIMENTO(KG/CM ⁹⁹² /KG/M ⁹⁹³)	-	22.3 - 70	25.0 - 119	11.8 - 168	13.8 - 172	12.9 - 162	-	-			
VARIACAO(%) - FCR (KG/CM ⁹⁹²)	-	14.6 - 97	19.5 - 147	8.4 - 209	8.9 - 214	10.4 - 201	-	-			
VARIACAO(%) - ME(1000KG/CM ⁹⁹²)	-	14.6 - 214	19.5 - 237	8.4 - 302	8.9 - 307	10.4 - 297	-	-			
TRACO 152-F02 (1)	A/C 0.610 AR(1)	7.5+-0.5	SLUMP(CM)	3.5+-0.5	CIMENTO 120	FLY-ASH	14	AGUA	86	AD.INC. 0.000	AD.RET. 0.00
FCR = 140/360	AD.PLAST 0.00	AREIA NAT. 400	AREIA ART. 171	BRITA 1 400	BRITA 2 379	BRITA 3 465	BRITA 4 643				
ORTIDO - AR(2) 7.4 SLUMP(CM) 3.6 TEMPERATURA(C) 6.1 DENSIDADE(T/M ³) 2.405 VOLUME APLICADO(M ³)											
INTEGRAL											
(1) - SUBSTITUIÇÃO POR 152-G01	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS	720 DIAS	1800 DIAS			
FCJ (KG/CM ⁹⁹²) - NUM. AMOSTRAS	-	-	-	242 - 2	274 - 2	207 - 2	-	-			
RENDIMENTO(KG/CM ⁹⁹² /KG/M ⁹⁹³)	-	-	-	1.80	1.67	1.54	-	-			
VARIACAO(%) - FCR (KG/CM ⁹⁹²)	-	-	-	3.0 - 242	14.3 - 224	16.6 - 207	-	-			
VARIACAO(%) - ME(1000KG/CM ⁹⁹²)	-	-	-	4.3 - 452	17.3 - 432	10.6 - 455	-	-			
TRACO 152-F03	A/C 0.650 AR(1)	7.5+-0.5	SLUMP(CM)	3.5+-0.5	CIMENTO 128	FLY-ASH	0	AGUA	83	AD.INC. VAR	AD.RET. 0.00
FCR = 140/360	AD.PLAST 0.00	AREIA NAT. 196	AREIA ART. 457	BRITA 1 400	BRITA 2 379	BRITA 3 465	BRITA 4 643				
ORTIDO - AR(2) 7.9 SLUMP(CM) 3.6 TEMPERATURA(C) 7.2 DENSIDADE(T/M ³) 2.394 VOLUME APLICADO(M ³)											
PENETRADO											
(1) - SUBSTITUIÇÃO POR 152-G01	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS	720 DIAS	1800 DIAS			
FCJ (KG/CM ⁹⁹²) - NUM. AMOSTRAS	-	70 - 1	134 - 2	155 - 2	164 - 1	173 - 4	-	-			
RENDIMENTO(KG/CM ⁹⁹² /KG/M ⁹⁹³)	-	-	1.05	1.71	-	1.75	-	-			
VARIACAO(%) - FCR (KG/CM ⁹⁹²)	-	-	2.5 - 124	6.0 - 143	-	12.5 - 160	-	-			
VARIACAO(%) - ME(1000KG/CM ⁹⁹²)	-	-	200	10.5 - 221	9.4 - 300	10.8 - 277	-	-			

***** PARA OS DADOS DE CONSUMO DOS TRACOS, A UNIDADE CONSIDERADA E KG/M³ *****
 ***** PARA OS TRACOS PENETRADOS, FCR E ME FORAM CORRIGIDOS QUANTO AO PENEIRAMENTO *****

Figura 9.41 - Tabela de Valores do Controle de Itaipu [9.1]

CE-04 - CONTRÔLE ÉSTATISTIQUE DES 30 ANESTHÉSIS VALEURS INDIVIDUELLES

19/11/80

SAQUES NOMINAIS		CENSO C I (KG/MOO3)	CENSO C II (KG/MOO3)
TRECHO 152-161 FOR 1,3/390	CENTRAL 2	CIMENTO 1CS INCORPORADO VAR	AREIA H 154 BRITA 2 366
A/C 1/0,000		FLY-ASH 51 RETARDADOR C.O.J.	AREIA A 354 BRITA 3 459
AF-CG 0,0+0,00 SLIP 4,1+-0,5 TCM		ADJA 32 PLASTIFICANTE C.O.J.	AREIA I 383 BRITA 4 682

[illegible]

1. 2000. 0. 01. (007/0000)	4.1	5.5	6.8	57	100	225	227	249
1. 2000. 0. 01. (007/0000)	12.7	8.2	24.5	22.0	23.7	11.1	11.6	11.2
1. 2000. 0. 01. (007/0000)				2.0	4.5	1.2	2.2	3.5
1. 2000. 0. 01. (007/0000)				45	100	207	213	221

Figura 9.42 - Tabela de Valores do Controle de Itaipu [9.1]

ITAIPU BINACIONAL ASSISTÊNCIA CONSTRUÇÃO CONCRETO (DIVISÃO DE CONTROLE DE CONCRETO) CER06 - CONTROLE DO CONCRETO POR APLICAÇÃO												
LOCAL DE APLICAÇÃO				CONCRETAGEM		VOLUME APLICADO (m ³)	CURA		TRAÇO	NÚMERO DOS C.P.	IDADE DIAS	TENSÃO MÉDIA (kg/cm ²)
ESTRUTURA	BLOCO	CAMADA	COTAS	INÍCIO	TÉRMINO		INÍCIO	TÉRMINO				
A	H1	36	141,50 A 144,00	11/05/78 05:00	11/05/78 21:00	0665,00	11/05/78	20/05/78	152-G01	017413/017414	7	93
										017415/017416	90	201
										017417/017419	360	292
				11/05/78 05:00	11/05/78 21:00	0675,00	11/05/78	20/05/78	152-G01	017435/017436	7	96
										017437/017438	90	202
										017439/017441	360	294
				11/05/78 05:00	11/05/78 21:00	0685,00	11/05/78	20/05/78	152-G01	017456/017458	7	99
										017459/017460	90	203
										017461/017463	360	296
				11/05/78 05:00	11/05/78 21:00	0695,00	11/05/78	20/05/78	152-G01	017479/017480	7	102
										017481/017482	90	204
										017483/017485	360	298
A	H1	37	144,00 A 146,50	11/05/78 05:00	11/05/78 21:00	0705,00	11/05/78	20/05/78	152-G01	017501/017502	7	105
										017503/017504	90	205
										017505/017507	360	300
				11/05/78 05:00	11/05/78 21:00	0715,00	11/05/78	20/05/78	152-G01	017523/017524	7	108
										017525/017526	90	206
										017527/017529	360	302

Figura 9.43 - Tabela de Valores do Controle de Itaipu[9.1]

Após haver decorrido um período de 3,5 anos de construção da obra de Itaipu, o volume até então aplicado era da ordem de $6,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ distribuídos de acordo com a Figura 9.44 e 9.45

D MÁX. CARACTERÍSTICA DO AGREGADO (mm)	VOLUME APLICADO ($\times 10^3$) (m ³)	(%) PERCENTUAL APLICADO
19	502,4	7,9
38	1527,1	23,9
76	1432,0	22,4
152	2921,4	45,8
TOTAL	6382,9	100,0

Figura 9.44 - Volume de concretos aplicados em correspondência D Máx. do agregado

CLASSE f _{kc} / IDADE (DIAS)	D MÁX. DO AGREGADO (mm)	VOLUME APLICADO m ³	(%) PERCENTUAL APLICADO EM RELAÇÃO AO TOTAL
140/365	152	2×10^6	31
100/365	152	$0,15 \times 10^6$	2

Figura 9.45 - Volumes correspondentes às classes A-140f e A100f- Itaipu

As misturas correspondentes às classes com f_{ck} 140/365 e f_{ck} = 100/365 com D Máx. 152 mm correspondiam a aproximadamente 1/3 do volume total até então aplicado.

A tabela da Figura 9.35 fornece a seqüência de utilização e modificação dos "Traços" utilizados no período 21/9/77 a 04/2/81, mostrando a evolução do controle.

Para verificação dos valores de Trabalhabilidade, pelo abatimento do tronco de cone, foram consideradas as misturas citadas.

Os valores de trabalhabilidade apresentaram-se praticamente os mesmos valores médios, mesmo quando comparados nos diferentes locais de produção, visto que nesse período os concretos, em Itaipu, eram produzidos em 6 centrais de concreto. A tolerância de mais ou menos 0,5 cm para o valor médio de trabalhabilidade era então, aceitável.

fck (IDADE) kg/cm ² /DIAS	NOMENCLATURA	AGLOMERANTE kg/m ³			DATA DA EMIÇÃO DA MISTURA	VOLUME PRODUZIDO (m ³)	NÚMERO DE AMOSTRAS A CADA CENTRAL DE PRODUÇÃO						VOLUME POR AMOSTRA (m ³ /AMOSTRA)	SUBSTITUIÇÃO PELA MISTURA	DATA DA SUBSTITUIÇÃO	MOTIVO DA SUBSTITUIÇÃO	
		CIMENTO	MATERIAL POZOLÂNICO	TOTAL			* C 1	* C 2	* C 3	* C 4	* C 5	* C 6					
							16/03/78	29/09/77	10/01/78	05/12/78	14/09/79	16/11/78					
140/365	152-D-01	174	50	224	21/IX/77	240,00	—	3	—	—	—	—	3	80	152-E-01	12/X/77	PRIMEIROS LANÇAMENTOS DE CONCRETOS: EMPREGOU-SE CONCRETO COM TEOR DE ARGAMASSA ACIMA DO IDEAL
140/365	152-E-01	109	31	140	12/X/77	202079,50	28	503	245	—	—	—	776	260	152-F-01	26/IV/78	AJUSTE DE TRAÇO
140/365	152-F-01	100	29	129	26/V/78	81651,00	128	71	68	—	—	—	267	305	152-F-02	08/X/78	NECESSIDADE DO AUMENTO DO CONSUMO DEVIDO QUEDA DA FINURA BLAINE DA CINZA -VOLANTE
140/365	152-E	104	30	134	08/IX/78	282638,50	286	278	353	—	—	—	917	307	152-F-01	14/IX/78	ALTERAÇÃO DO PERCENTUAL DE REPOSIÇÃO DA CINZA-VOLANTE (VOLUME SÓLIDO) COM BASE NA QUEDA DE FINURA E DEMONSTRAÇÃO POR ESTUDOS
140/365	152-F-02	120	14	134	14/IX/78	40780,00	42	39	45	—	—	—	126	316	152-G-01	23/XII/78	NOVOS VALORES PARA p e q, OBTIDOS EM LABORATÓRIOS
140/365	152-G-01	108	13	121	23/XI/78	334852,50	632	678	608	512	169	408	3007	444	152-I-01	04/IV/81	MUDANÇAS DOS FATORES DE CORREÇÃO DA RESISTÊNCIA DO INTEGRAL A PARTIR DO PENEIRADO USANDO SOMENTE FATOR DE FORMA q - CONFORME CITADO NO ITEM
140/365	152-I-01	86	15	101	04/II/81	89467,50	35	33	26	34	44	3	175	511	152-I-02	28/IV/82	
100/365	152-M-01	91	26	117	08/VII/78	5019,50	3	12	2	—	—	—	17	295	152-L-01	23/XII/78	ALTERAÇÃO DOS FATORES p e q E PERCENTUAL DE REPOSIÇÃO DO MATERIAL POZOLÂNICO
100/365	152-L-01	78	9	87	27/XII/78	148565,00	60	49	67	31	68	—	275	540	152-P-01	04/IV/81	MUDANÇAS DOS FATORES DE CORREÇÃO DA RESISTÊNCIA DO INTEGRAL A PARTIR DO PENEIRADO USANDO SOMENTE FATOR DE FORMA q - CONFORME CITADO NO ITEM
100/365	152-P-01	65	8	73	04/II/81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

* DATA DA ENTRADA EM OPERAÇÃO

Figura 9.46 - Sequência de Utilização de Misturas - Itaipu [9.1].

A incorporação de ar era medida como mostrado na Figura 9.21, sendo que os valores obtidos mostraram que o concreto foi produzido dentro de uma homogeneidade desejada. A tolerância de mais ou menos 0,5% para o valor médio de teor de ar incorporado é também perfeitamente aceitável.

A temperatura especificada para produção dos concreto em Itaipu era a de não superar 70°C, exceto para as estruturas da Barragem Lateral Direita, acima da elevação 200, onde a temperatura poderia situar-se entre 70°C e 100°C.

Os valores (ver Figura 9.36) mostram que os limites foram atendidos visto que as centrais, 4, 5 e 6 produziram concretos para as estruturas citadas (Barragem Lateral Direita - acima da elevação 200), com temperaturas inferiores a 10°C. A variação da relação água/cimento (equivalente se for empregado material pozolânico) é também um indicador da uniformidade da mistura.

A verificação da variação da relação A/Ceq é feita com base nos reajustes efetuados na água de mistura, após as correções das umidades e absorção dos materiais componentes.

Os valores citados na Figura 9.48 obtidos no controle na obra de Itaipu, ilustram essas variação.

É considerado [9.2] [9.3] que as misturas com variações na relação A/Ceq ao redor de +/- 0,02 não necessitam de um reproporcionamento, tolerando-se somente os ajustes.

Para verificação dos valores de trabalhabilidade, pelo abatimento do tronco de cone, foram consideradas as misturas citadas na Figura 9.47.

9.4 Controles Adicionais

A determinados períodos de análise é conveniente se calcular os rendimentos:

$$n = \frac{\text{Resistência (kgf/cm}^2\text{)}}{\text{consumo de aglomerante (kg/m}^3\text{)}}$$

como ilustram as Figuras 9.30, 9.31, 9.32. O valor da eficiência (n) facilita a análise e a interpretação do controle.

Com intuito de possibilitar o trabalho e o manuseio dos valores de fck às idades que não as de projeto (por exemplo, antecipação de descimbramentos, desformas, carregamentos), é conveniente determinar, periodicamente, as evoluções dos valores de "fck" e o do módulo de deformação. Como exemplo, cita-se [9.1] o quadro da Figura 9.49 com valores obtidos a partir das Figuras 9.41 a 9.43.

MISTURA	fck/IDADE kgf/cm ² (DIAS)	PARÂMETRO	IDADE (DIAS)				
			7	28	90	180	365
152-E-01	140/365	fcj (*) kgf/cm ²	64	150	217	240	254
		ρ (*)	26,7	23,0	17,8	17,8	19,1
		fck (*) kgf/cm ²	50	121	184	201	222
		EVOLUÇÃO DO fcj (%)	29,0	69,0	100,0	111,0	117,0
		EVOLUÇÃO DO fck (%)	27,0	66,0	100,0	109,0	121,0
152-L-01	140/365	fcj (*) kgf/cm ²	71	131	175	179	192
		ρ (%)	24,1	20,2	18,0	17,6	17,3
		fck (*) kgf/cm ²	57	108	148	153	164
		EVOLUÇÃO DO fcj (*)	41,0	75,0	100,0	102,0	110,0
		EVOLUÇÃO DO fck (%)	39,0	73,0	100,0	103,0	111,0
152-L-01	100/365	fcj (*) kgf/cm ²	44	78	112	119	129
		ρ (%)	31,8	17,8	26,6	22,1	17,3
		fck (*) kgf/cm ²	32	66	87	97	110
		EVOLUÇÃO DO fcj (%)	39,0	70,0	100,0	106,0	115,0
		EVOLUÇÃO DO fck (%)	36,0	76,0	100,0	111,0	126,0
fck e fcj (*) NÃO CONSIDERADOS OS PARÂMETROS "P E q"							

Figura 9.47 - Valores de controle de uniformidade sobre a mistura fresca - Itaipu [9.1]

MISTURA	fck/IDADE (kgf/cm ²) (DIAS)	NÚMERO DE AMOSTRAS	VARIAÇÃO (+) "ACRÉSCIMO DE ÁGUA"			VARIAÇÃO (-) "CORTE DE ÁGUA"		
			QUANTIDADE DE VALORES	MÉDIA		QUANTIDADE DE VALORES	MÉDIA	
				kg/m ³	Δ/ceq		kg/m ³	Δ/ceq
152-E-01	140/365	432	69	3	0,018	363	5	0,030
152-G-01	140/365	389	40	2	0,015	349	2	0,019
152-L-01	140/365	95	6	1	0,011	89	3	0,030

Figura 9.48 - Variações de relação água/cimento - Itaipu [9.1]

MISTURA	fck/IDADE kgf/cm ² (DIAS)	PARÂMETRO	IDADE (DIAS)				
			7	28	90	180	365
152-E-01	140/365	f _{cj} (*) kgf/cm ²	64	150	217	240	254
		ρ (*)	26,7	23,0	17,8	17,8	19,1
		f _{ck} (*) kgf/cm ²	50	121	184	201	222
		EVOLUÇÃO DO f _{cj} (%)	29,0	69,0	100,0	111,0	117,0
		EVOLUÇÃO DO f _{cj} (%)	27,0	66,0	100,0	109,0	121,0
152-L-01	140/365	f _{cj} (*) kgf/cm ²	71	131	175	179	192
		ρ (%)	24,1	20,2	18,0	17,6	17,3
		f _{ck} (*) kgf/cm ²	57	108	148	153	164
		EVOLUÇÃO DO f _{cj} (*)	41,0	75,0	100,0	102,0	110,0
		EVOLUÇÃO DO f _{ck} (%)	39,0	73,0	100,0	103,0	111,0
152-L-01	100/365	f _{cj} (*) kgf/cm ²	44	78	112	119	129
		ρ (%)	31,8	17,8	26,6	22,1	17,3
		f _{ck} (*) kgf/cm ²	32	66	87	97	110
		EVOLUÇÃO DO f _{cj} (%)	39,0	70,0	100,0	106,0	115,0
		EVOLUÇÃO DO f _{ck} (%)	36,0	76,0	100,0	111,0	126,0
fck e f _{cj} (*) NÃO CONSIDERADOS OS PARÂMETROS "P E q"							

Figura 9.49 - Evoluções de resistência de concreto massa com idade

9.5 Controle do Sistema de Refrigeração do Concreto

Durante o transcorrer da obra, quando se utiliza concreto refrigerado, é conveniente manter um rígido controle das temperaturas dos circuitos de água, dos materiais constituintes do concreto, do ar frio de insuflação e do gelo. Desta forma, poder-se-á alcançar a temperatura especificada para o concreto. A Figura 9.50 mostra um tipo de mapa de acompanhamento de temperatura do sistema de refrigeração e dos materiais, adotado em Itaipu e Água Vermelha.

Através desses controles podem ser estabelecidas curvas de consumo de gelo para atingir determinada temperatura no concreto, com base nas quantidades e temperaturas dos materiais componentes.

Para o estabelecimento do concreto de um sistema de pré-refrigeração do concreto é importante adotar uma rotina onde se conheça:

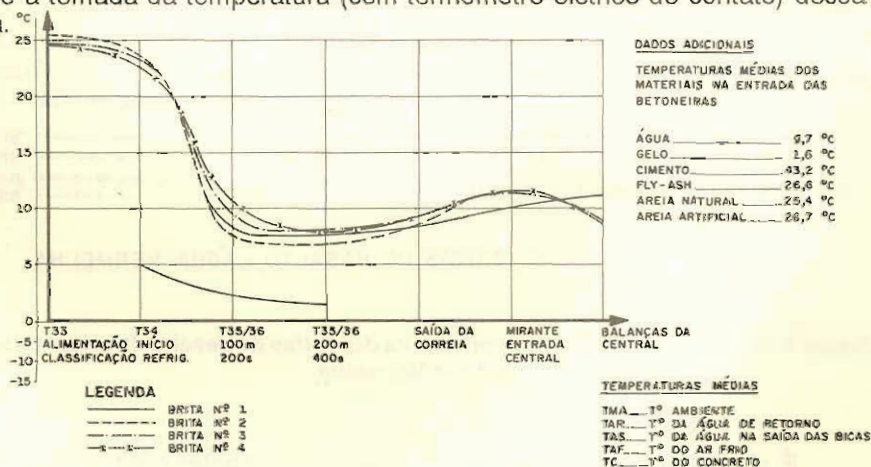
- Temperatura dos materiais antes de entrar no sistema de refrigeração.
- Tipo do sistema.

- Velocidade e outras características da correia de refrigeração (sistema de aspersão).
- Tempo de inundação (sistema de inundação).
- Vazão de água fria e sua temperatura.
- Sistema de produção, estocagem e transporte de gelo.
- Sistema de produção e insuflação de ar frio.
- Condições de isolamento dos silos dos materiais.
- Velocidade de produção do concreto.
- Características térmicas dos materiais.

Nota - Além do sistema de pré-resfriamento do concreto, que é o processo mais usado no Brasil, existe o pós-resfriamento, que remove o calor gerado pela hidratação através da circulação de água gelada por uma tubulação (Serpentina) embutida no concreto.

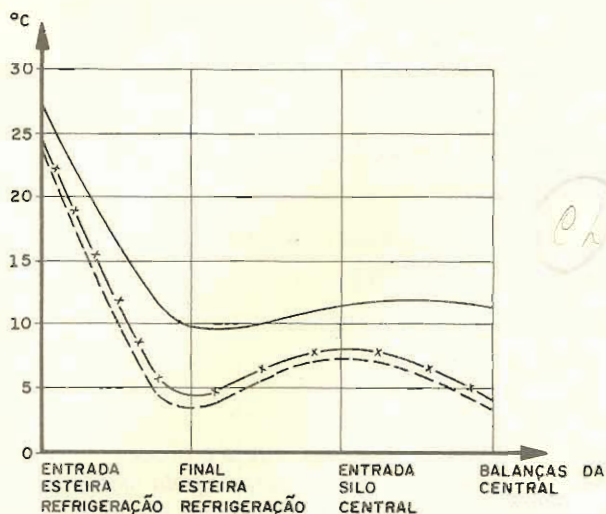
Para medida de temperatura dos agregados, algumas técnicas tem sido usadas. Uma delas é a utilização de calorímetro para a determinação. Nesse processo de medidas há necessidade de se determinar o "Equivalente" do calorímetro, o que requer cuidado suplementar.

Outro método usual e prático, que tem dado resultados satisfatórios, é a utilização de uma caixa isolada termicamente (podem ser usadas caixas de plástico expandido, como por exemplo as de estiropor). Para a determinação da temperatura utiliza-se de um termômetro elétrico, de contato, como mostrado na Figura 9.18. Quando possível, a caixa térmica é deixada no ambiente de estoque do agregado. Outro procedimento é o de coletar uma primeira amostra, colocando-a no interior da caixa, fazendo-se que o ambiente no interior da mesma se aproxime da amostra. Imediatamente após a obtenção de equilíbrio, coleta-se uma outra amostra com o mesmo procedimento, colocando-a na caixa, e faz-se a tomada da temperatura (com termômetro elétrico de contato) dessa outra amostra.



A-BRITAS DE BASALTO-ITAIPU

Figura 9.50 - A - Controle de temperatura das britas de basalto do sistema de refrigeração do concreto de Itaipu



DADOS ADICIONAIS

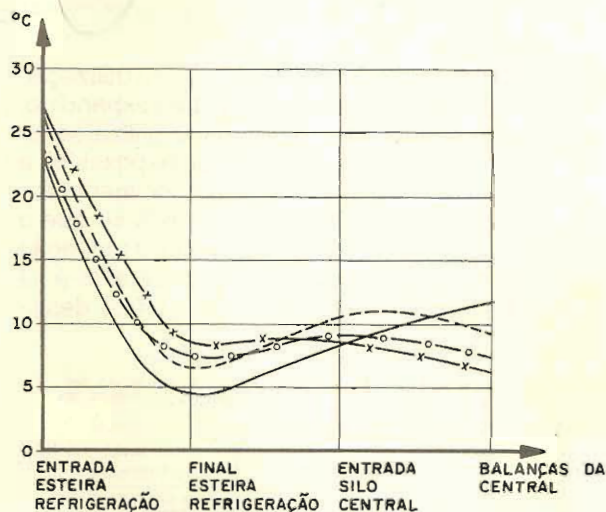
TEMPERATURAS MÉDIAS DOS
MATERIAIS NA ENTRADA DAS
BETONEIRAS

CIMENTO	60,8 °C
POZOLANA	43,5 °C
ÁGUA	9,8 °C
AREIA	23,5 °C
GELO	1,5 °C

LEGENDA

—	CASCALHO Nº 1
- - -	CASCALHO Nº 2
-x-x-x-	CASCALHO Nº 3

B - CASCALHO DE QUARTZITO - ÁGUA VERMELHA



DADOS ADICIONAIS

TEMPERATURAS MÉDIAS DOS
MATERIAIS NA ENTRADA DAS
BETONEIRAS

CIMENTO	60,8 °C
POZOLANA	43,5 °C
ÁGUA	9,8 °C
AREIA	23,5 °C
GELO	1,5 °C

LEGENDA

—	BRITA Nº 1
- - -	BRITA Nº 2
-o-o-o-	BRITA Nº 3
-x-x-x-	BRITA Nº 4

C - BRITAS DE BASALTO - ÁGUA VERMELHA

Figura 9.50 - B e C - Controle de temperatura das britas de basalto do sistema de refrigeração do concreto de Água Vermelha

É recomendado um cuidado especial para se obter o equilíbrio aproximado no interior da caixa, levando-se em consideração a difusibilidade e as dimensões do material amostrado.

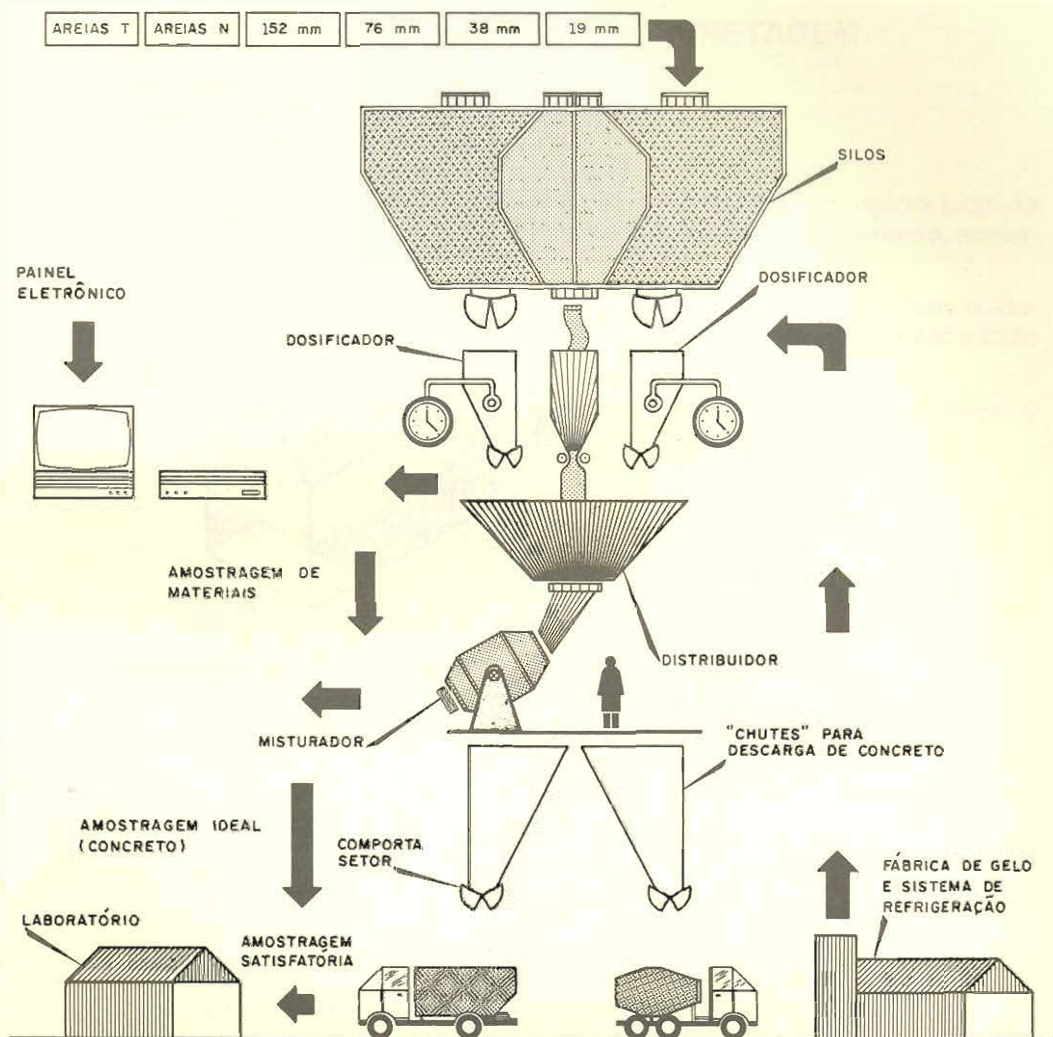


Figura 9.51 - Pontos de amostragem em centrais gravimétricas tipo vertical

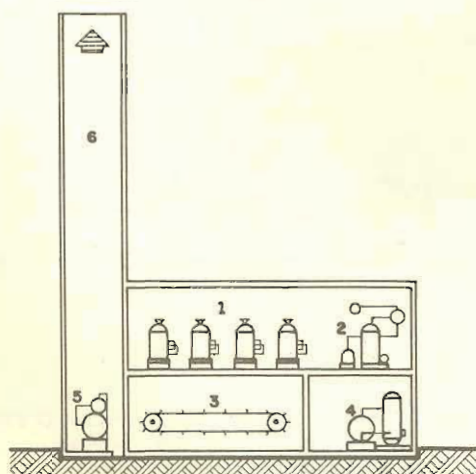
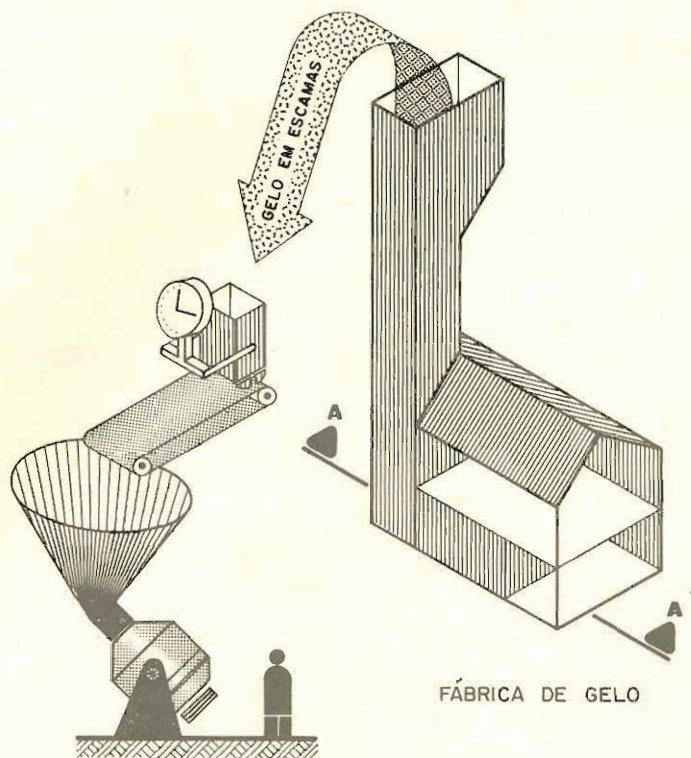


Figura 9.52 - Visualização do sistema de fabricação e transporte de gelo

10. PREPARATIVOS PARA CONCRETAGEM

A fase final de controle de qualidade do concreto se dá na preparação adequada da praça onde o concreto será lançado e durante o lançamento, adensamento, acabamento e cura do mesmo.

Na fase de preparação para lançamento há necessidade de uma vistoria cuidadosa tanto no que se refere ao plano de concretagem proposto pelo Construtor quanto à preparação do bloco propriamente dito.

Durante a fase de "liberação" do bloco para início de lançamento do concreto é necessário que os itens abaixo listados sejam verificados cuidadosamente:

- Posicionamento de embutidos.
- Alinhamento, nivelamento e fixadores de fôrmas e guias.
- Fundação.
- Montagem elétrica.
- Montagem mecânica.
- Posicionamento, categoria e dobramento das armaduras.
- Tubulações embutidas e drenos.
- Dispositivos.
- Estado geral das fôrmas.
- Calafetação.
- Instrumentação.
- Reparos.
- Chumbamentos em geral e elementos de injeção.
- Tratamento e limpeza das superfícies.
- Equipamentos necessários para o lançamento.
- Equipe de pessoal disponível para os serviços.

Liberada a frente de trabalho, a Fiscalização deve enviar de imediato um elemento treinado, munido das informações necessárias sobre tipos de concretos, bitolas de agregados e trabalhabilidade do concreto necessário.

O inspetor deve estar bem atento para a limpeza e fixação de armaduras, veda-juntas, e drenos contra os quais se vá lançar o concreto.

10.1 Requisitos a Serem Verificados Antes do Lançamento

Ao se iniciar o lançamento de concreto de uma camada, diversos itens devem ser verificados de forma que fique assegurado o perfeito cumprimento dos projetos.

O lançamento do concreto só poder ser iniciado quando os serviços de preparo de fôrmas, embutidos, armação, dispositivos de vedação, preparo da junta de construção, tratamento de fundação, etc. estejam concluídos e que tenham sido, minuciosamente, verificados pela Fiscalização.

Recomenda-se a adoção do Cartão de Liberação como meio de controlar a realização destas verificações. O Cartão de Liberação identifica o bloco, a camada e a cota da camada em questão. Neste cartão constam uma coluna com os itens a serem verificados e duas outras com espaços para as assinaturas.

Eventualmente pode ser concedida liberação para início do lançamento do concreto ainda que não estejam concluídos todos os serviços da camada.

Para que isto seja possível, é necessário que o Plano de Concretagem seja criteriosamente analisado e que os prazos necessários para a conclusão dos serviços sejam cuidadosamente avaliados de forma que não ocorram paralisações, no decorrer da concretagem, prejudiciais à qualidade do concreto (ocorrência de juntas frias, etc).

Recomenda-se que esta concessão somente seja feita quando o desempenho do Construtor esteja bem conhecido.

10.2 Superfícies de Fundação

10.2.1 Generalidades

Todas as superfícies de fundação onde haja lançamento do concreto somente devem ser concretadas após os serviços de tratamento (mapeamento geológico, preparo da superfície etc.) estarem conforme as exigências de projeto.

Caso ocorram infiltrações de água, deverão ser previstos sistemas de esgotamento ou utilização de drenos e tubos coletores para drenagem e bombeamento d'água. Os tubos coletores e os drenos devem ser dirigidos para uma manilha onde é colocada uma bomba para esgotamento de água.

Esta manilha deve acompanhar as concretagens até a estabilização do nível da água quando então devem ser concretados e injetados.

10.2.2 Fundações em Solo

As fundações em solos, sobre as quais haja lançamento de concreto, devem ser limpas, umedecidas e livres de água.

Antes do lançamento de concreto, a fundação deve se achar satisfatoriamente compactada.

Recomenda-se para fundações em solo uma regularização com material são e resistente (areia, brita, cascalho etc.) ou, preferencialmente, com concreto magro, principalmente em solos porosos.

10.2.3 Fundação em Rocha

Após a liberação da fundação iniciam-se os serviços de limpeza. Esses serviços incluem a eliminação de rochas soltas, materiais orgânicos, substâncias oleosas, bem

como outros materiais estranhos. Na execução desses serviços devem ser utilizados jatos de água e ar, inclusive para limpeza da fissuras impregnadas de argila ou outros materiais finos. Esse serviço deve ser efetuado cuidadosamente, de forma a não danificar a superfície.

Na complementação desses serviços são utilizadas picaretas, alavancas etc. para remoção de rochas soltas. As rochas que não se soltem facilmente não devem ser removidas e quando do lançamento do concreto suas fissuras devem ser convenientemente preenchidas com uma argamassa plástica.

Toda água remanescente da lavagem deve ser removida.

Caso sejam observados materiais da fundação facilmente desagregáveis, sob a ação das intempéries, deve-se evitar a utilização de água, fazendo-se a limpeza apenas com jato de ar e concretando o mais breve possível.

Quando do lançamento do concreto, a rocha deve estar isenta de materiais finos e nas condições de saturada com superfície seca, de forma que não haja absorção da água do concreto fresco.

A escolha da dimensão máxima característica do agregado do concreto deverá ser compatível com as irregularidades existentes na superfície, procurando-se adotar a maior dimensão característica possível.

As regiões de fundação onde existem fissuras, depressões etc. devem ser tratadas com aplicação de argamassa fluída espalhada com vassourão. Nestes casos, deve-se tomar o cuidado de não abrir frentes que não sejam cobertas rapidamente pelo concreto. A falta de observância desta recomendação conduzirá ao ressecamento desta fina camada de argamassa que, neste caso, terá de ser removida. Eventualmente, esta argamassa pode ser substituída pela aplicação de fina subcamada de um concreto mais argamassado no contato com a rocha. Este concreto serve também para absorver eventuais segregações dos concretos massa lançados em seguida.

A fundação em rocha é a mais aceita para as barragens e obras de grande porte.

Materiais friáveis, pouco resistentes, são retirados por máquinas, alavancas e picaretas.

Para se atingir os níveis geo-mecânicos adequados para suporte da estrutura, normalmente é feito um desmonte a "fogo" por detonação.

Tem sido adotada uma providência técnica de registro, que é o mapeamento geológico da fundação para demonstrativo de qualidade e segurança da obra.



Figura 10.1 - Preparo de fundação em rocha para o mapeamento geológico e posterior liberação. Observa-se o emprego de máquina (Bulldozer) e ferramentas manuais - Itaipu



Figura 10.2 - Mapeamento para descrição geológica - Itaipu



Figura 10.3 - Utilização de trator de lâmina frontal (Bulldozer) com dente (ripper) para o preparo da fundação - Itaipu

É comum utilizar-se também do monitor, com jato de água com elevada pressão e razoável vazão, para o preparo da fundação em rocha.

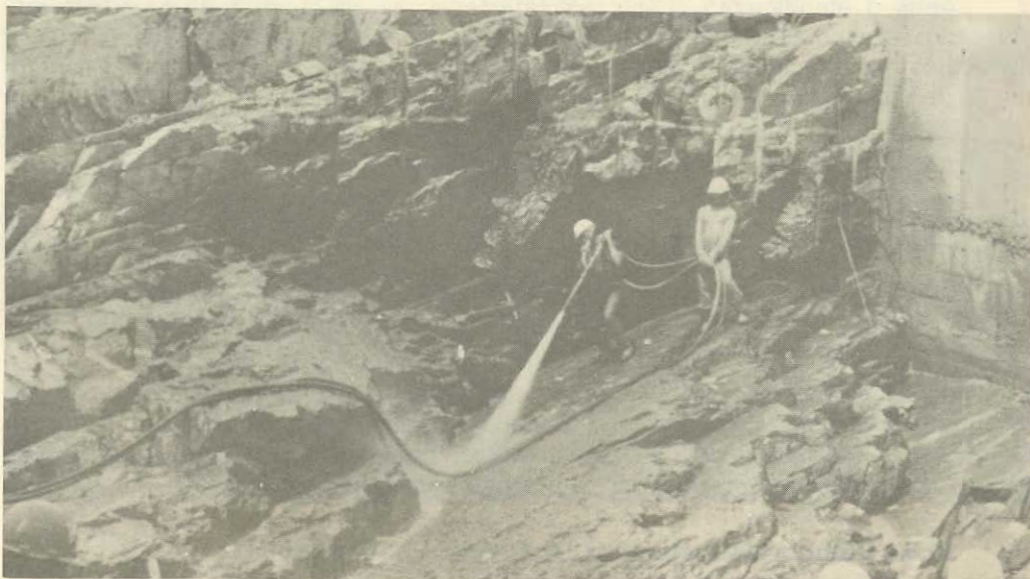


Figura 10.4 - Utilização de monitor para preparo de fundação em rocha - Itaipu

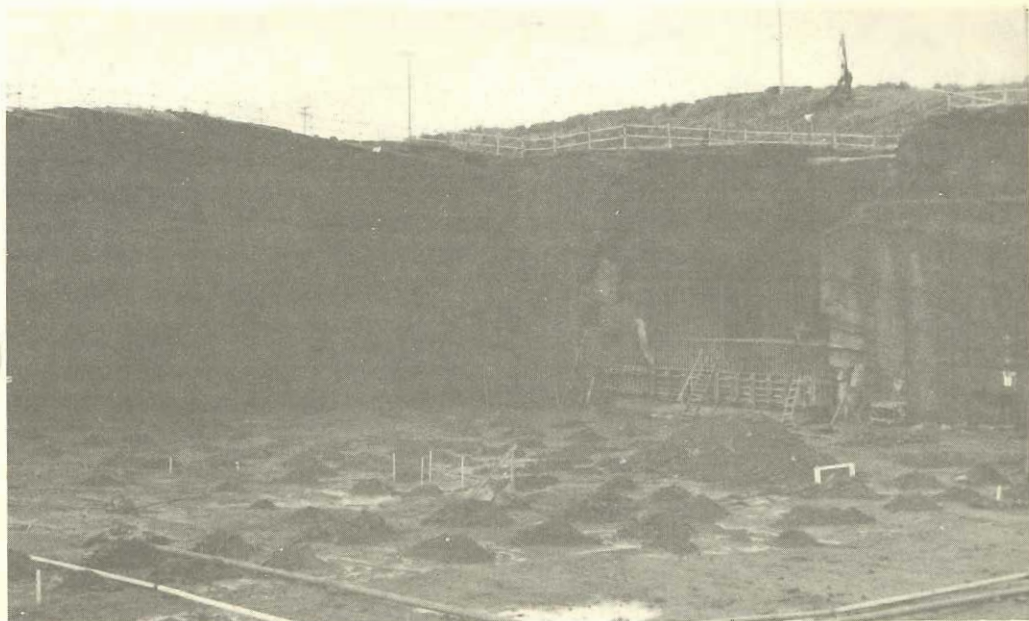


Figura 10.5 - Vista de uma região em preparo de fundação para receber o concreto - Porto Primavera

Após o atendimento quanto às características de suporte da fundação são colocados, onde necessários, chumbadores e/ou elementos drenantes. São fixados os elementos de vedação junto à fundação. Posteriormente faz-se a limpeza e o esgotamento da área.

10.3 - Superfícies das Juntas de Construção

10.3.1 Junta de Construção

Entende-se por junta de construção, a superfície de contacto, entre concreto endurecido e concreto fresco, sem incorporação entre os mesmos, mas que exista ligação entre ambos por aderência.

A natureza da ligação entre os concretos dependerá substancialmente do estado da superfície do concreto endurecido. Estudos efetuados sobre o tratamento de juntas mostraram que as tratadas por jateamento apresentaram-se sete vezes mais eficientes (em termos de resistências mecânicas) do que as juntas não tratadas [10.1].

10.3.2 Métodos de Preparo da Superfície

O tratamento da superfície da junta de construção consiste na remoção de todo concreto poroso (não consolidado), nata de cimento, carbonatação, materiais mais finos etc. O concreto poroso (endurecido e não consolidado) deve ser removido por meio de

rompedores, calafates, alavancas etc. A remoção da nata superficial ou carbonatação poderá ser executada pelos seguintes processos de jateamento.

- Jato de areia.
- Jato de água a alta pressão.
- Jato de água e ar (corte verde).
- Outros processos.

Jato de areia

Este processo baseia-se no choque de grãos de areia sobre a superfície do concreto, removendo a nata superficial e todo material fino, deixando a superfície áspera, com exposição de agregado miúdo. A areia utilizada no jato deve ser densa, dura, não friável, desprovida de materiais finos e completamente seca (comumente chamada de areia torrada). Para jatos de areia úmida, pequenos jatos de água são admitidos na areia, através de uma tubulação colocada na extremidade do bico ejetor.

Recomenda-se seu uso para superfície de concreto com idades avançadas, concretos de altas resistências e em fundações em rocha expostas por longos períodos após as escavações.



Figura 10.6 - Jato de areia - Porto Primavera

Jato de Água a Alta Pressão

Este processo utiliza jato de água a alta pressão, por meio de espingardas providas de bicos ejetores, que direcionam o jato d'água em forma de leque sobre a superfície.

A sua aplicação é recomendável para concretos, cujas retomadas das camadas se dêem em intervalos de 5 a 10 dias. A pressão da água não deve ser inferior a 200 kgf/cm^2 . A água deve ser tratada, pois a utilização de água industrial acarreta abrasão prematura do bico injetor, prejudicando o rendimento do corte.

As bombas de alta pressão (BAP) não requerem ar comprimido, já que seu jato é produzido por uma bomba, acionada por motor elétrico ou a combustível. As unidades trabalham com pressões acima de 210 kgf/cm^2 com um consumo d'água compreendido entre 40 e 150 l/minuto.

A relação entre a vazão e a pressão é variável para uma mesma máquina, dependendo do bico da pistola e do diâmetro do pistão da bomba. A forma do bico deve dar uma difusão em leque.

Em condições normais de trabalho, o rendimento de cada lança-pistola está ao redor de $28\text{-}30 \text{ m}^2/\text{h}$, sendo que cada bomba trabalha com duas lanças, dando uma produção de aproximadamente $60 \text{ m}^2/\text{h}$.

Caso ocorra descolamento de partículas de agregado graúdo, o corte deve ser retardado até que o concreto tenha resistência suficientes de modo que ocorra remoção somente da nata e materiais finos.



Figura 10.7 - Bomba para jato de água a alta pressão - Porto Primavera



Figura 10.8 - Excesso do corte no concreto - Porto Primavera

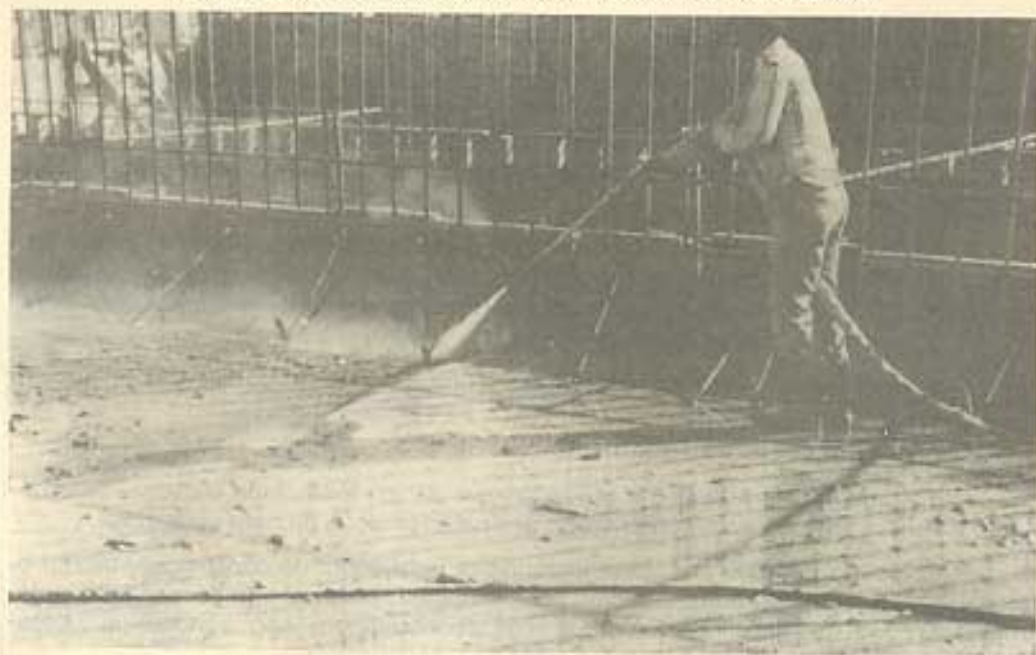


Figura 10.9 - Corte Insuficiente

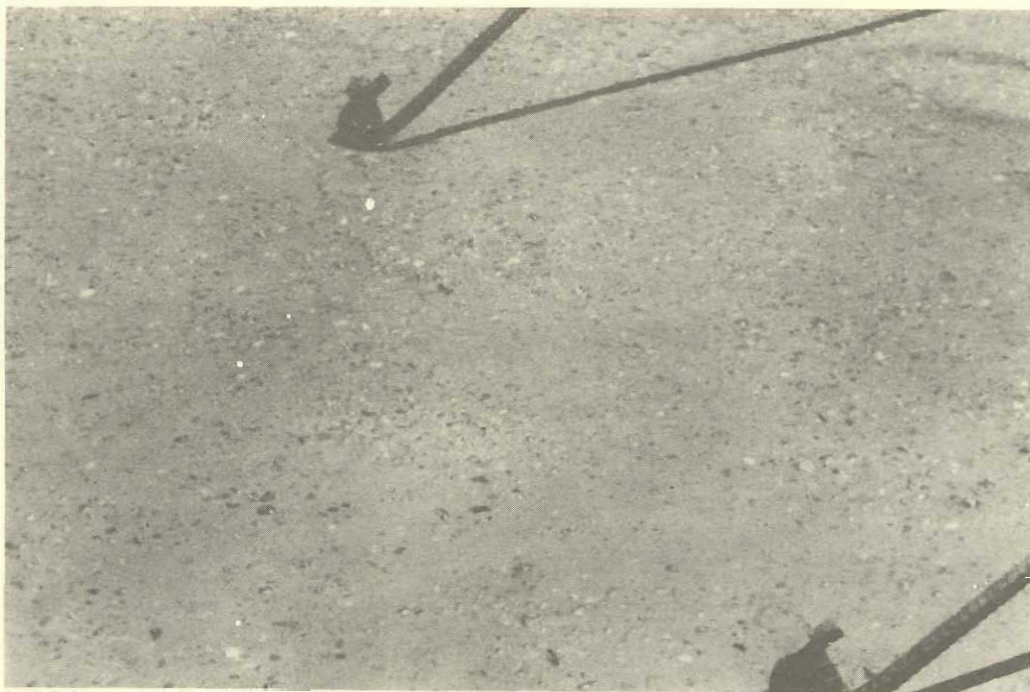


Figura 10.10 - Corte ideal

Corte com Ar e Água (Baixa Pressão - Espingarda)

A utilização do corte com ar e água (corte verde) é feito por meio de "espingarda", providas de entradas simultâneas de ar e água, que direcionadas sobre a superfície removem a nata superficial sem que haja exposição significativa do agregado graúdo. A pressão do ar deve se situar ao redor de 7 kgf/cm^2 e a da água a suficiente para permitir seu arraste pelo ar.

O início do corte pelo processo ar e água deve se dar imediatamente após o fim de pega do concreto, tomando-se precauções para que não haja remoção excessiva de material devido a sua aplicação prematura. Em contrapartida, esse início não deve ser retardado, de forma que não mais seja possível remover a nata superficial.

Caso isso ocorra, deve ser utilizado outro processo de tratamento de junta.

Outros Processos de Tratamento

Em alguns casos podem ser utilizadas alavancas, marteletes etc. para apicoamento da superfície ou uso de escovas de aço para remoção da nata superficial.

A utilização de telas metálicas expandidas, em juntas de construção, facilita o tratamento da junta (paredes verticais ou inclinadas), pois este pode ser feito pela simples lavagem da superfície momentos após a concretagem (normalmente utilizadas em junta de construção entre concretos primário e secundário).

A superfície obtida com esse tipo de forma é rugosa, garantindo uma boa aderência entre juntas.

A obtenção da rugosidade em juntas de construção pode também ser conseguida com a aplicação de retardadores de pega nas faces das fôrmas. Este processo, no entanto, tem o inconveniente de poder ocasionar riscos à qualidade do concreto quando o produto retardador não for corretamente aplicado.

A escolha do processo de tratamento superficial das juntas de construção, deve ser feita com bases técnicas e econômicas, observando porém que qualquer processo adotado deve remover somente a nata superficial sem exposição do agregado graúdo. A superfície deve estar áspera e isenta de materiais frágeis, manchas, óleos etc.

10.4 Embutidos

O termo engloba uma série grande de dispositivos de diversos materiais tais como tubulações várias (drenagem, injeção, eletrodutos, água, ar, esgoto, bombeamento, ventilação etc.) ancoragens, chumbadores, dispositivos de vedação, aterramento etc.

Por esse motivo, o critério para sua aplicação não pode ser generalizado.

Cada embutido deve ser analisado quanto a sua finalidade, condições de trabalho, vida útil estimada etc.

Em função dessa análise são estabelecidos os critérios mais ou menos rigorosos quanto a sua locação, escoramentos, emendas etc.

De uma maneira geral, os embutidos devem ser instalados conforme as indicações de projeto, de forma que fique assegurado seu correto posicionamento após as operações de concretagem.

10.4.1 Dispositivos de Vedação

Veda-juntas são elementos instalados nas juntas de contração e concretagem, com o objetivo de torná-las estanques. Os dispositivos de vedação mais utilizados são os de PVC (cloreto de polivinila). Em algumas situações, no entanto, recorre-se a dispositivos de vedação metálicos confeccionados em chapas de cobre ou aço.

Localização, tolerância, dimensões e tipos dos dispositivos de vedação são os indicados nos projetos.

Em virtude da simplicidade de instalação, menor custo, facilidade de emenda etc. o dispositivo de PVC é o mais indicado na construção civil. Em função da pressão da água atuante, dimensões e armação de peça e finalidade da junta, escolhe-se o perfil mais indicado.

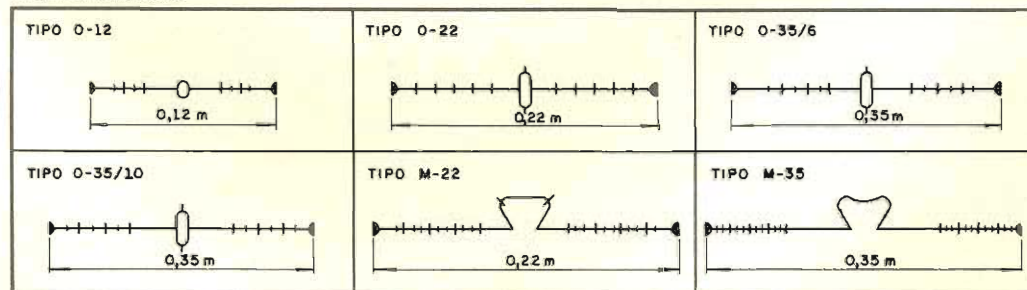


Figura 10.11 - Perfis usuais, no Brasil

O perfil tipo "O" são utilizados, com maior freqüência, em juntas invisíveis, enquanto o "M" em juntas visíveis. A largura e a espessura da alma são escolhidas em função das pressões a que estarão submetidos os dispositivos de vedação.

Especial atenção deve ser dispensada às emendas. As extremidades das juntas a emendar devem estar perfeitamente alinhadas.



Figura 10.12 - Ligação de veda-junta após o pre-aquecimento das superfícies de contato

As emendas devem ser, preferencialmente, executadas em oficinas de campo.

O procedimento corrente é de se aquecer as faces frontais dos veda-juntas, justapondo-as a uma lâmina de cobre ou aço aquecida e ao se iniciar a fusão remover a ferramenta apertando-se firmemente as extremidades (Figuras 10.12; 10.13; 10.14).

Para a execução de emendas nos veda-juntas normalmente são usados:

- maçarico de solda branca (a gás);
- facão comum;
- esquadro;
- lápis;
- trena;
- escova de aço;
- lixa;
- e bastão.

O veda-junta apresenta o bulbo oco, capaz de comprimir-se ou dilatar-se, adaptando-se aos movimentos das juntas do bloco (tração, compressão e cisalhamento).

A seqüência para execução da emenda é a que se segue, sendo recomendável que as operações sejam feitas por duas pessoas:

- Riscar em esquadro e cortar a extremidade dos veda-juntas a ser emendados.
- Aquecer a lâmina do facão, utilizando o maçarico de solda branca, até que a lâmina adquira uma coloração azulada, com temperatura que amoleça o termoplástico, sem queimá-lo.
- Unir os dois veda-juntas contra a lâmina aquecida do facão (só até a metade).
- A emenda de topo deve ser feita em duas etapas distintas, partindo cada vez do bulbo para as bordas laterais.
- Ao verificar o amolecimento das extremidades dos dois veda-juntas, a ponto de fusão, recuar a lâmina do facão, pressionando ao mesmo tempo os dois veda-juntas, um contra o outro.
- Limpar a lâmina para a próxima soldagem, utilizando a escova de aço e a lixa.
- Após a soldagem, verificar e retocar as emendas.

Para o retoque, utilizar uma ferramenta apropriada (bastão) aquecida pelo maçarico de solda branca.

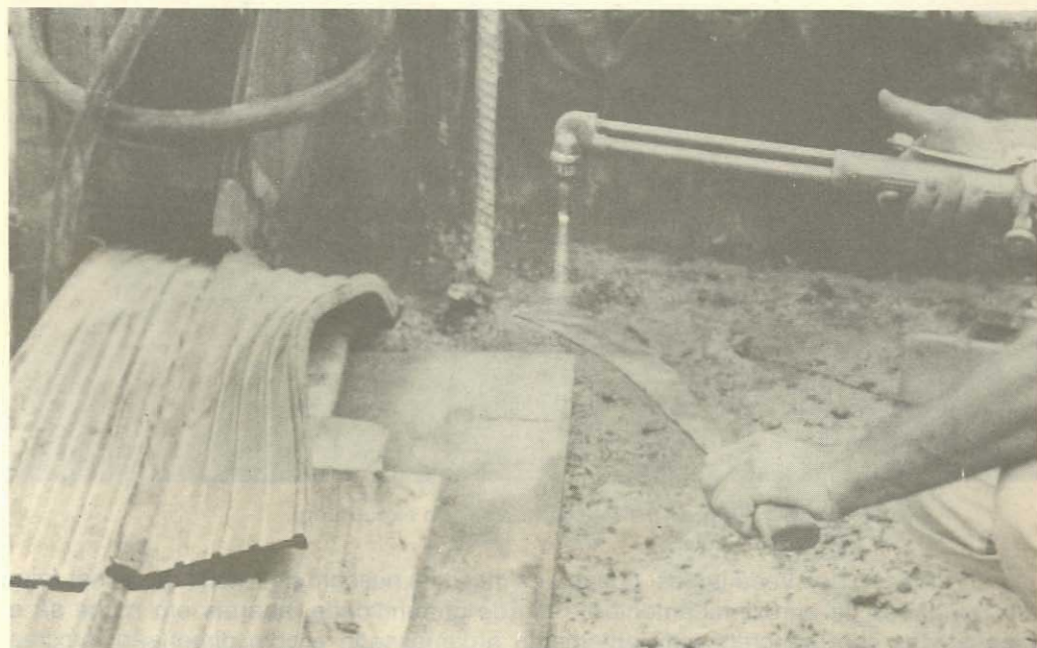


Figura 10.13 - Pré-aquecimento da ferramenta que permite a fusão dos veda-juntas

Os dispositivos de vedação e as emendas devem atender às recomendações do Capítulo 8.

No campo, as emendas devem ser verificadas, dobrando-se em movimentos alternados e enérgicos por diversas vezes. O aparecimento de qualquer indício de deficiência na execução da mesma condena a emenda.

As emendas devem ser executadas somente por operários especializados e previamente qualificados.

A reprovação de mais de uma emenda desqualifica o operário para a execução das mesmas.

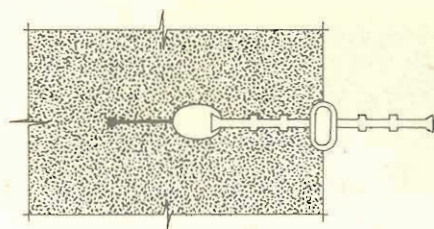
Os dispositivos devem ser instalados simetricamente, em relação aos comprimentos embutidos no concreto, em cada lado da junta.

Um bom método de fixação dos veda-juntas deve ser previsto de forma a assegurar seu posicionamento, durante as operações de concretagem, sem no entanto ferir-lo. Os sistemas mais utilizados são a fixação por argolas de pressão ou por "pente" metálico, sendo preferível este último, pela maior segurança obtida.

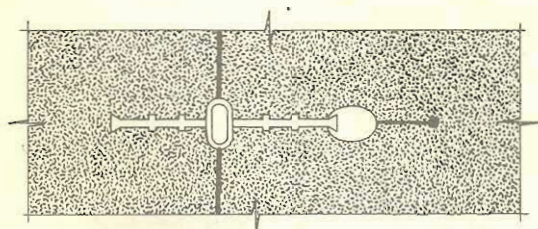


Figura 10.14 - Emenda sendo executada

A fixação dos veda-juntas, quando os mesmos nascem na rocha, deve ser feita em cavidades de aproximadamente 60 cm de profundidade, abertas em rocha sã e preenchidas com concreto suficientemente argamassado e com dimensão máxima característica dos agregados igual ou inferior a 38 mm.



1- SITUAÇÃO QUANDO DA CONCRETAGEM DO BLOCO LÍDER



2- SITUAÇÃO APÓS CONCRETAGEM DO BLOCO SEGUIDOR

Figura 10.15 - Fixação com argolas de pressão

Quando do lançamento do concreto ao redor do veda-juntas deve-se tomar o cuidado de envolvê-lo em ambas as faces, simultaneamente, de maneira a não provocar seu deslocamento. O concreto deve ser cuidadosamente vibrado, de forma a assegurar máxima impermeabilidade e densidade na região envoltória dos veda-juntas.

Em veda-juntas horizontais, seu perfeito envolvimento é mais difícil, existindo o perigo de ocorrerem bolsões de ar aprisionado sob sua aba. De forma a prevenir este fato, recomenda-se que as abas sejam posicionadas ligeiramente inclinadas em relação à horizontal. Um ângulo de aproximadamente 10° é suficiente.

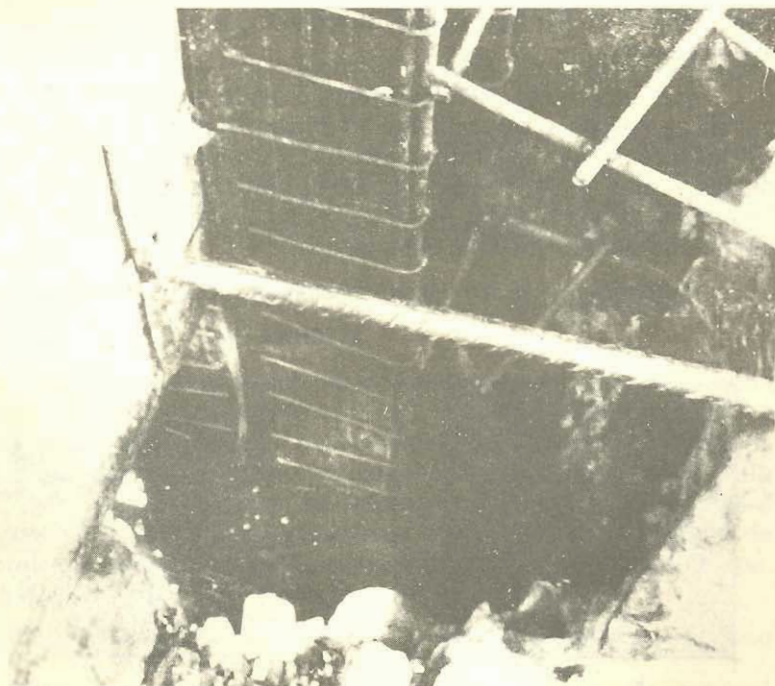


Figura 10.16 - Veda-juntas, nascendo na rocha, já posicionado na cavidade pronta para receber o concreto. Observa-se também a boa fixação lateral do veda-junta obtida com a utilização de "pentes" metálicos.

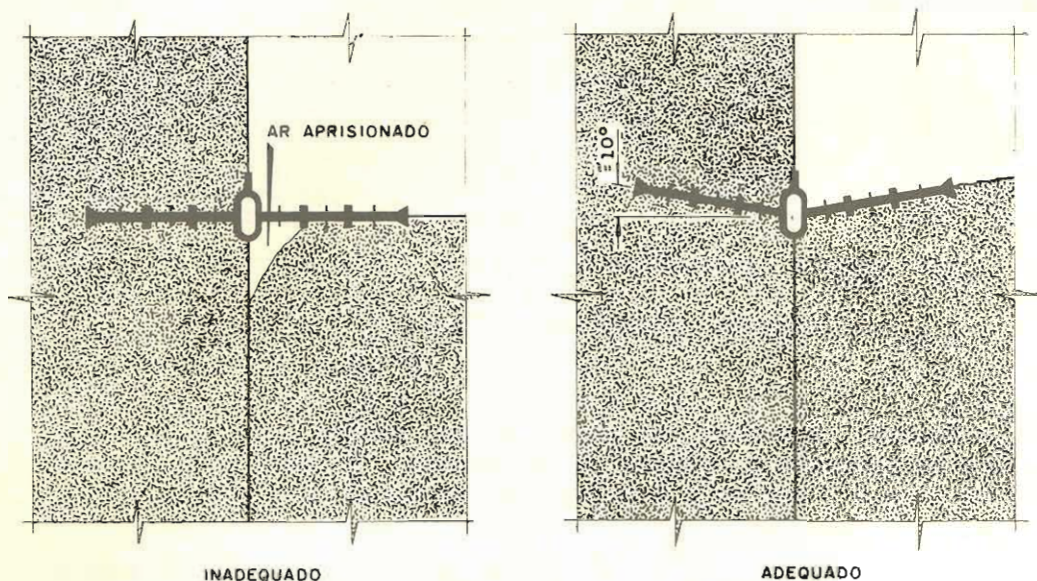


Figura 10.17 - Posicionamento de veda-juntas horizontais

É recomendável também que os veda-juntas horizontais estejam posicionados a pelo menos 15 cm das juntas de construção horizontais, de forma a facilitar seu envolvimento.

Algumas vezes, principalmente quando se faz uso de fôrmas constituídas de painéis metálicos, o posicionamento do veda-juntas passante a fôrma é um problema e exige a confecção de fôrmas especiais. Para esses casos é possível evitar a confecção destas fôrmas adotando-se o recurso de dobrar a aba do veda-juntas a 90° comprimindo-a contra a fôrma. Deve-se ter a precaução de assegurar que o bulbo fique perfeitamente posicionado na junta entre blocos.

As Figuras 10.18 A e B indicam alternativas para adoção deste processo construtivo.

ALTERNATIVA 1

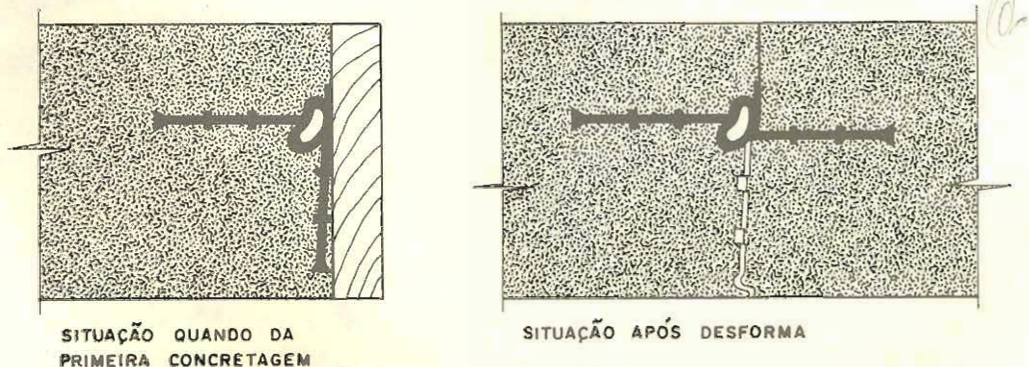


Figura 10.18 - A - Posicionamento de veda-juntas, em juntas verticais - Alternativa 1

ALTERNATIVA 2

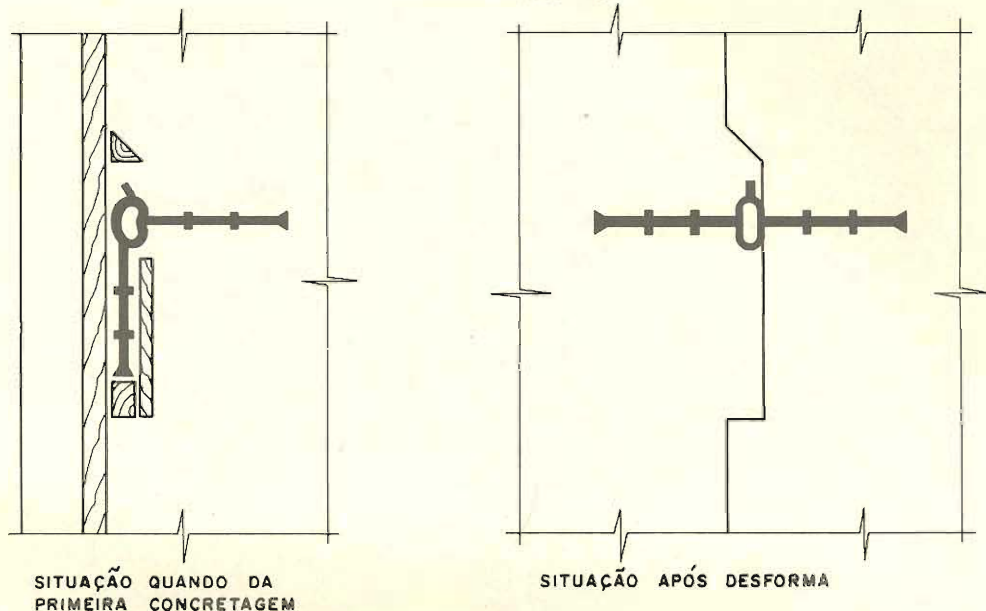


Figura 10.18 - B - Posicionamento de veda-juntas, em juntas verticais - Alternativa 2

A limpeza dos veda-juntas deve ser rigorosa, devendo os mesmos estarem isentos de óleo, graxas etc.

Tendo em vista o fornecimento dos dispositivos de vedação de PVC ser feito em rolos de grande comprimento e ser indesejável seu corte, pois obrigaria a realização de diversas emendas que são sempre pontos fracos, recomenda-se a utilização de carretéis de madeira de onde os dispositivos de vedação vão sendo desenrolados à medida que são aplicados.

Dessa forma, o material não utilizado na camada em concretagem fica protegido de danos eventuais (Figura 10.19).

Além da proteção que deve ser efetuada durante o período construtivo de forma a prevenir a ocorrência de danos aos veda-juntas de PVC, é recomendável também que estes sejam protegidos das radiações solares. Se durante o período construtivo o tempo de exposição for relativamente curto, esta recomendação pode ser dispensável nesta fase. Algumas vezes, no entanto, são previstas ampliações futuras nas estruturas e nestes casos são deixados veda-juntas parcialmente embutidos nas estruturas da primeira etapa, de forma a possibilitar a ligação com as estruturas da segunda etapa, tornando a junta entre elas perfeitamente estanque.

Para estes casos, principalmente em regiões de grande insolação, torna-se indispensável a execução de uma proteção aos veda-juntas expostos.

Uma forma simples de executar esta proteção é instalando-se meias-canais de concreto, PVC chapas rígidas etc., sobre a metade exposta dos veda-juntas (Figura 10.20).

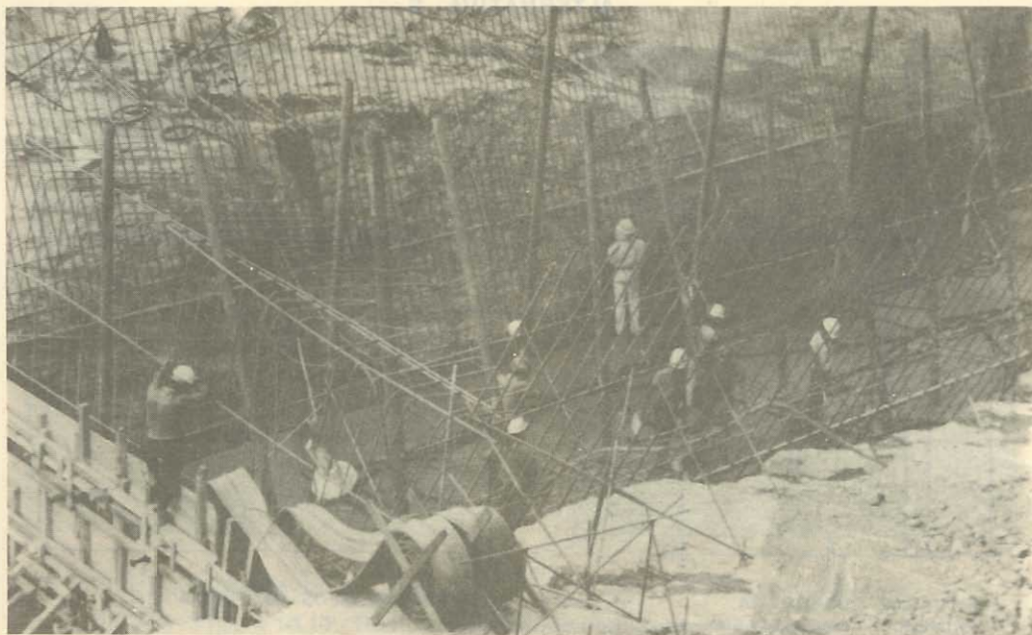


Figura 10.19 - Observa-se veda-juntas instalados em uma camada sendo preparada para concretagem e o restante do material acondicionado em carretel protetor - Tucuruí

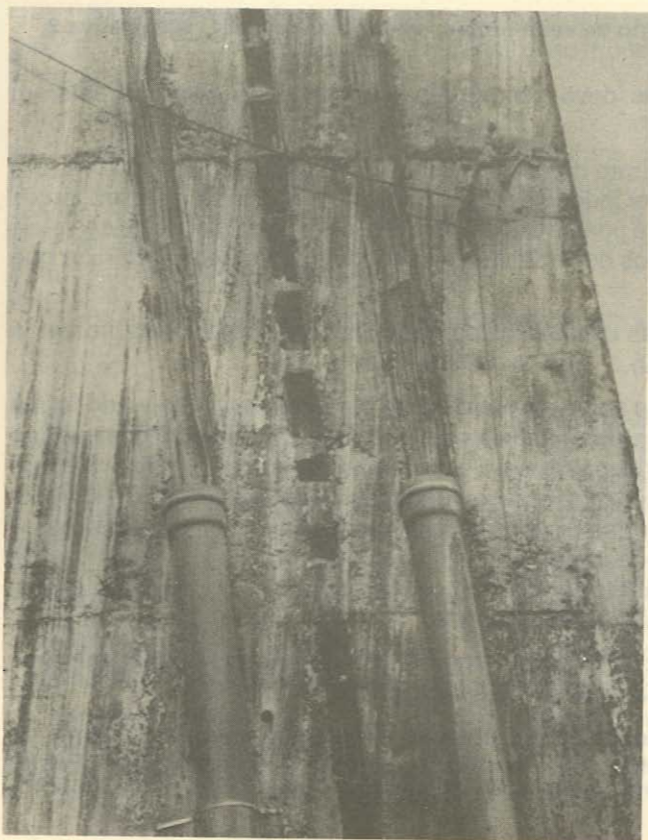


Figura 10.20 - Proteção sendo efetuada com a instalação de meias canas -Tucuruí

10.4.2 Dispositivos Metálicos

Em algumas estruturas, particularmente aquelas que se prestam ao desvio do rio (adufas, túneis etc.), a utilização de dispositivos de vedação de PVC torna-se bastante difícil. Esta dificuldade é devido à necessidade de se prever sistemas de proteção, aos veda-juntas, durante a fase de fluxo d'água.

Tendo em vista as elevadas velocidades geralmente alcançadas pela água, nestas estruturas os sistemas de proteção são extremamente complicados e onerosos. Para esses casos faz-se dispositivos metálicos em chapa de cobre ou aço em função da maior ou menor velocidade das águas. Na Figura 10.21 são indicadas alternativas com um outro material.

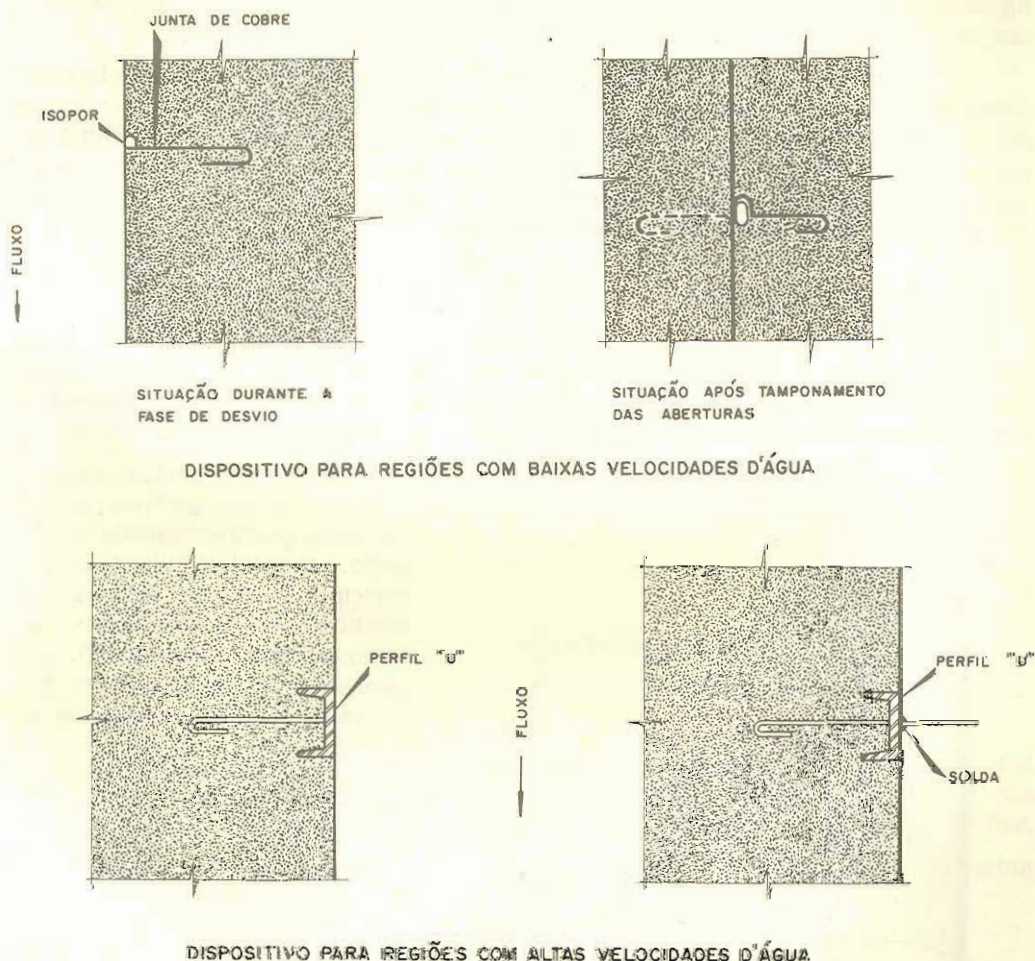


Figura 10.21 - Dispositivos de vedação metálicos

As emendas realizadas com solda devem ser rigorosamente verificadas.

Eventualmente, pode ser exigido que o trecho central dos dispositivos de vedação metálicos seja pintado com uma pasta asfáltica, em ambos os lados, de forma a evitar a aderência com o concreto.

Os cuidados com o envolvimento com o concreto são idênticos aos recomendados para os dispositivos de PVC.

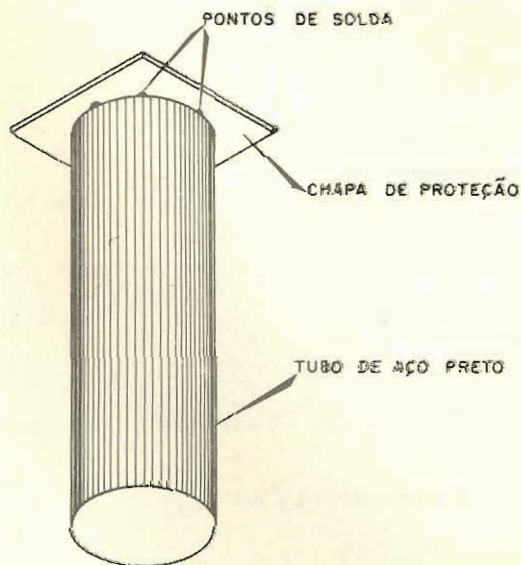
10.4.3 Drenos

O meio mais seguro para aliviar as pressões, dentro da rocha, dentro do concreto ou no contato rocha/concreto consiste na instalação de um eficiente sistema de drenagem. Assim, nas barragens de concreto são projetados e executados drenos profundos na rocha de fundação, drenos superficiais no contato rocha/concreto e drenos no interior dos blocos de concreto, tais como os de parâmetro e os entre veda-juntas.

O perfeito funcionamento desses sistemas de drenagem está intimamente ligado à forma como foram projetados, bem como aos cuidados tomados quando da execução dos mesmos. Durante o período construtivo os sistemas de drenagem correm constante risco de serem obstruídos, e por esse motivo devem ser protegidos e ter suas condições verificadas constantemente. As operações de limpeza e recuperação de drenos são sempre trabalhosas, caras e freqüentemente inviáveis.

Drenagem Profunda

Sob as barragens de concreto costuma-se executar uma drenagem profunda das fundações. Essa drenagem é obtida por meio de uma fila de furos de drenagem executados, geralmente, a partir de uma galeria colocada à montante da barragem. O espaçamento entre os furos varia, e é função do grau de fendilhamento da rocha.



A furação destes drenos é feita, a partir das galerias, através de tubos guias embutidos no concreto. Esses tubos guias têm como principal finalidade atravessar a armadura, eventualmente existente no concreto, dispensando furação com brocas especiais. Sua existência é válida ainda que não haja armação a atravessar, pois seu custo é inferior ao da perfuração do trecho em concreto. Os tubos guias são, em geral, de aço preto. Quando de sua instalação deve ser providenciada tampa para sua boca, de forma a impedir ações inconvenientes como a queda em seu interior de pedaços de barras de aço etc. que possam impedir ou dificultar sua perfuração.

Figura 10.22 - Proteção da boca dos drenos

Esse tamponamento pode ser executado com a instalação de pequenas placas de aço soldadas na extremidade dos tubos (Figura 10.22).

Imediatamente após a execução das perfurações devem ser instalados os dispositivos para conduzir a água drenada para as canaletas. Este dispositivo consta, em geral, de um tubo lateral para a condução da água e um tampão superior para os serviços de manutenção ou pela instalação de uma curva de 180°.

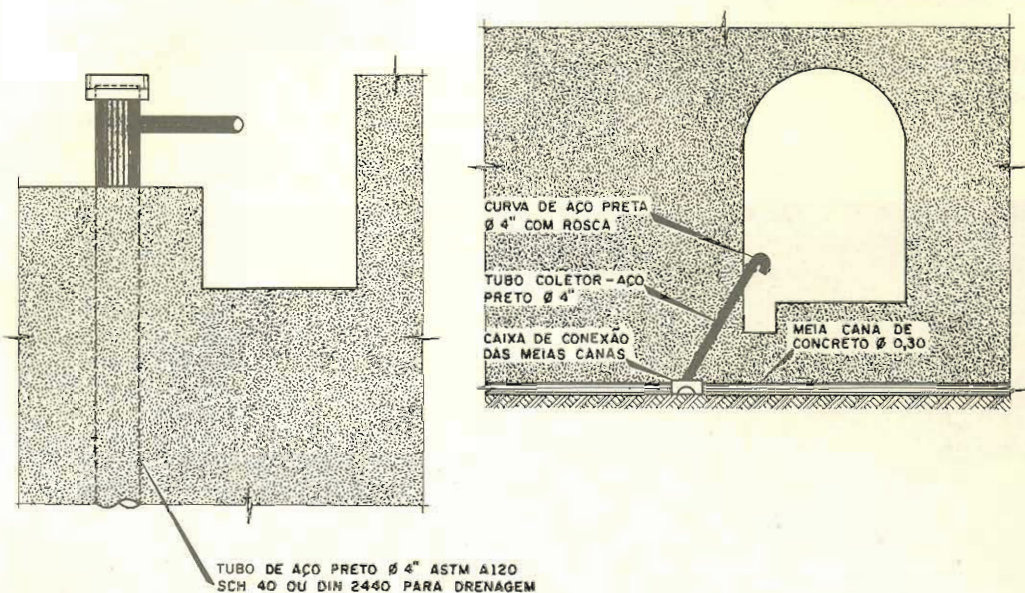


Figura 10.23 - Dispositivos definitivos para tamponamento dos drenos

Drenagem de Contato

A drenagem de contato concreto/rocha é em geral obtida pela instalação de uma malha de meias canas de concreto sobre a superfície da rocha. Pequenas regularizações podem ser feitas com a aplicação de concreto poroso.

A superfície da rocha deve estar perfeitamente limpa quando da instalação das meias-canais e as extremidades das malhas de drenagem devem receber uma proteção provisória com argamassa, de forma a impedir a penetração de detritos em seu interior.

Durante as operações de concretagem devem ser tomadas precauções de forma a evitar impactos de concreto ou vibradores sobre as meias-canais de concreto.

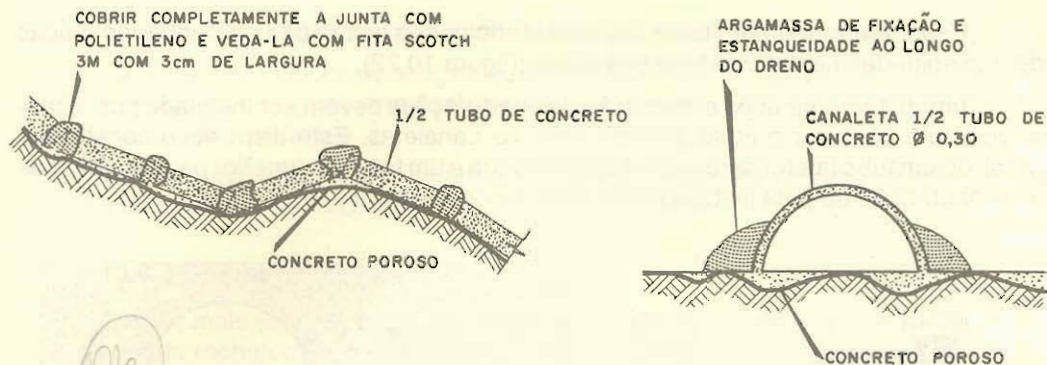


Figura 10.24 - Alternativa para drenagem de contato.



Figura 10.25 - Preparo de uma superfície de rocha para a fundação. Nota-se a malha de drenagem composta por meias-canais de concreto - Itaipu

Os cuidados a serem tomados por ocasião da concretagem e da proteção de suas extremidades são idênticos aos já citados para meias-canais assentes diretamente sobre a rocha.

Drenagem na estrutura de concreto.

Drenos de paramento

Nos blocos de gravidade costumam ser instalados drenos de paramento que têm por finalidade aliviar pressões oriundas da "poro pressão" e de percolações d'água

através de juntas de concretagem, trincas etc. Esses drenos conduzem a água para a galeria de drenagem. No projeto desses drenos devem ser evitadas curvas, pois além de serem pontos de fácil obstrução, dificultam as operações de manutenção e limpeza dos mesmos.

Esse tipo de dreno pode ser obtido pelo deslizamento de tubos atuando como fôrma. Esses tubos são untados de modo a dificultar sua aderência ao concreto e devem ser constantemente movimentados e gradativamente alçados durante as operações de concretagem.

Sua boca deve ser mantida protegida, de maneira a impedir seu entupimento; sob nenhum pretexto deve se permitir a condução, através dos mesmos, das águas provenientes de limpeza do bloco tratamento de juntas etc.

Drenos entre Veda-Juntas

Nas juntas de contração, existentes entre os blocos de concreto, a impermeabilização usualmente é feita por duas linhas de dispositivos de vedação entre elas. Geralmente é instalado um dreno que conduz a água que tenha passado pela primeira linha de veda-juntas para as galerias de drenagem.

Esse dreno serve como um indicador das condições da primeira linha de veda-juntas e pode, eventualmente, ser preenchido com alcatrão, formando uma terceira linha de vedação.

Sua execução é feita com formas no bloco líder e com a instalação de elementos pré-moldados ou meias-canas de concreto no bloco seguidor (ver Figura 10.26).



Figura 10.26 - Drenos em juntas de contração

10.5 Fôrmas

As fôrmas são usadas onde o confinamento e a moldagem do concreto se façam necessárias.

As fôrmas que geralmente são empregadas em estruturas de concreto podem ser, em certos casos, mais caras do que o próprio concreto.

A qualidade das estruturas de concreto dependem, em grande parte, da qualidade das fôrmas empregadas em sua construção. Por esses motivos é necessário que a escolha das fôrmas seja precedida de um estudo, suficientemente apurado, de maneira a se obter a solução que melhor atenda aos parâmetros técnicos e econômicos.

As fôrmas, de uma maneira geral, devem ser resistentes, rígidas e duráveis, de modo a suportar as pressões resultantes do lançamento e da vibração do concreto e devem ser conservadas rigidamente em posição, sem a ocorrência de deflexões, deformações e danos que possam prejudicar a qualidade do concreto lançado.

As fôrmas devem ser suficientemente estanques de modo a evitar perdas de argamassa.

10.5.1 Fôrmas Fixas

No Brasil as formas eram, até pouco tempo atrás, fabricadas inteiramente em madeira, no próprio canteiro de obras.

Com o aumento do custo da madeira e da mão-de-obra e em decorrência da necessidade de se executar obras em prazos cada vez mais curtos, passou-se a utilizar painéis padronizados e pré-fabricados. Esses painéis podem ser metálicos ou mistos (chapas de compensado e estrutura em aço ou chapas de compensado e estrutura de madeira).

Em obras de concreto massa faz-se uso, em larga escala tanto dos painéis totalmente metálicos, quanto dos mistos. Essas fôrmas são fixadas a dispositivos deixados embutidos na camada anterior e de maneira geral dispensam a utilização de tirantes. Este processo permite montagens rápidas e com reduzida mão-de-obra. Normalmente já existem, acoplados a ela, andaimes que possibilitam a execução de reparos no concreto etc.

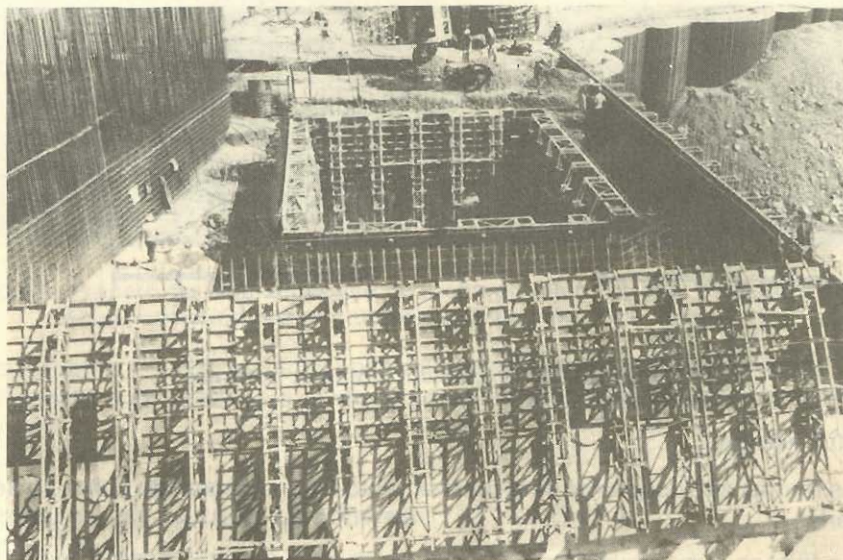


Figura 10.27 - Fôrmas constituídas por painéis enrijecidos e sustentados por mísulas, em estruturas metálica, ancoradas ao concreto já solidificado

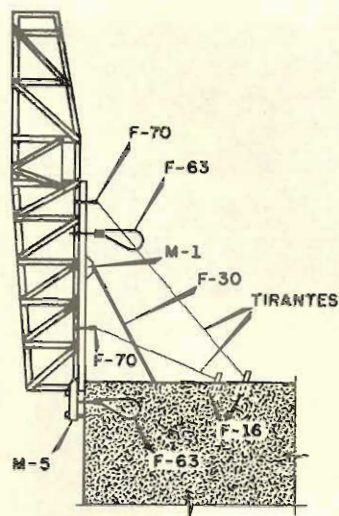
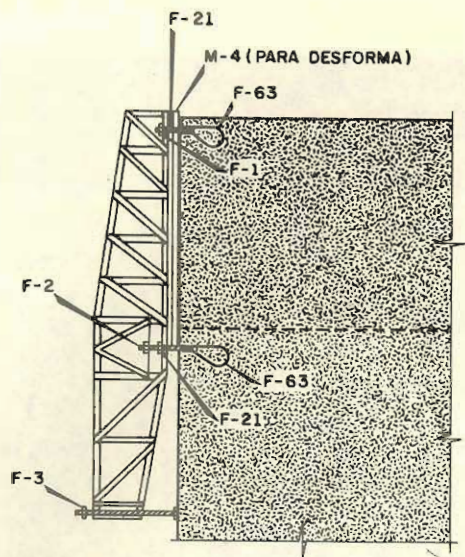


Figura 10.28 - Esquema de montagem dos painéis em sua posição normal ou invertida. Observa-se a "aranha" (F-63) que serve de fixação da fôrma ao concreto

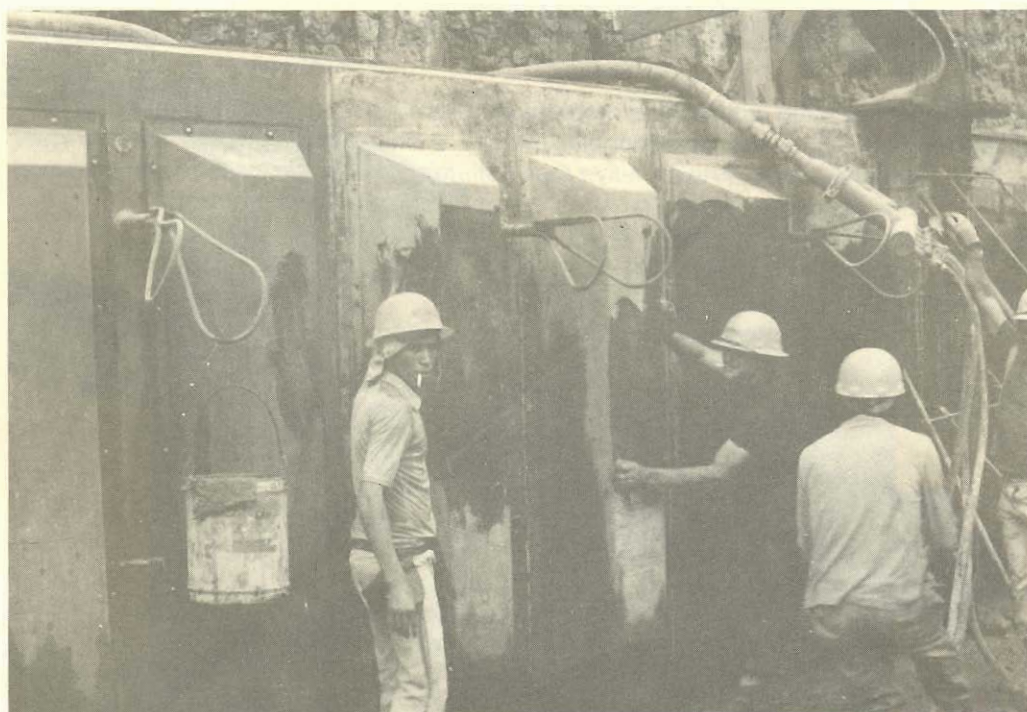


Figura 10.29 - Operação de untamento das fôrmas (metálicas almofadadas). Observa-se na foto as "aranhas" que servirão para posicionamento das fôrmas no próximo lance de concretagem - Itaipu

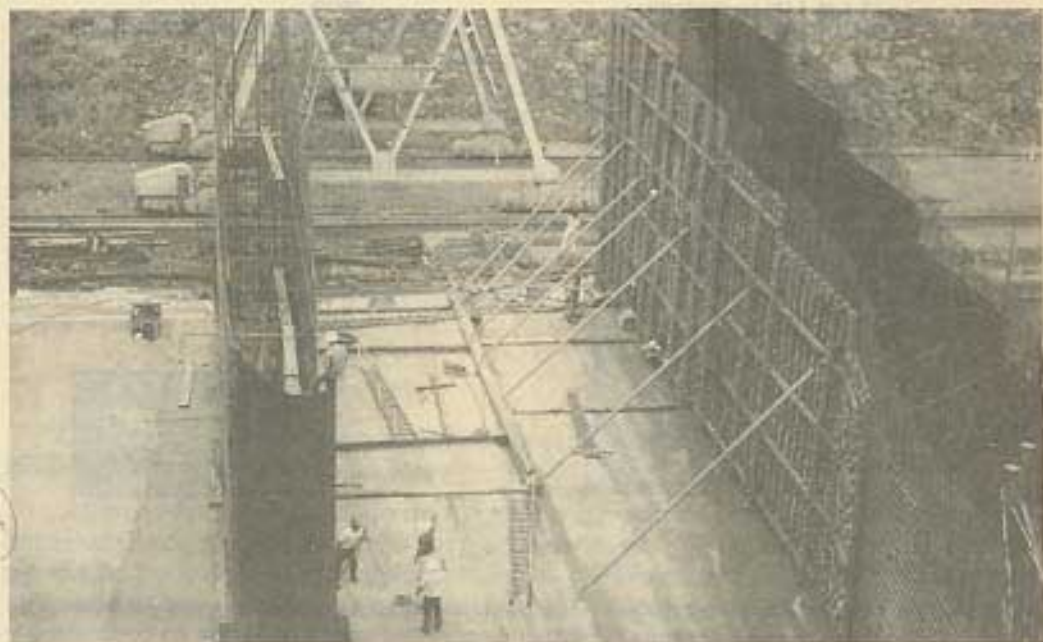


Figura 10.30 - Painéis de grande altura - Porto Primavera

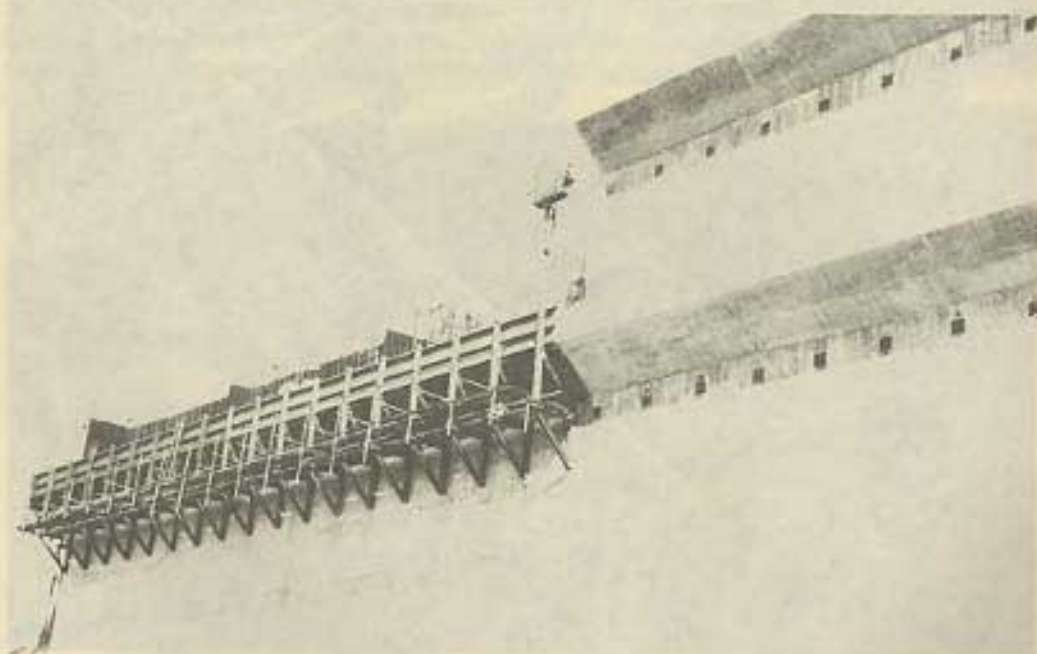


Figura 10.31 - Fôrmas para mísulas - Rosana



Figura 10.32 - Porções de concreto aderidos à forma, devido ao untamento deficiente

É importante que as fôrmas estejam ajustadas e vedadas, caso contrário pode ocorrer perda de argamassa que resultará em "bicheira", ou uma perda d'água que coloca em exposição o agregado.

O painel de "pé", para início de concretagem de paredes, deve ser reforçado na parte inferior com uma longarina e vedado inferiormente por meio de uma tira de borracha, fita adesiva ou espuma sintética para evitar a perda de argamassa.



Figura 10.33 - Concreto poroso e descontinuidade na superfície, devido a má fixação e vedação do "pé" do painel, propiciando vazamento de argamassa

O concreto, junto à fôrma sempre deve ser acabado com um contorno delineado para possibilitar, no próximo lance, uma continuidade na textura da superfície.

Esse delineamento pode ser efetuado através de um sarrafo triangular (groove) ou ser feito através de uma "junta-seca", na junta de construção entre duas camadas.

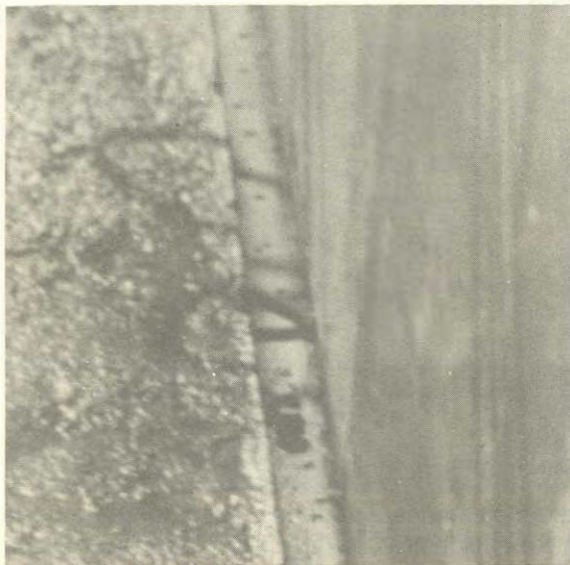


Figura 10.34 - Aspecto do rebaixo, para a formação da junta seca entre camadas, após o levantamento das fôrmas. Observar que o rebaixo é mais largo do que profundo - Itaipu

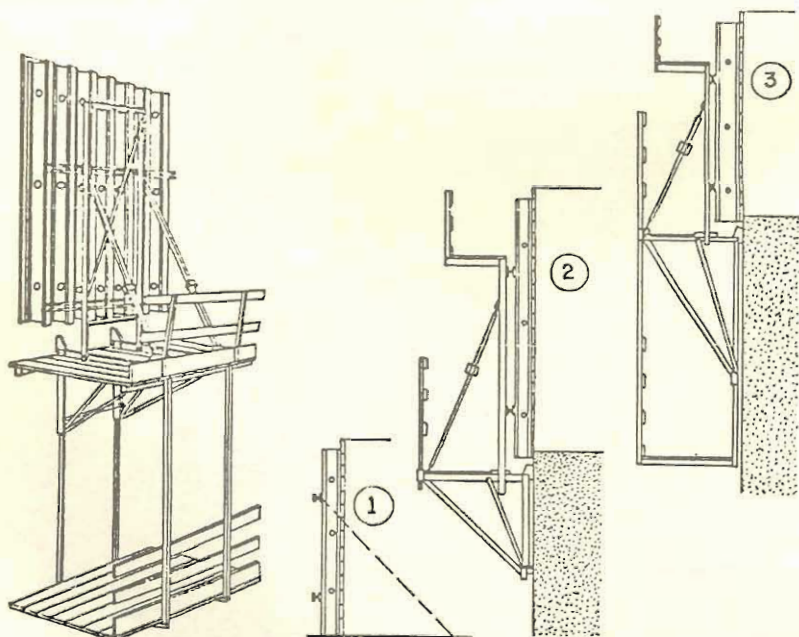


Figura 10.35 - Fôrma mista própria para seções repetitivas e planas. Observa-se a existência de andaime a ela acoplado

10.5.2 Fôrmas Autotrepantes

Em determinadas obras, o içamento das fôrmas após a concretagem da camada pode ser um problema. Dificuldade de acesso para equipamentos por longo períodos podem comprometer o orçamento da obra.

Para esses casos tem-se feito uso de fôrmas autotrepantes. Essas fôrmas possuem dispositivos que a elevam em etapas, e a posicionam na camada seguinte, sem a necessidade de equipamentos auxiliares.

10.5.3 Fôrmas Deslizantes

O uso de fôrmas deslizantes é indicado na execução de paredes e pilares de grande altura de forma que o custo e o tempo de montagem das mesmas tenha pequena incidência por metro deslizado. Da mesma forma que as fôrmas auto trepantes, as deslizantes dispensam a utilização de equipamentos adicionais para seu içamento.

O içamento das fôrmas deslizantes pode ser feito por meio de macacos, guinchos etc. Esses macacos ou guinchos são acoplados a cabos ou barras de aço e elevam o conjunto gradativamente.

Os sistemas mais conhecidos de fôrmas deslizantes são os de "cangas" e os de treliças.

Os sistemas de deslizamento por meio de "cangas" exigem menos mão-de-obra e material em sua montagem. Já o sistema que se utiliza de treliças assegura um melhor alinhamento de fôrma ao longo do deslizamento. A escolha do método mais indicado deve ser feita em função das características da obra, sua finalidade etc.

Fôrmas para Soleiras Hidráulicas

Quando da execução de soleiras hidráulicas é necessário definir quais os métodos executivos a utilizar. Regra geral, há necessidade de se adotar mais de um método, e a definição do mais indicado, para cada local, deve levar em conta a declividade da rampa da superfície.

As fôrmas deslizantes e as temporariamente fixas apresentam a vantagem de permitir que o concreto receba um acabamento, após a remoção das mesmas, obtendo-se um acabamento de alta qualidade.

Requês Deslizantes.

O sistema de fôrmas deslizantes, para execução de soleiras hidráulicas, consiste em painéis metálicos em cujo interior são colocadas peças pré-moldadas de concreto, que servem de contra peso. Seu deslocamento é obtido por meio de tirantes que são tensionados com a utilização de guinchos ou catracas. A fôrma deslizante é provida de roletes que se apóiam sobre guias tubulares, previamente fixadas e niveladas, de modo que, com o deslizamento das fôrmas sobre estas, seja obtida a superfície que se deseja.

Plataformas de trabalho devem ser consideradas para que se proceda o acabamento final.

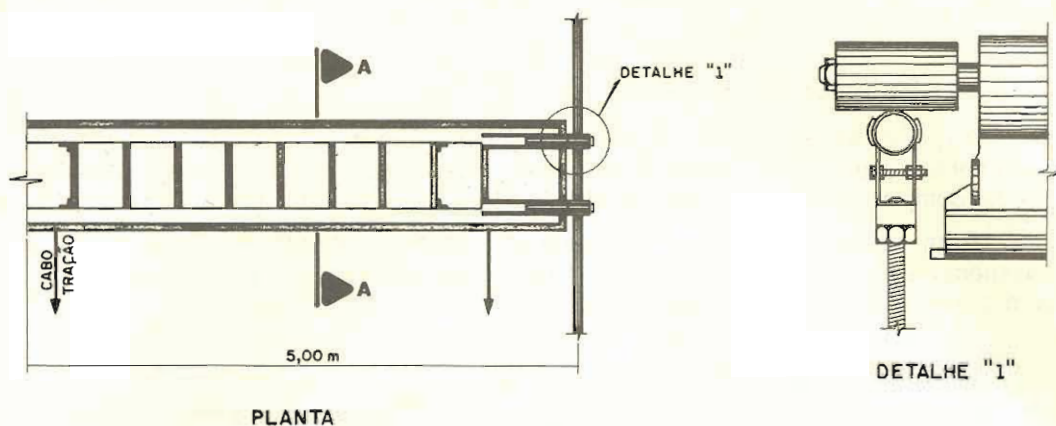


Figura 10.36 - Plataforma de trabalho

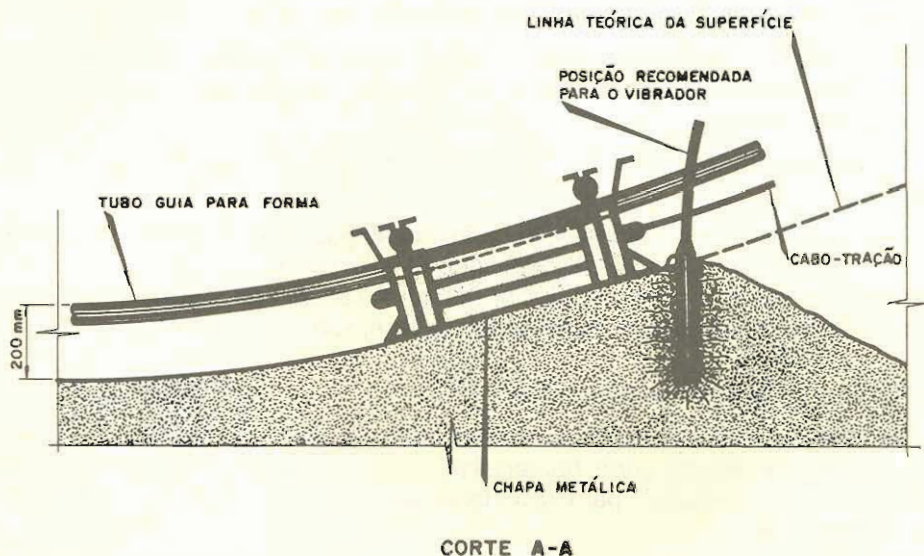


Figura 10.37 - Esquema de reguão deslizante empregado para execução de soleiras hidráulicas

Quando se executa soleira com este método deve-se ter as seguintes precauções:

- Verificar se o escoramento das guias é adequado.
- Manter a fôrma nivelada evitando tracionar um dos cabos mais do que o outro.
- Vibrar o concreto sem colocar o vibrador sob a fôrma, pois, caso contrário, ocorre uma elevação do concreto na superfície já desempenada.
- Verificar se os contrapesos são suficientes para evitar a "flutuação" das fôrmas.

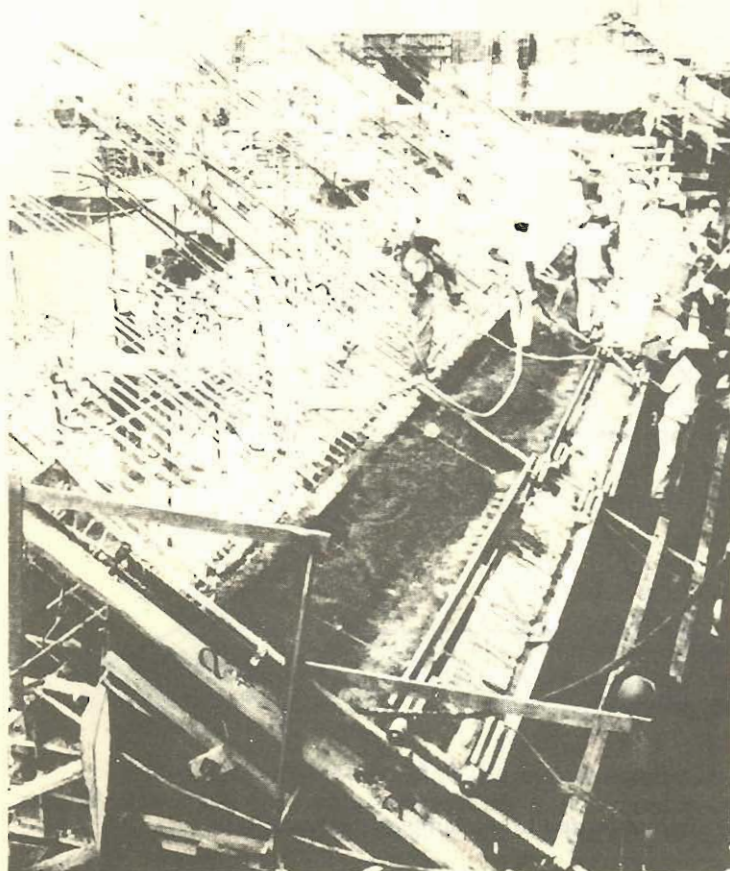


Figura 10.38 - Execução da soleira do Vertedouro com a utilização de formas deslizantes. Observa-se os contrapesos colocados dentro da fôrma e os guinchos utilizados para deslizá-la.

10.5.4 Fôrmas Temporariamente Fixas

Constitui-se por painéis de madeira de dimensões aproximadas de 2,30 x 0,60 x 0,20 m apoiadas sobre longarinas também de madeira de 1,80 x 0,15 x 0,13 m. As longarinas têm a função de resistir ao peso da estrutura dos painéis, bem como ao empuxo do concreto a elas transmitido pelos painéis. À medida que o concreto vai apresentando condições de desforma, os painéis vão sendo removidos e reposicionados adiante sem necessidade de interrupções no lançamento. Após a remoção dos painéis, são removidas também as longarinas correspondentes e é dado o acabamento final com a utilização de desempenadeiras.

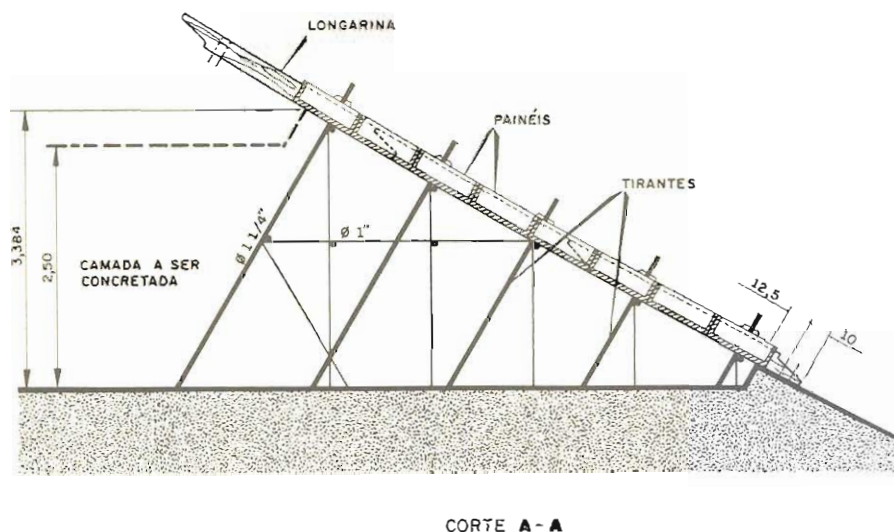
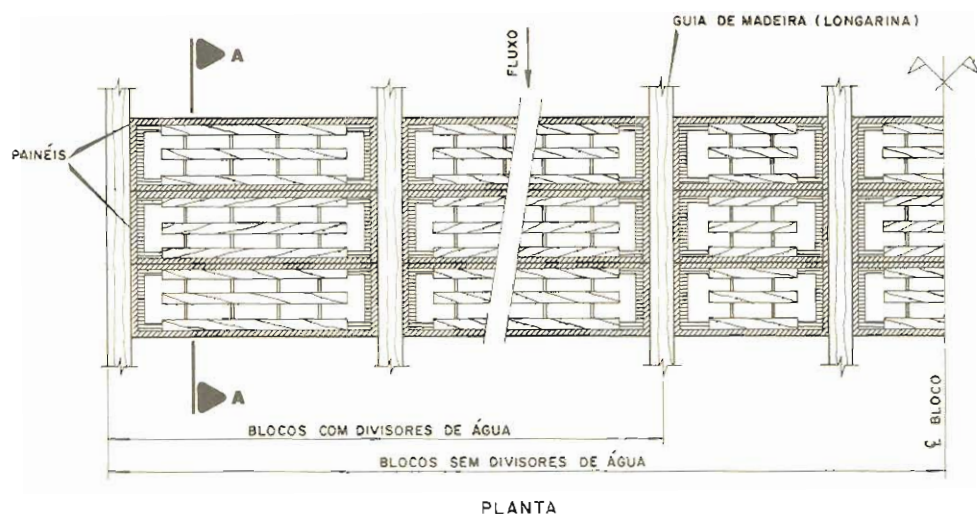


Figura 10.39 - Esquema de fôrmas temporariamente fixas

Itens a serem verificados quando da utilização de fôrmas temporariamente fixas:

- Verificar o correto posicionamento das longarinas.
- Verificar o ajuste dos parafusos de fixação das longarinas.
- Verificar o escoramento das longarinas.
- Verificar se a folga entre os painéis e as longarinas é a prevista pelo projeto. Grandes folgas provocam a fuga de argamassa e, pequenas, o travamento do conjunto, dificultando a retirada dos painéis.

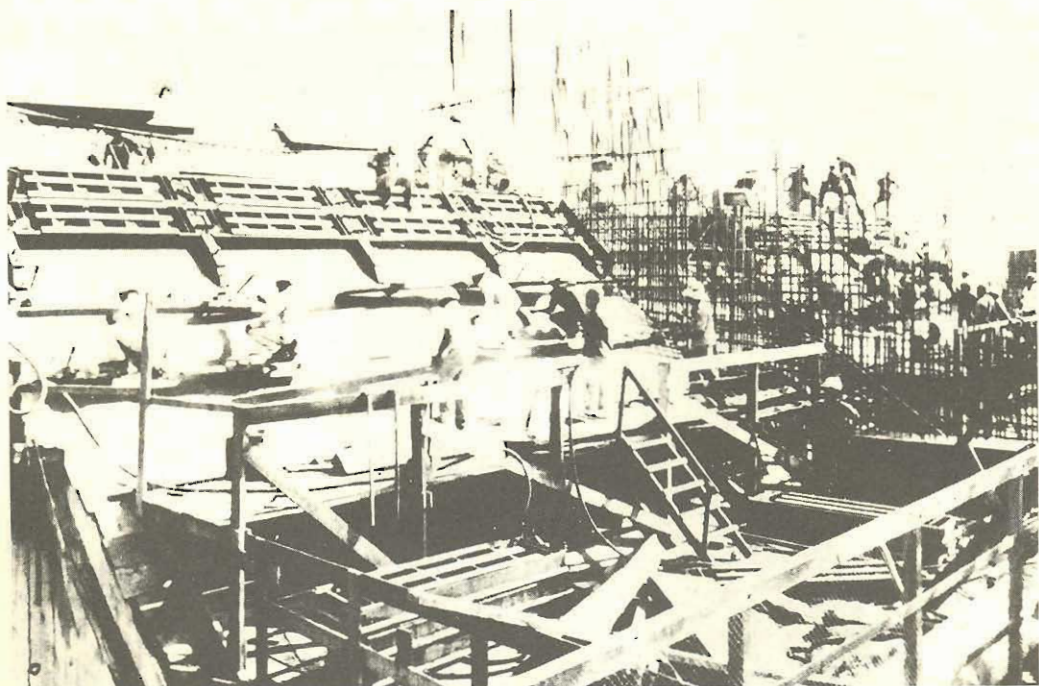


Figura 10.40 - Utilização de fôrmas temporariamente fixas na execução do Vertedouro da UHE Tucuruí

10.5.5 Fôrmas Especiais

Fôrmas Volumétricas

São chamadas de "especiais" as fôrmas fabricadas especialmente para executar estruturas de concreto com características geométricas particulares. Tubos de sucção, transições de tomada d'água, pilares do Vertedouro, vigas-peixe etc., são exemplos deste tipo de estrutura.

Usualmente estas fôrmas são fabricadas, artesanalmente, a partir de seções fornecidas pelos projetistas. Essas seções são materializadas em cambotas de madeira que posteriormente são unidas por tábuas e revestidas por placas finas de compensado.

Essas fôrmas, além de terem custo muito elevado, são suscetíveis de sofrerem deformações durante o seu transporte e em decorrência de empenos da madeira empregada. Além disso, após cada utilização há necessidade de se proceder a trabalhos de recuperação que exigem, muitas vezes, o seu retorno à carpintaria.

A execução dessas fôrmas têm sofrido contínua evolução. Fôrmas mistas com estruturas metálicas e revestimento em placas de compensado vêm sendo cada vez mais utilizadas.

Em 1975 as fôrmas utilizadas na execução dos tubos de sucção da UHE de São Simão (CEMIG) já foram construídas com uma estrutura em perfis metálicos e um revestimento em madeira e placas de compensado.

Dotada de grande rigidez, esta fôrma não apresenta os problemas de deformação existentes nas fôrmas de madeira.

Esta fôrma foi projetada de maneira a possibilitar a concretagem, em paralelo, de vários grupos. É constituída por anéis sobrepostos que permitem desmontagens parciais, à medida que as camadas inferiores forem sendo concretadas.

Em função do número de reutilização previsto, pode ser compensador um maior investimento na confecção das fôrmas. Para um grande número de utilizações, fôrmas metálicas, especialmente construídas, tornam-se econômicas, como se verificou em Tucuruí e Porto Primavera.

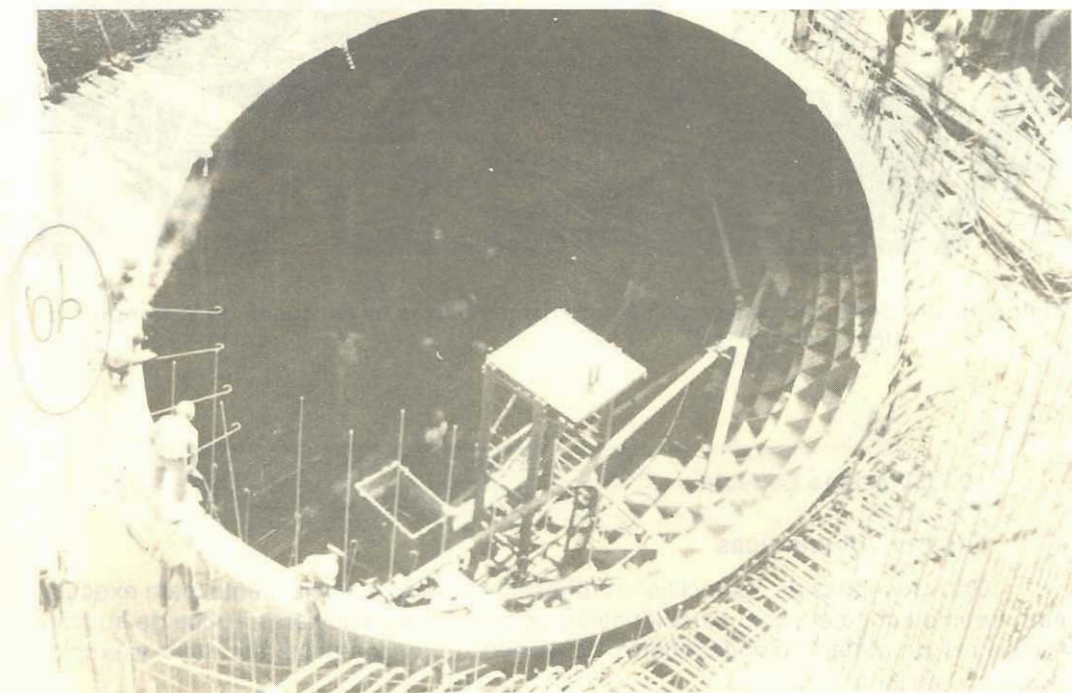


Figura 10.41 - Fôrma metálica para execução de tubos de sucção. Observa-se a área interna totalmente livre permitindo acesso de operário, materiais etc

Fôrmas em Tela de Metal Expandido

A montagem de fôrmas em juntas de construção congestionadas por grande número de barras de armação é extremamente difícil.

Em regiões de difícil acesso, como concretagens de tubo de sucção e de caixa espiral, a retirada da fôrma após a concretagem pode ser muito trabalhosa e onerosa.

A maneira encontrada para se contornar este tipo de problema tem sido a de se empregar fôrmas executadas em telas de metal expandido. As fôrmas em telas de metal expandido apresentam ainda a vantagem de, em determinados casos, dispensar a execução de tratamentos de junta. A tela é facilmente removida do concreto e caso ela esteja embebida de concreto não há inconveniente em não removê-la.

Para a passagem das barras de armação pela tela é usual a utilização de maçaricos executando os furos com diâmetro ligeiramente inferior ao diâmetro da barra de fôrma que esta penetre ajustada na tela.

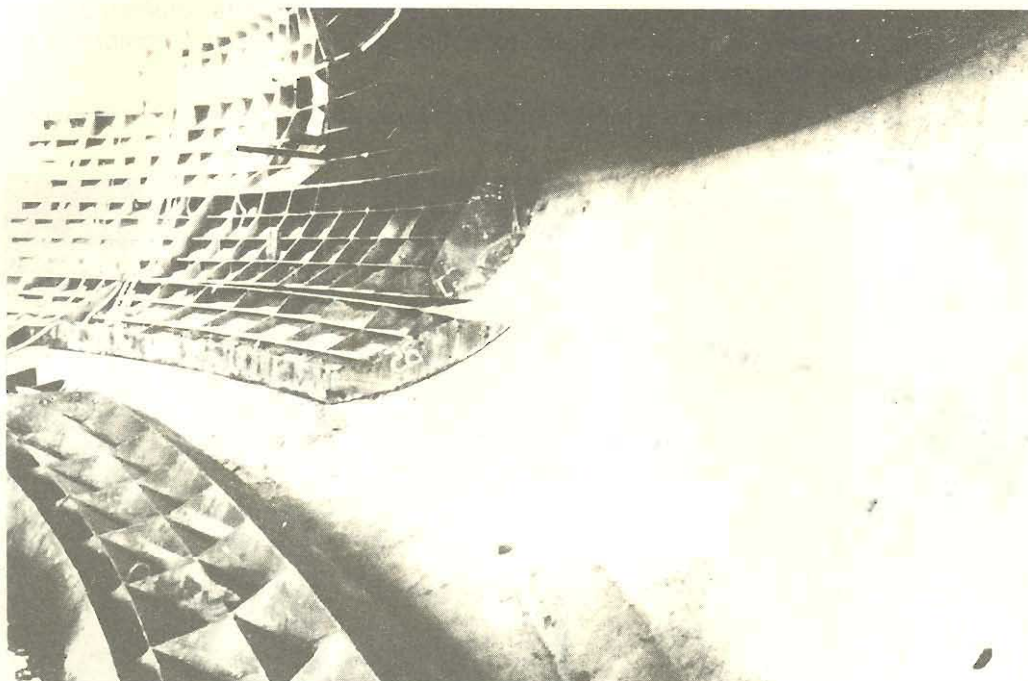


Figura 10.42 - Parte interna de fôrma metálica podendo se observar a desforma de alguns segmentos de anel já concretado - Tucuruí

Os suportes para a tela podem ser feitos em barras de aço ou peças de madeira. Barras de aço são utilizadas quando não se pretende remover as fôrmas.

Especial atenção deve ser dispensada às emendas das telas de fôrma que não se rompam durante as operações de concretagem.

10.6 Armaduras

No dimensionamento das estruturas de concreto admite-se que este não colabora na absorção dos esforços de tração. Desta maneira, a armadura deve absorver esses esforços, nas peças estruturais, limitando o aparecimento de fissuras e suas aberturas a valores compatíveis com a finalidade da estrutura, ambiente a que está submetida, vida útil prevista etc.

Em peças comprimidas, a armadura é utilizada com o objetivo de aumentar a capacidade resistente do concreto à compressão. Frequentemente, a armadura aparece como solução para limitar a abertura de fissuras provenientes de estados de tensão produzidos por variação de temperatura, retração, impedimento à deformação etc.

As características geométricas, físicas e mecânicas das barras de armadura devem atender às recomendações do Capítulo 8.

Após o beneficiamento da armadura, esta deve ser imediata e convenientemente identificada, de modo a permitir sua correta aplicação no campo. Usualmente, esta identificação é feita por meio de etiquetas amarradas aos feixes onde constam o nome da estrutura, número da posição, diâmetro e tipo de aço utilizado, comprimento, quantidade e diagrama da posição.

Essas etiquetas podem ser metálicas, de madeira, papel protegido com envelope plástico etc.

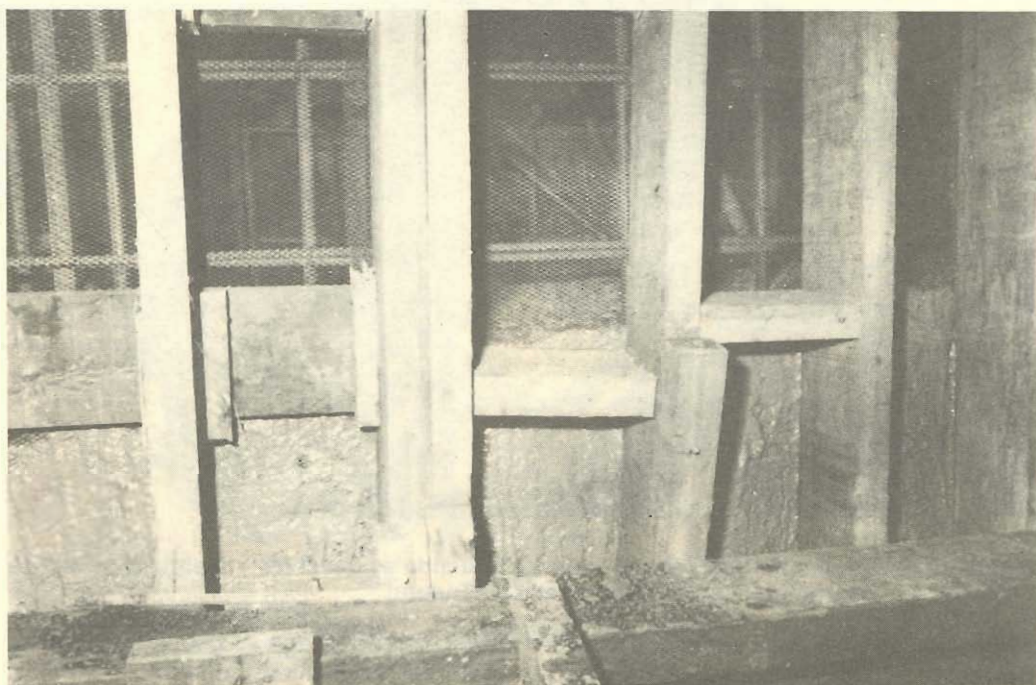


Figura 10.43 - Aplicação de forma de tela de metal expandido. Observa-se o embebimento da tela pelo concreto-Itaipu

BL./CAM.		OFF.
POS.		DIAG.
	D	
	Q	
COMP.		
AÇO		

Figura 10.44 - Exemplo de etiqueta usada para identificação

Para a utilização da etiqueta de papel é necessário protegê-la com envelope de plástico transparente.

Outro processo de identificação é o do código de cores. Nesse processo pintam-se as barras dos feixes com faixas de diversas cores, identificando a estrutura, camada, posição etc.

Na Figura 10.45 mostra-se o sistema utilizado na construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.

Esse processo elimina o risco de se perder a identificação das barras no campo. Em contrapartida, a memorização dos códigos é um pouco difícil.

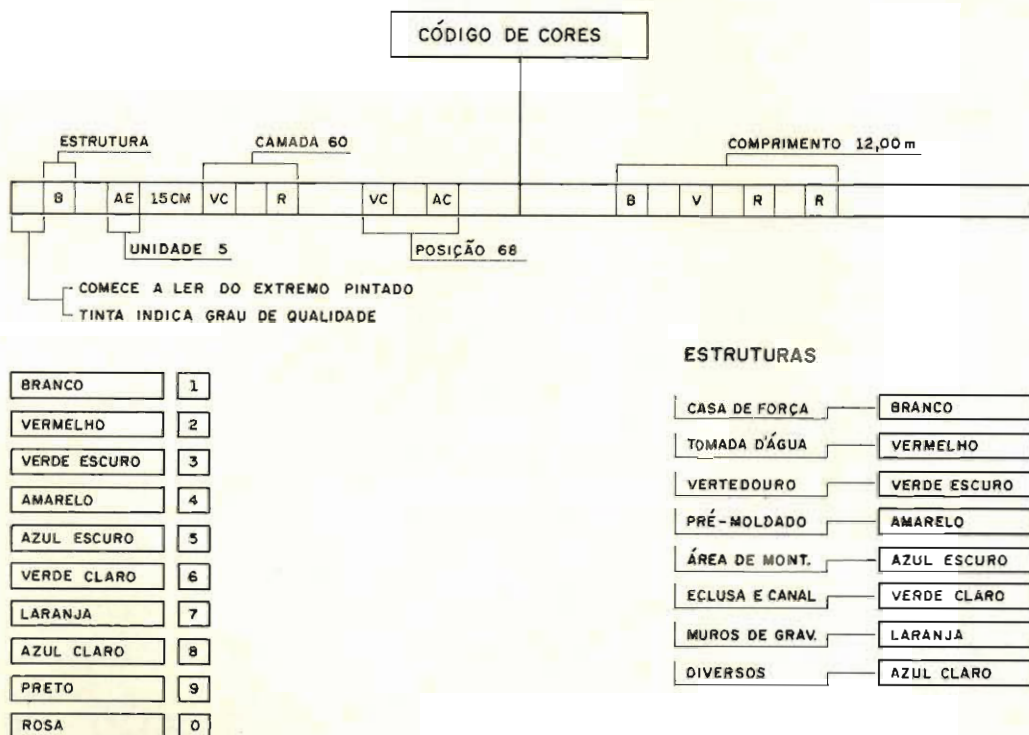


Figura 10.45 - Exemplo de código de cores

A armadura, quando de sua colocação na posição definitiva, deve se achar limpa, isenta de óleos, graxas, tintas etc.

A existência de uma oxidação superficial, que não comprometa a aderência entre o aço e o concreto, é tolerável. Argamassa, quando perfeitamente aderida, não precisa ser removida. A colocação da armadura nas fôrmas deve ser feita conforme indicado nos projetos.

De maneira a assegurar a manutenção da armadura em sua posição durante o lançamento do concreto, devem ser previstos escoramentos suficientemente rígidos.

As emendas podem ser realizadas por transpasse, luvas rosqueadas, solda, luvas prensadas, luvas com preenchimento metálico etc. (ver Capítulo 8).

A escolha da emenda mais indicada deve ser feita para cada caso, levando-se em conta dimensões da obra, métodos executivos, equipamentos disponíveis, local de emenda, comparação de custos etc.

O sistema de pré-armação consiste em se aplicar a armadura da estrutura em módulos previamente preparados em pátios especiais. As dimensões e peso desses módulos são função da estrutura e dos meios disponíveis para seu transporte e lançamento.

A utilização do sistema de pré-armação na fabricação de pequenas peças pré-moldadas é procedimento usual e freqüente. Esse método vem sendo estendido também para execução de grandes estruturas.

A adoção do sistema de pré-armação é particularmente favorável em regiões confinadas ou onde não se disponha de áreas de trabalho suficientes para o depósito e separação das barras de armadura quando de sua colocação na estrutura. Essa situação

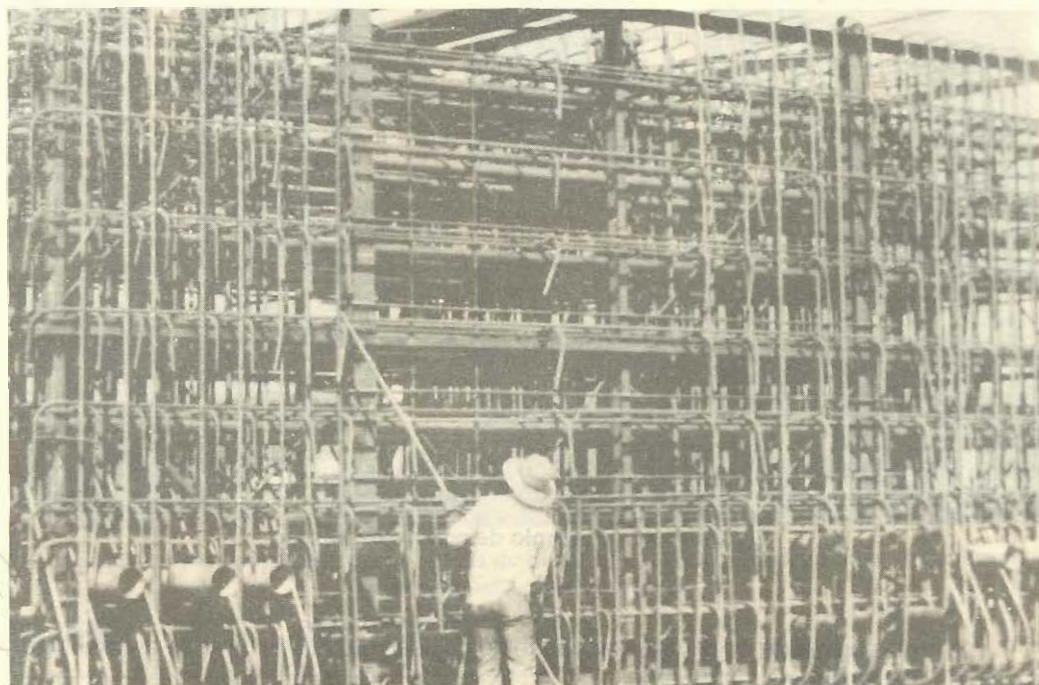


Figura 10.46 - Pré-armação da Viga do Munhão da UHE Tucuruí. Observa-se o esqueleto, em perfis metálicos, criado para possibilitar o transporte e posicionamento da armação da viga sem a ocorrência de deformações

pode ser bem exemplificada pela armação de Vigas do Munhão. Nesta região não há local para separação da armação, quando executada "In loco", é sempre lenta e expõe os armadores a condições de trabalho por vezes perigosas.

A pré-montagem da armação vem sendo utilizada, no Brasil, desde a construção da Usina de Jupia, por volta dos anos 60.

Na construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, as Vigas do Munhão do Vertedouro foram executadas pelo processo de pré-armação. Tendo em vista suas dimensões e peso da armação, foi necessária a criação de um esqueleto metálico para suporte da armação e das bainhas de protensão, cuja rigidez fosse suficiente para resistir aos esforços que viessem a ocorrer por ocasião de seu transporte e posicionamento.

De forma a possibilitar o transporte dos módulos pré-armados dos pátios de pré-armação para as estruturas é necessário que, além do enrijecimento do módulo, se disponha de carretas especiais e "balancinhos".

Esses "balancinhos", executados em perfis metálicos, são estudados de maneira a se adequarem ao transporte de diferentes módulos de pré-armação. Isto é conseguido equipando-os com diferentes pontos de "pega".

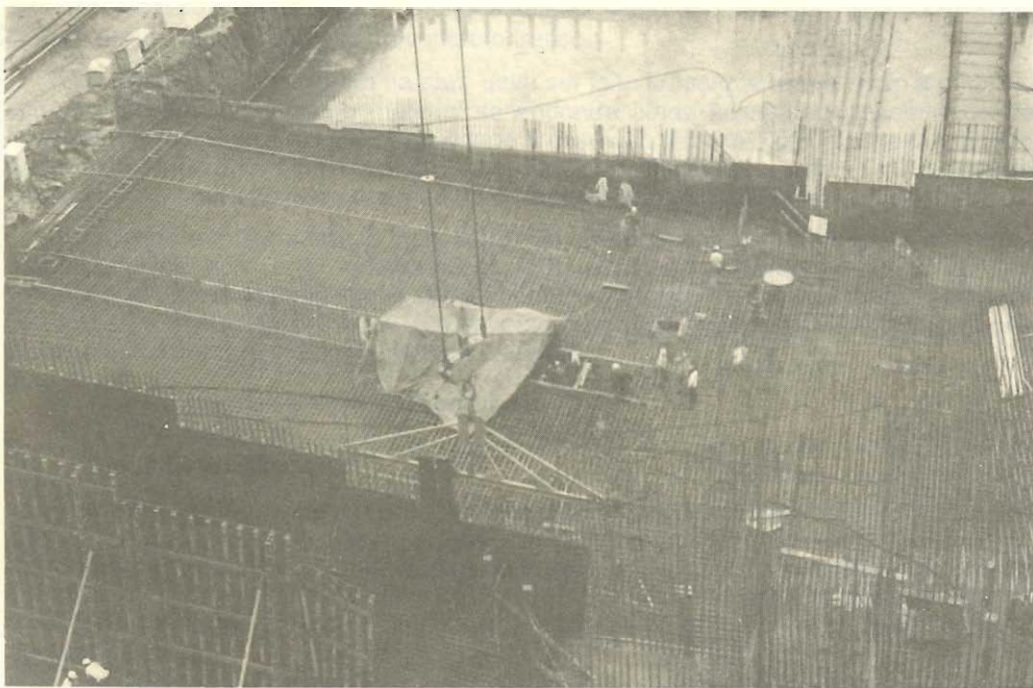


Figura 10.47 - Transporte de um módulo de pré-armação com utilização de "balancinho" - Porto Primavera

A escolha do método a ser utilizado para armação de determinada estrutura deve ser feita antes mesmo da execução dos projetos de detalhamento da armadura. Desta forma, caso se opte pela execução em pré-armação, os projetos são desenvolvidos obedecendo certos parâmetros, tais como disposição e tipos de emenda, dimensões e peso dos módulos, compatibilidade entre os módulos a serem colocados e a armação de espera existente, escoramento etc.

O fator custo deve ser analisado levando-se em conta a necessidade de construção de pátios especiais, carretas, balancinhos, estruturas enrijecedoras e escoramentos adicionais.

A disponibilidade de guindastes é outro fator a ser levado em conta.

11. TRANSPORTE E COLOCAÇÃO DO CONCRETO

11.1 Generalidades

É de maior importância a inspeção do concreto durante o seu deslocamento, desde a saída da betoneira onde é fabricado até a sua posição final dentro das fôrmas. Na seqüência de operações que, então, se desenvolve, o concreto é manipulado seja no transporte ou no lançamento e no adensamento nas fôrmas. Cada passo na manipulação deve ser cuidadosamente vigiado, para manter a uniformidade do material não só dentro de cada volume que está sendo operado mas também de uma para outra porção que vai sendo fabricada.

Quaisquer que sejam os procedimentos utilizados no transporte e no lançamento, é importante não comprometer esta homogeneidade. Infelizmente isto nem sempre é fácil de ser conseguido, uma vez que um conjunto de fatores interfere no trabalho com o concreto após a saída da betoneira, no sentido de desfazer ou modificar a mistura que ali fora elaborada. Segregação dos constituintes é um dos principais problemas que podem surgir na manipulação do concreto fresco.

O manuseio do concreto na obra deve ser feito antes que tenha início a pega do cimento, portanto, quando o material se encontra ainda no estado denominado de concreto fresco. É então a trabalhabilidade a condição técnica exigida para o concreto neste estado. Não se pode, portanto, abordar os problemas relativos ao manuseio do concreto sem uma boa compreensão do conceito de trabalhabilidade.

Quando a mistura fresca, constituída de cimento, agregados, água e, eventualmente, aditivos, apresenta características adequadas ao tipo da obra a que se destina e aos processos de manuseio que são adotados, mantendo-se continuamente homogênea, diz-se que ela é trabalhável. Somente um concreto trabalhável permite a obtenção de uma estrutura pronta com qualidade uniforme.

11.2 Condições a Serem Observadas

11.2.1 Segregação

A segregação pode constituir-se na separação dos grãos mais grossos dos demais componentes da mistura, pela sua movimentação mais rápida, durante o deslocamento no transporte, nos pontos de transferência ou no lançamento nas fôrmas. Este tipo de segregação é comum nos concretos pobres ou naqueles mais secos; em ambos os casos há escassa coesão por deficiência de grãos finos ou falta de água, respectivamente.

Os grãos mais grossos dos agregados podem também se depositar no fundo dos recipientes de transporte, ou das fôrmas, pela ação da gravidade, quando submetidos a choques ou trepidações, constituindo outro modo de segregação, com separação nítida da pasta ou da argamassa mais fina. Esta ocorrência é mais freqüente nas misturas muito plásticas. Se se considera concretos muito úmidos, a destruição de sua homogeneidade durante a manipulação pode ser devida a uma diferença muito sensível entre a massa específica dos grãos dos agregados e a argamassa formada pela água de amassamento, o cimento e as partículas mais finas de areia (de diâmetros inferiores a 0,15 mm). Esta argamassa de textura muito fina, sendo muito diluída, é mais leve e

incapaz de manter os grãos maiores em suspensão. O equilíbrio rompido por ações externas permite a descida dos mesmos sob o efeito da gravidade. Em certos casos, pode-se aumentar a densidade desta argamassa enriquecendo-a com cimento, cuja massa específica é bem maior, e, assim, evitar esta segregação.

Uma mistura segregada colocada na fôrma não apresenta trabalhabilidade na operação de adensamento, mesmo que não ofereça dificuldade na sua execução, pois o conceito de trabalhabilidade envolve a manutenção da homogeneidade.

Uma dosagem bem estudada, com escolha de uma granulometria conveniente, e os cuidados na operação com o concreto fresco no canteiro da obra minimizam a possibilidade de ocorrência da segregação.

11.2.2 Exsudação

Outra forma de segregação é a que se denomina exsudação e que ocorre quando certos concretos já se encontram colocados nas fôrmas. Corresponde à separação da água que, devido à sedimentação das partículas sólidas, sobe até a superfície do concreto fresco, aí se acumulando e tornando a camada superior mais úmida. Se a colocação de outra camada de concreto sobre esta superfície prende a água que não tenha ainda evaporado, resulta neste ponto um concreto fraco e poroso. A exsudação tem prosseguimento até que o enrijecimento da pasta seja suficiente para pôr fim no assentamento dos grãos sólidos. Este fenômeno tem lugar sempre que os constituintes sólidos não são capazes de reter a água de amassamento. As propriedades físicas dos grãos mais finos da mistura, especialmente os de diâmetros menores que 0,15 mm, influem bastante na exsudação, de sorte que um aumento da proporção destes grãos, como um maior teor de cimento, reduzem a exsudação. A adição de pozolanas ou de incorporadores de ar tem igual efeito.

11.2.3 Consistência

Outro fator que costuma ocorrer durante o manuseio e que igualmente prejudica a trabalhabilidade do concreto fresco é a modificação da consistência, caracterizada por perda de plasticidade da mistura. Isto se deve à diminuição da quantidade de água de amassamento com o tempo, com a conseqüente diminuição da mobilidade das partículas e alteração da coesão.

Depois de feita a mistura, uma parte de água pode perder-se devido à evaporação (particularmente se o concreto é exposto ao sol e ao vento), parte é absorvida pelos agregados e outra parte é retirada pelas reações químicas iniciais. Tem-se observado que a medida da consistência varia gradativamente com o tempo, dependendo esta variação do tipo e teor de cimento na mistura, da temperatura do concreto e da consistência inicial, como também da presença de aditivos.

11.3 Transporte do Concreto

Deve ser assegurado que o concreto produzido para determinado bloco ou estrutura seja realmente lançado naquela estrutura.

Para tanto, é conveniente que o sistema de transporte seja claramente identificado com o tipo de concreto transportado e o bloco a que ele se destina.

Em obras de grande porte, onde em uma frente de lançamento são utilizados concretos de diversas resistências, ou diâmetros máximos, ou trabalhabilidade, é imprescindível que o concreto chegue ao local perfeitamente identificado.

O transporte do concreto desde a instalação de produção até o local de lançamento deve ser feito o mais rápido possível de maneira às propriedades do concreto não serem afetadas sensivelmente.

Para o dimensionamento do transporte devem ser considerados aos seguintes eventos:

- Tempo de carregamento.
- Tempo de espera.
- Tempo de manobra para descarga.
- Tempo de espera para descarga.
- Tempo de descarga.
- Tempo de viagem.

Através dos tempos acima citados, além da capacidade do elemento transportador, pode-se calcular a quantidade de elementos necessários para atender às produções exigidas pelo cronograma.

A escolha do sistema mais adequado para o transporte do concreto, desde sua descarga das betoneiras até o local de sua aplicação, dependendo do tipo de obra, do volume a ser colocado e da topografia local.

A principal condição que deve ser atendida pelo sistema de transporte é a de não provocar a segregação, perda de argamassa, demora, etc. Sabe-se que a perda da homogeneidade do concreto ocorre por este ser constituído de uma mistura de materiais heterogêneos em dimensões e densidades. Portanto, logo após a fabricação do concreto atuam forças externas e internas que tendem a separar estes materiais. Esta operação deve ser impedida, pois só em casos muito especiais há condições de corrigi-la quando de sua aplicação.

É necessário também que o sistema de transporte seja suficientemente rápido e organizado, de tal forma que não permita que o concreto seque, perca sua trabalhabilidade e tenha sua temperatura elevada.

Os sistemas de transporte podem ser classificados em:

11.3.1. Transporte Horizontal

Carros de mão, carrinhos motorizados, caminhões basculantes, caminhões betoneira, vagonetas sobre trilhos, caçambas transportadas por caminhões ou carretas são equipamentos usuais para transporte de concreto. Deve-se procurar evitar a trepidação dos veículos, de forma que não ocorra a vibração do concreto no seu interior.

Os carros de mão e carrinhos motorizados devem ser providos de rodas de borracha, de forma a atenuar este efeito. O caminhão betoneira apresenta vantagens quanto à manutenção da homogeneidade da mistura, por impedir maiores perdas d'água no entanto, não se presta para utilização com concreto massa com agregados de dimensão máxima característica de 76 e 152 mm. Em regiões de grande insolação é recomendável que sua cuba seja pintada de branco, de maneira a não absorver a radiação solar. É um equipamento caro e com elevado custo de manutenção. Ideal para utilização combinada com bombas de concreto.



Figura 11.1 - Caminhão betoneira alimentando bomba de concreto

Caçambas

Neste caso, o concreto é transportado desde a central de produção até o local de lançamento por meio de caçambas com descarga de fundo, de maneira que possam ser abertas e permitam que o concreto caia verticalmente. As comportas das caçambas pequenas são operadas manualmente, enquanto as comportas das caçambas de grande volume (3 e 6 m^3) são operadas hidropneumaticamente ou por algum outro método mecânico.

Caminhões

O concreto pode ser transportado por caminhões, de caçamba (não agitadoras) ou betoneira (agitadores e/ou misturadores).

Os caminhões com caçamba basculante são, atualmente, mais usados para o transporte de concreto massa.

Os caminhões betoneira normalmente não são apropriados para transportar concretos com agregados de tamanho máximo superior a 38 mm , e também os concretos de baixo abatimento.

Caminhões basculantes e caçambas transportadas por caminhões ou carretas, são os meios mais utilizados no transporte do concreto massa. Quando este sistema é utilizado, é indispensável uma boa manutenção nas pistas de tráfego, de forma a prevenir a compactação e exsudação dos concretos. Estes efeitos se fazem sentir de forma mais intensa à medida que for aumentada a trabalhabilidade do concreto. Algumas especificações recomendam que, ao se ter o transporte do concreto por caminhões basculantes, e com superfície exposta relativamente grande, há necessidade de se cobrir o concreto com tecido úmido como forma de reduzir a evaporação.

O transporte do concreto (para concretos massa) por caminhões basculantes é mais utilizado do que por caçambas. Apresenta a vantagem de reduzir o intervalo entre a fabricação do concreto e sua aplicação, dispensa a operação de engatar e desengatar caçambas e elimina a necessidade de se adquirir elevado número de caçambas.

A caçamba dos caminhões deve ser projetada de tal forma a minimizar a segregação devida ao basculamento.

Atualmente utilizam-se, também, caminhões basculantes convencionais, como os utilizados em terraplenagens, no transporte de concreto. Para esses casos, o concreto deve ser de baixa trabalhabilidade. Este procedimento pode ser adotado nos casos em que haja possibilidade de entrada dos caminhões dentro dos blocos e quando o espalhamento do concreto é feito com o uso de tratores de lâmina frontal.



Figura 11.2 - Caminhão basculante (3 m^3) descarregando na caçamba. Observa-se a plaqueta de identificação do concreto na frente do caminhão -Tucuruí

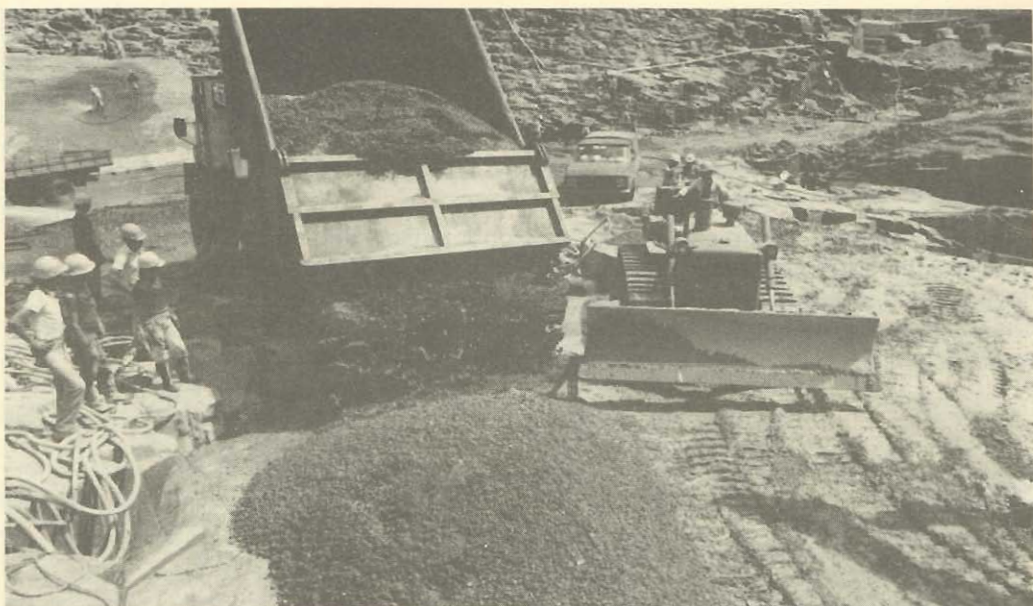


Figura 11.3 - Caminhão basculante (tipo fora de estrada) aplicando concreto diretamente no bloco onde o espalhamento do concreto é feito com uso de tratores de esteira com lâmina frontal - Itaipu

O concreto pode, ainda, ser transportado através de carrinhos caçambas auto-propelidos, e suportados por monovias.

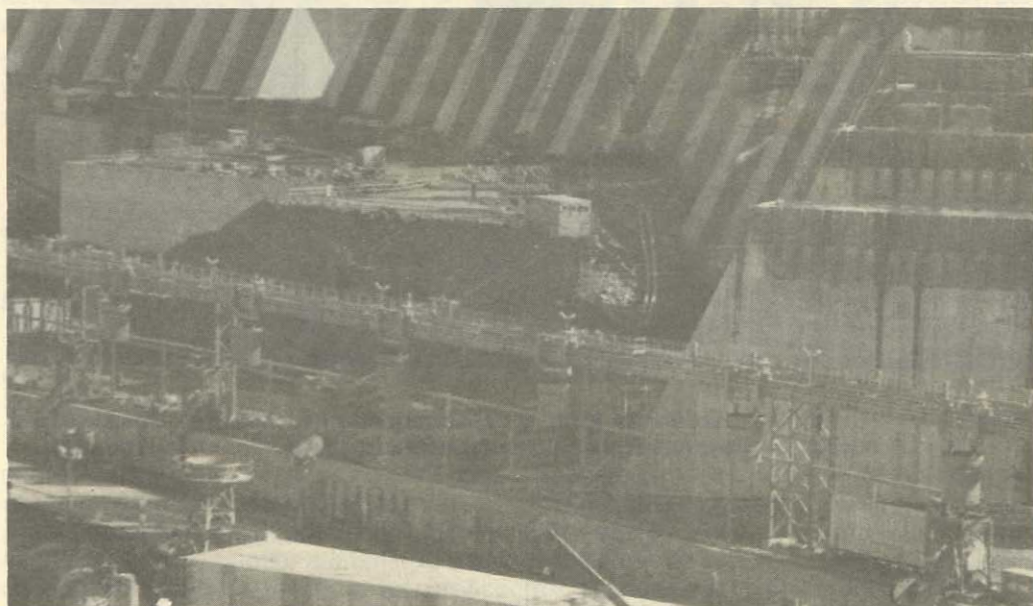


Figura 11.4 - Transporte de concreto por monovias - Itaipu

11.3.2 Transporte Vertical

Guindastes equipados com caçambas de comportas de fundo são o meio mais utilizado para transporte vertical do concreto. Estes guindastes e caçambas variam muito em capacidade de carga e volume transportado.

Em algumas obras, desde que a topografia local o permita, são utilizados cabos aéreos em substituição aos guindastes (ver Figura 11.5).

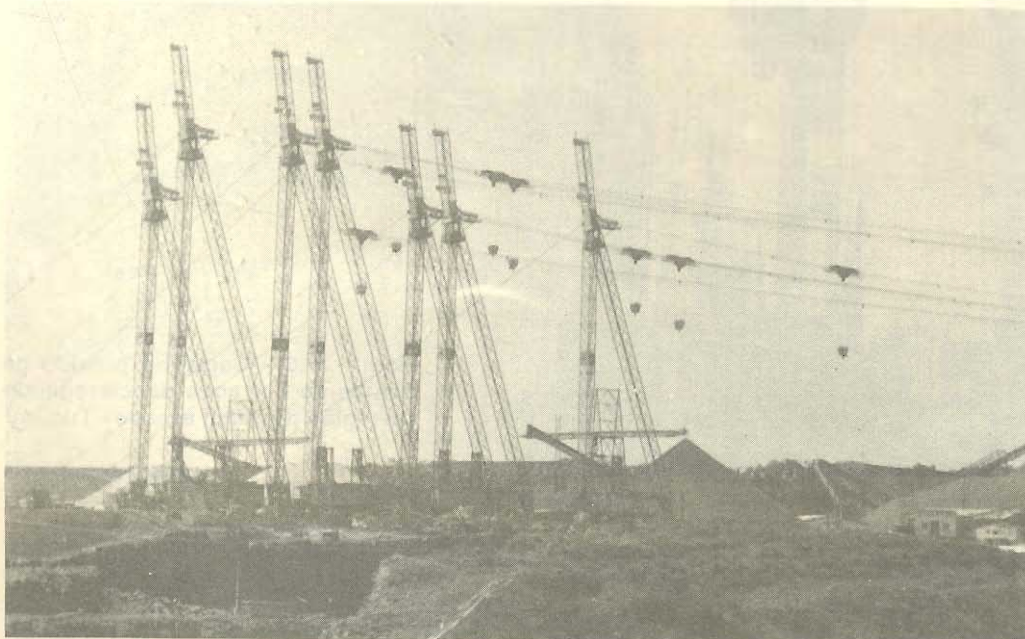


Figura 11.5 - Cabos aéreos - Itaipu

As caçambas mais utilizadas têm capacidade para 1,0; 1,5; 3,0; e 6,0 m³. Algumas vezes essas caçambas recebem dispositivos especiais que permitem sua utilização em locais de difícil acesso, como calha para descarga lateral, etc.

A forma mais simples de transporte vertical do concreto é por queda livre. Esse método, no entanto, deve ser aplicado com cuidados especiais, de modo a não permitir a ocorrência de segregação. A utilização de "trombas" metálicas cônicas, tubos providos de dissipadores de energia e "trombas" de borracha, praticamente eliminam as limitações quanto a altura da queda. Os concretos aplicados por esses sistemas devem ser estudados levando em conta este fato. É conveniente que, para grandes alturas de queda, seja lançado um concreto bem argamassado nas primeiras descargas, de maneira que sua massa absorva os agregados eventualmente segregados dos concretos subseqüentes. É importante também que as trombas sejam mantidas na vertical e que não se permita que durante a descarga do concreto se forme um monte (cone), causando segregação do agregado graúdo no seu perímetro.

Para evitar a ocorrência deste fato, devem ser mantidos vibradores funcionando próximos à região de descarga.

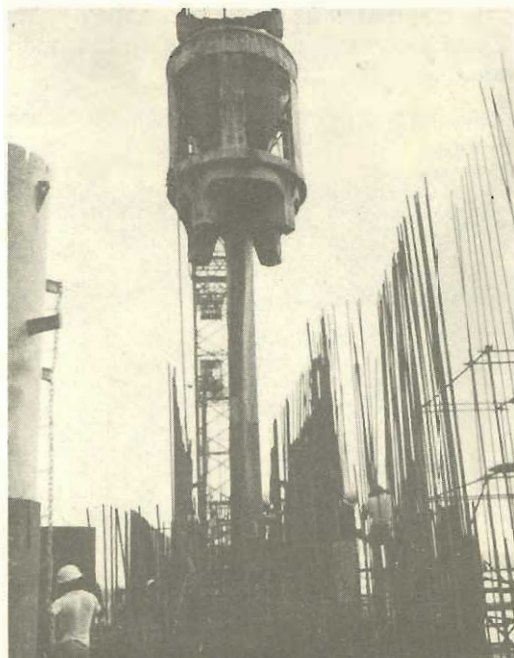


Figura 11.6 - Caçamba provida de tromba de borracha descarregando em região de difícil acesso - Tucuruí

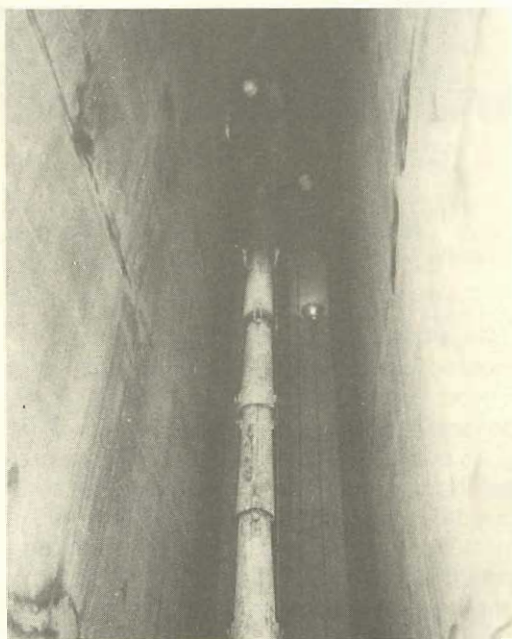


Figura 11.7 - Utilização de tromba tronco cônica no transporte do concreto - Tucuruí



Figura 11.8 - Concreto sendo transportado de grandes alturas, aproximadamente 30 metros, por meio de tromba, com dissipadores de energia - Tucuruí

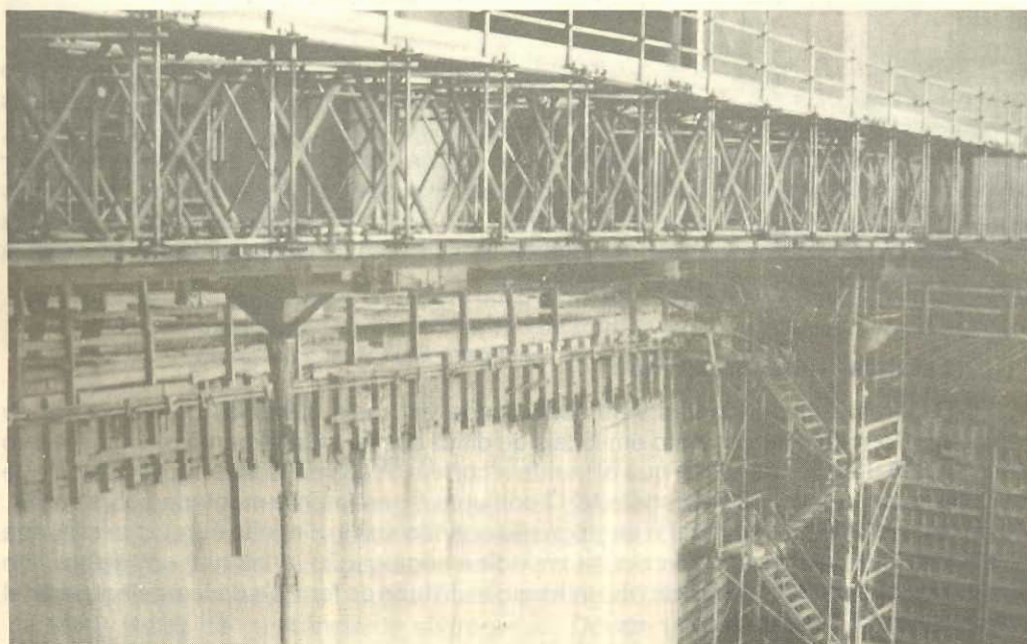


Figura-11.9 - Tromba de descarga do concreto de segundo estágio - Itaipu

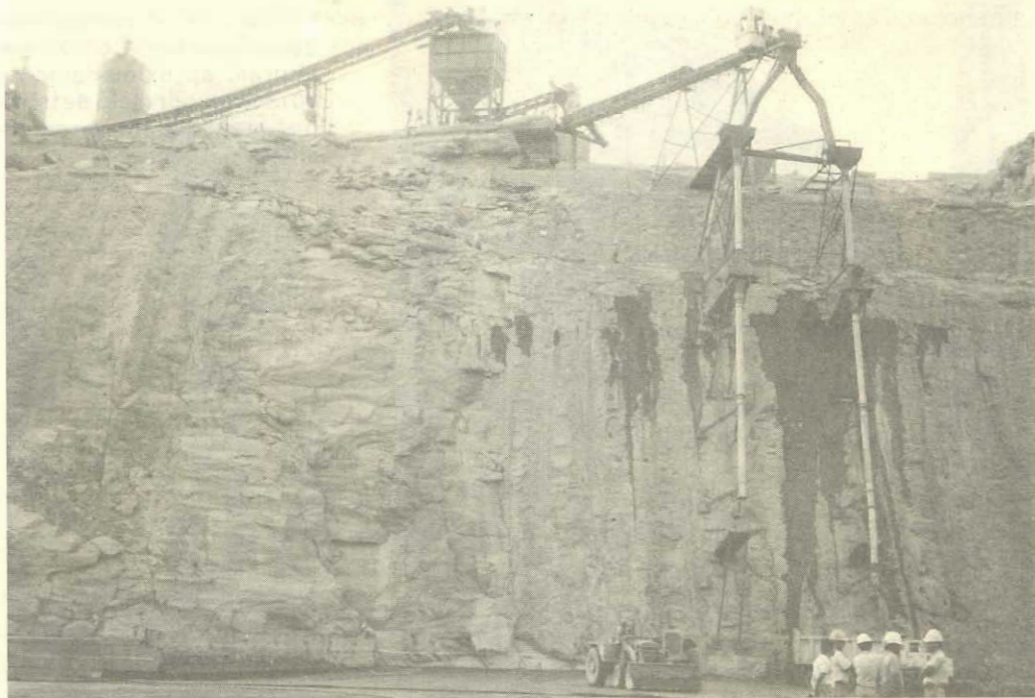


Figura-11.10 - Utilização de tromba para transporte vertical de Concreto Rolado (consumo de 70 Kg/m³ de cimento) - Capanda/Angola

As Especificações, hoje existentes, limitam a altura de queda desconfinada do concreto a 1,5 m. Esta limitação vem sendo, ultimamente, contornada através de práticas adotadas nas frentes de concretagem (caçamba de grande volume, abertura rápida, uso de trator para espalhamento, etc.). Observa-se também que uma queda maior favorece a penetração dos agregados graúdos na massa fofa que os recebe. Em função da prática e das observações, têm-se adotado alturas maiores sem que venha a prejudicar a qualidade do concreto. Evidentemente essas considerações são feitas para regiões desprovidas de armação e embutidos.

Esteiras Transportadoras

Esteiras transportadoras vêm sendo cada vez mais utilizadas no transporte de concreto. Permite o lançamento em locais de difícil acesso. Geralmente o equipamento consiste em um silo-tremonha que alimenta a correia. A correia possui movimentos que permite que se eleve, gire e translade. O conjunto é geralmente montado sobre rodas. As correias tendem a provocar a segregação quando sua inclinação é muito acentuada e, durante a descarga. Uma forma de impedir a segregação, é instalar um dispositivo constando de raspador de borracha, anteparo e um tubo de forma a descarga ser vertical (ver Figuras 11.11 e 11.12).

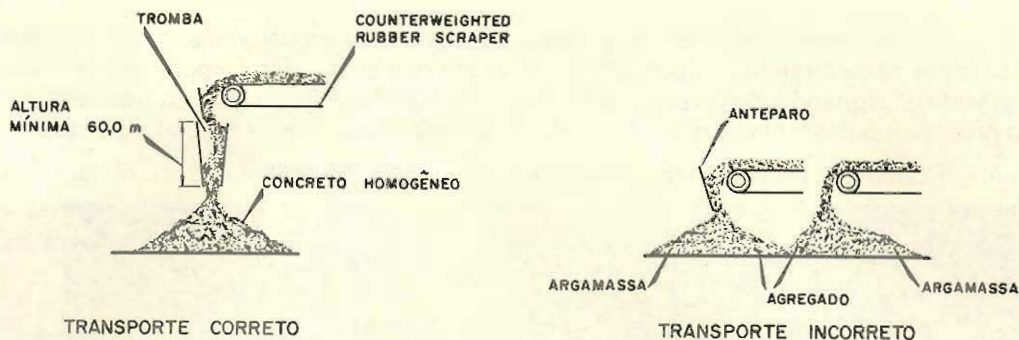


Figura 11.11 - Concretagem através de correias transportadoras [5.20]

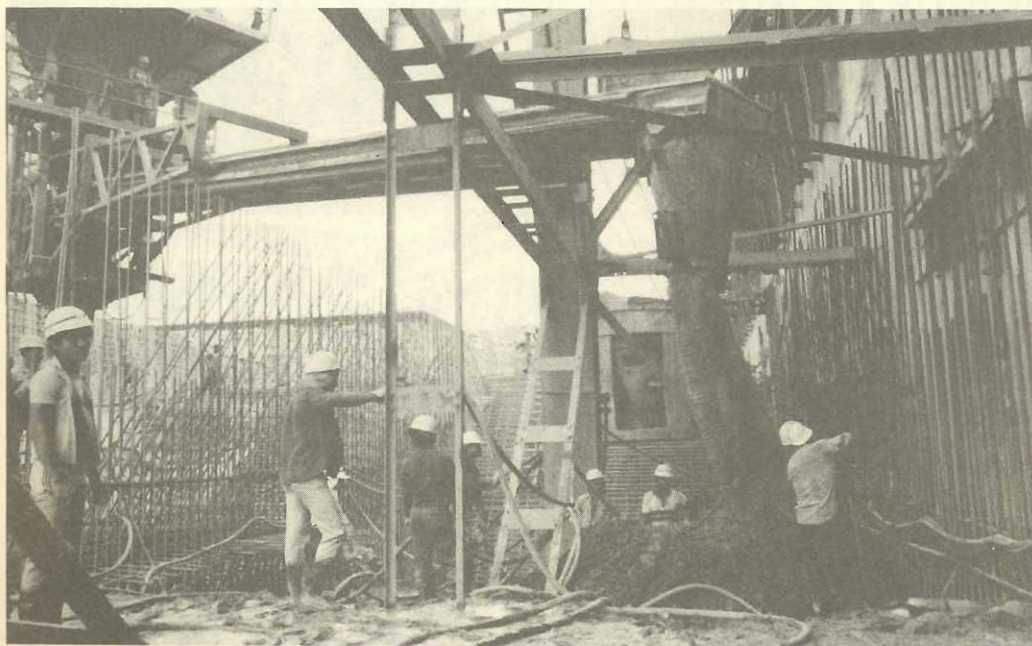


Figura 11.12 - Aplicação de concreto em local de difícil acesso com a utilização de correias transportadoras e o emprego de tromba de borracha em sua extremidade de forma a evitar a segregação do concreto - Tucuruí

11.3.3 Transporte Inclinado

O transporte de concreto por meio de calhas inclinadas é outro meio que vem sendo bastante utilizado, apesar de não recomendado pela maioria das Especificações. Sua utilização é, em alguns casos, extremamente vantajosa não só pela sua simplicidade como também por seu baixo custo. Desde que alguns cuidados sejam tomados, não há maiores riscos de ocorrência de segregação. Devem possuir suficiente declividade e capacidade para o concreto a ser escoado. Esse processo é muito usado para a concretagem das lajes em barragens de enrocamento com face de concreto.

Sua extremidade de descarga deve ser provida de dispositivos semelhantes aos utilizados nas correias transportadoras, de forma que o concreto sempre seja lançado na vertical. Dependendo do seu comprimento, devem ser previstas coberturas de modo a preservar baixa a temperatura do concreto e impedir a perda da "trabalhabilidade".

Podem ser previstos vibradores para assegurar o movimento do concreto.



Figura 11.13 - Utilização de vários tramos de correia sobre rótula em apoio tubular - Itaipu

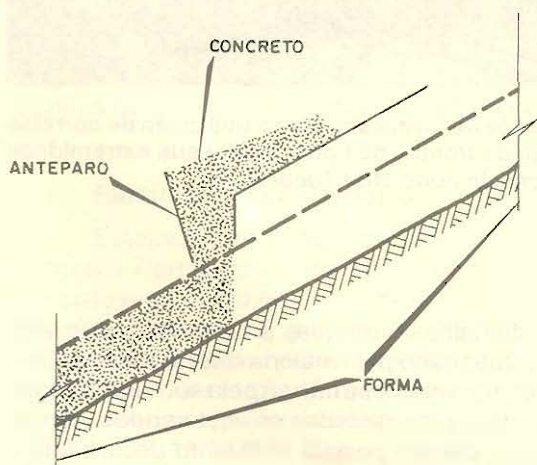


Figura 11.14 - Esquema de lançamento de concreto em plano inclinado. O anteparo é indispensável para proporcionar a uniformidade da mistura

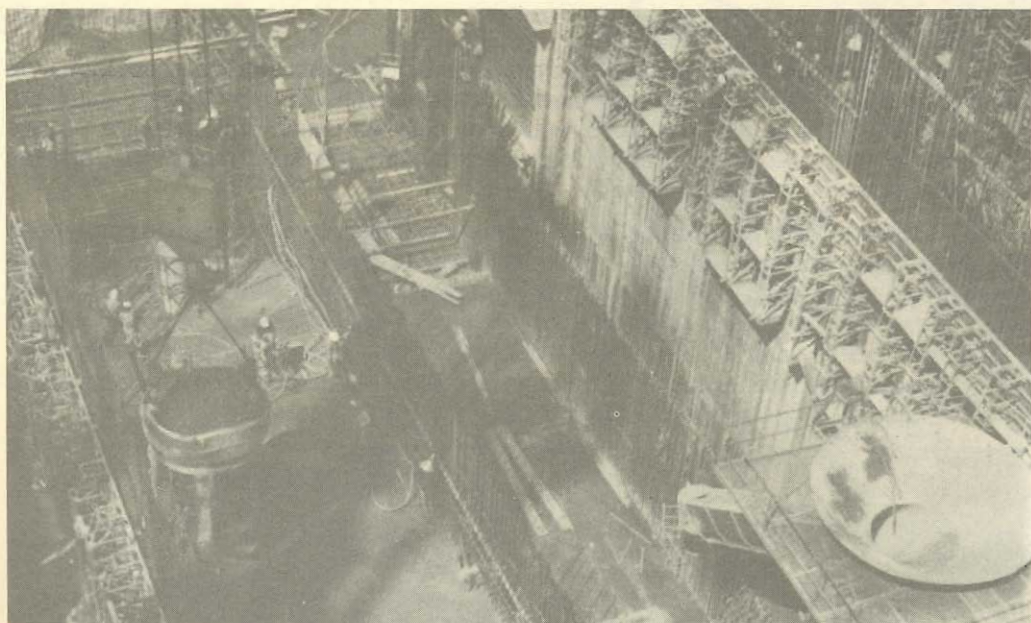


Figura 11.15 - Calha inclinada para lançamento de concreto - Tucuruí

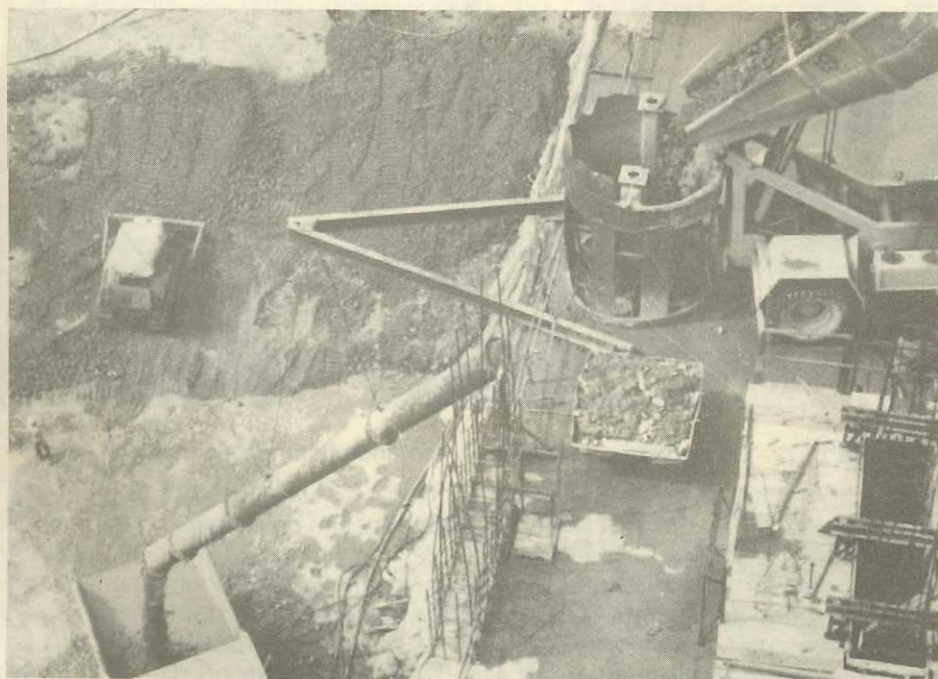


Figura 11.16 - Utilização de vários equipamentos de transportes de concreto associados. Caminhão basculante descarregando em caçamba acoplada a tubo inclinado, que descarrega em caminhão fora de estrada que o aplicará para o espalhamento pelo trator. Observa-se dispositivo, na extremidade do tubo inclinado, de forma a assegurar a descarga vertical do concreto - Tucuruí

Bombas

A utilização do bombeamento no transporte de concreto é indicada em locais de difícil acesso ou áreas muito congestionadas. É bastante útil em concretagem de túneis, condutos, etc. Para se alcançar bons resultados com este meio de transporte, alguns cuidados devem ser tomados. Os equipamentos e condutos devem estar em perfeitas condições antes do início dos serviços.

As tubulações devem ser protegidas das radiações solares, o fluxo de caminhões que alimentam a bomba deve ser contínuo, a cuba da bomba mantida permanentemente cheia e o transporte do concreto até a bomba deve ser feito, preferencialmente, por caminhões betoneira. Caso sejam usados caminhões basculantes, é conveniente que a descarga destes seja feita em uma tremonha, que por sua vez alimenta a bomba. É um sistema relativamente caro de transporte e exige concretos com consumos de aglomerantes algo elevado.

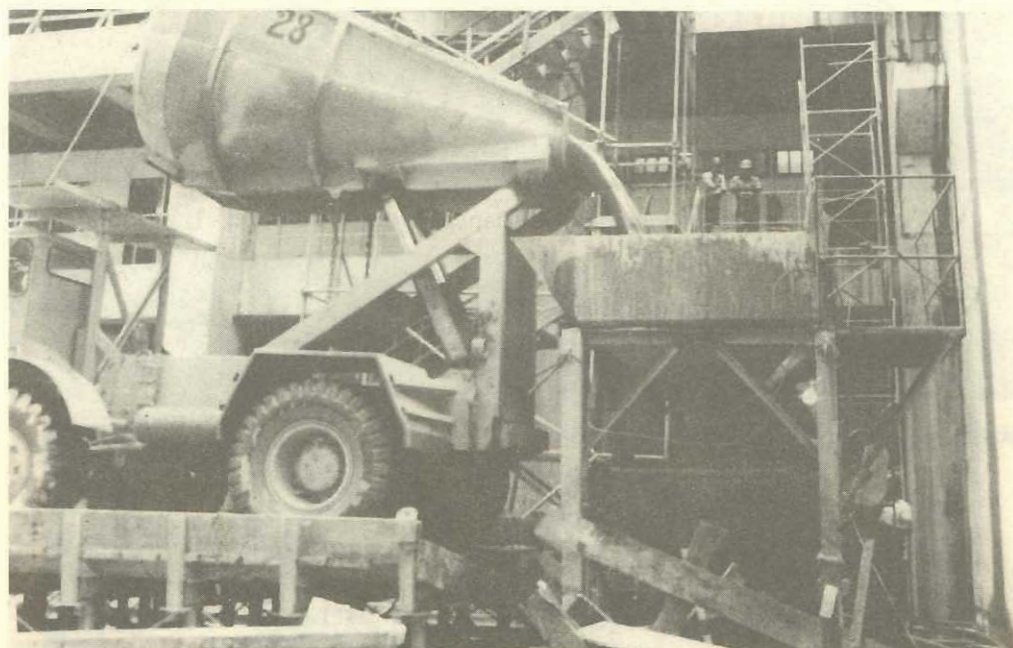


Figura 11.17 - Dumpcrete e tremonha alimentando bomba de concreto - Itaipu

Certas situações específicas permitem a utilização de sistema de bombeamento para transporte do concreto. As características da bomba e tubulação devem ser compatíveis com as características do concreto. Normalmente, o bombeamento não se aplica ao transporte de concreto massa, visto que requer pequeno tamanho de agregado e um concreto mais argamassado com teor de aglomerante ao redor de 300 kg/m^3 . Algumas bombas especiais [11.1] com tubulação de 20 cm de diâmetro permitem bombear concreto com agregado de tamanho máximo de até 76 mm, com abatimento mínimo de 6 cm, e teor de aglomerante inferior a 240 kg/m^3 . Esse sistema foi planejado pelo Construtor, para as concretagens da Tomada D'Água e Casa de Força na construção da Hidroelétrica de Xingó.

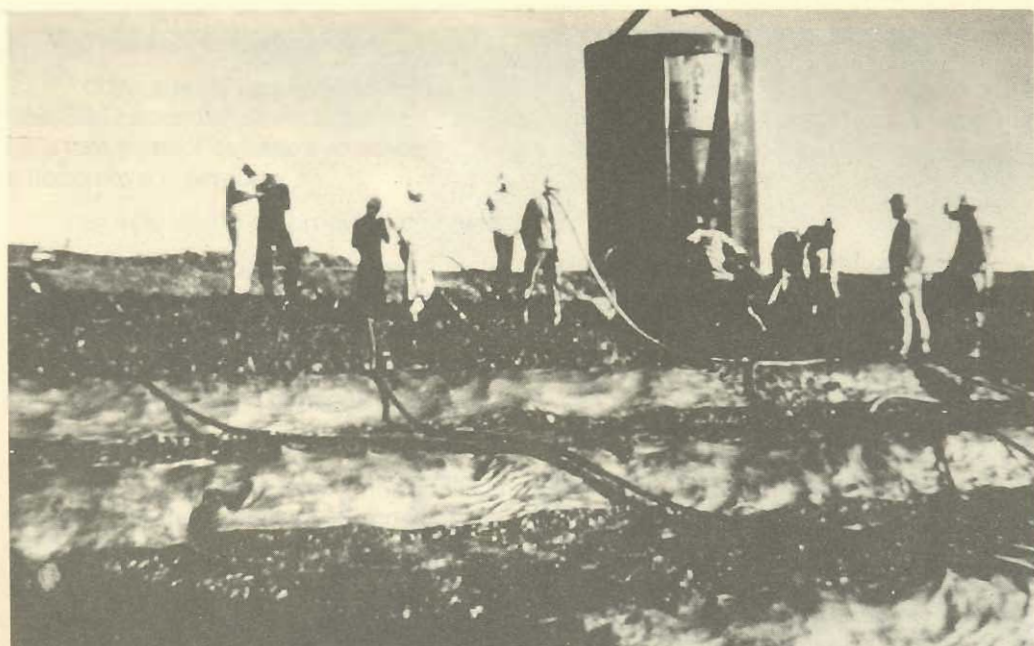


Figura 11.18 - Caçamba de acionamento pneumático, usada para colocação do concreto - Ilha Solteira

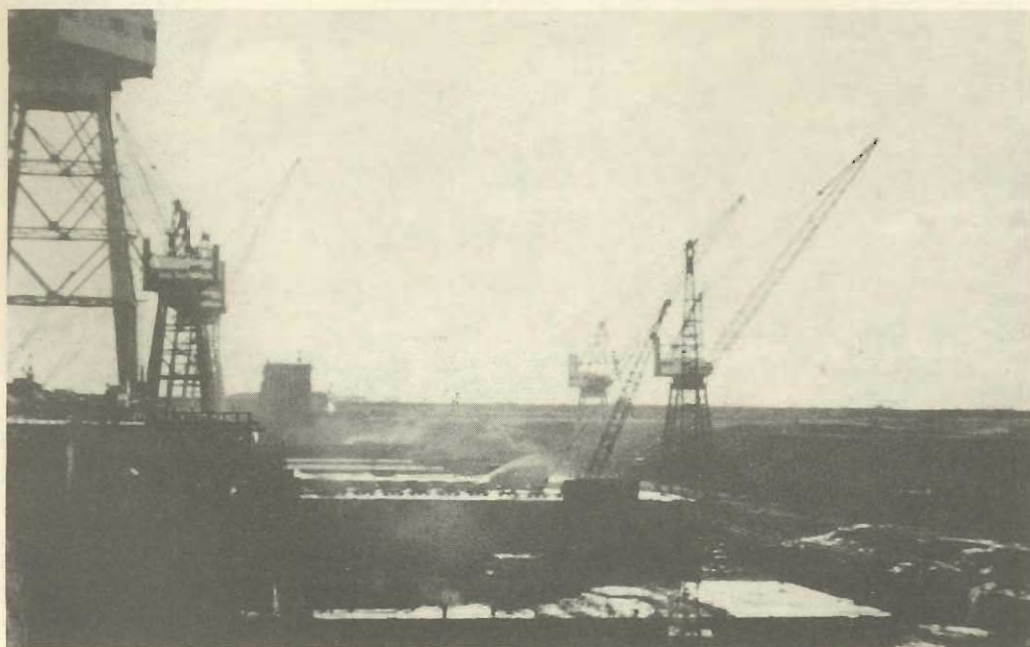


Figura 11.19 - Guindaste tipo portuário utilizado para lançamento do concreto - Ilha Solteira

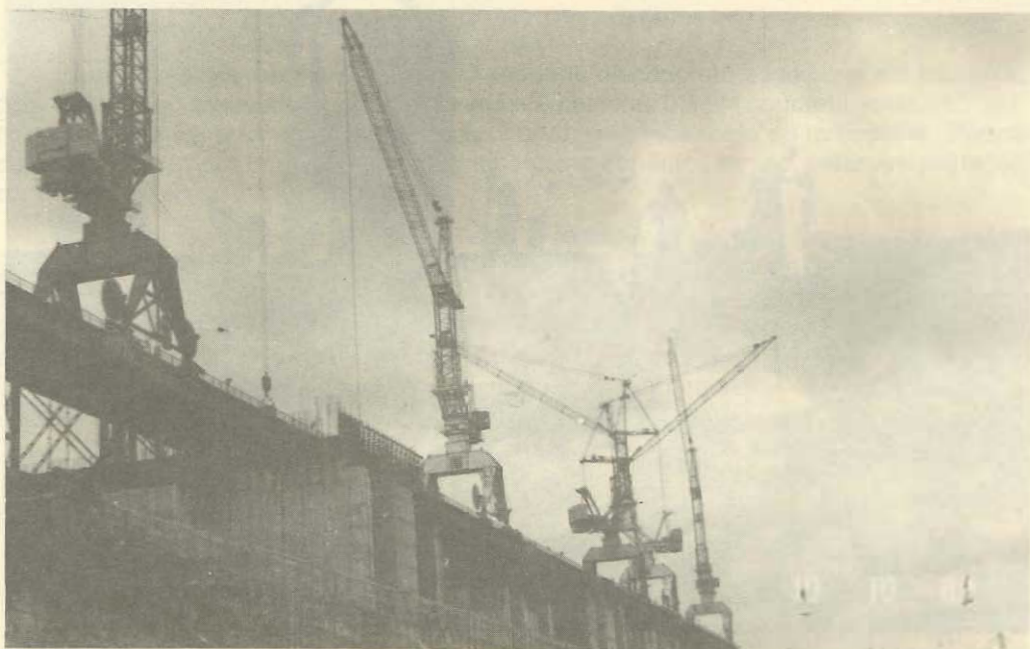


Figura 11.20 - Guindaste tipo lança em "JIB", sobre torre, utilizado para a colocação do concreto - Tucuruí



Figura 11.21 - Guindaste com lança em torre e com correia acoplada, para lançamento de concreto - Yacyreta/Argentina

Transporte Pneumático

O transporte de concreto em tubos de ar comprimido não é muito conhecido entre nós. Basicamente, consiste em um reservatório com a forma de tremonha que alimenta uma tubulação. Fechado o reservatório e aplicado o ar comprimido, este se mistura com o concreto e o empurra.

A velocidade de propulsão é bastante elevada.

Observa-se demasiada segregação no local de descarga e por isso é recomendável manter a boca de saída do tubo constantemente mergulhada na massa. Provoca também perda na trabalhabilidade do concreto.

Este método é utilizado para aplicação de concretos convencionais, não devendo ser confundido com o concreto projetado.

Vibro-acabadoras

As vibro-acabadoras, muito utilizadas para construção de pavimentos, guias, muretas, também podem ser considerados como um equipamento de colocação de concreto além de ser um sistema de adensamento.

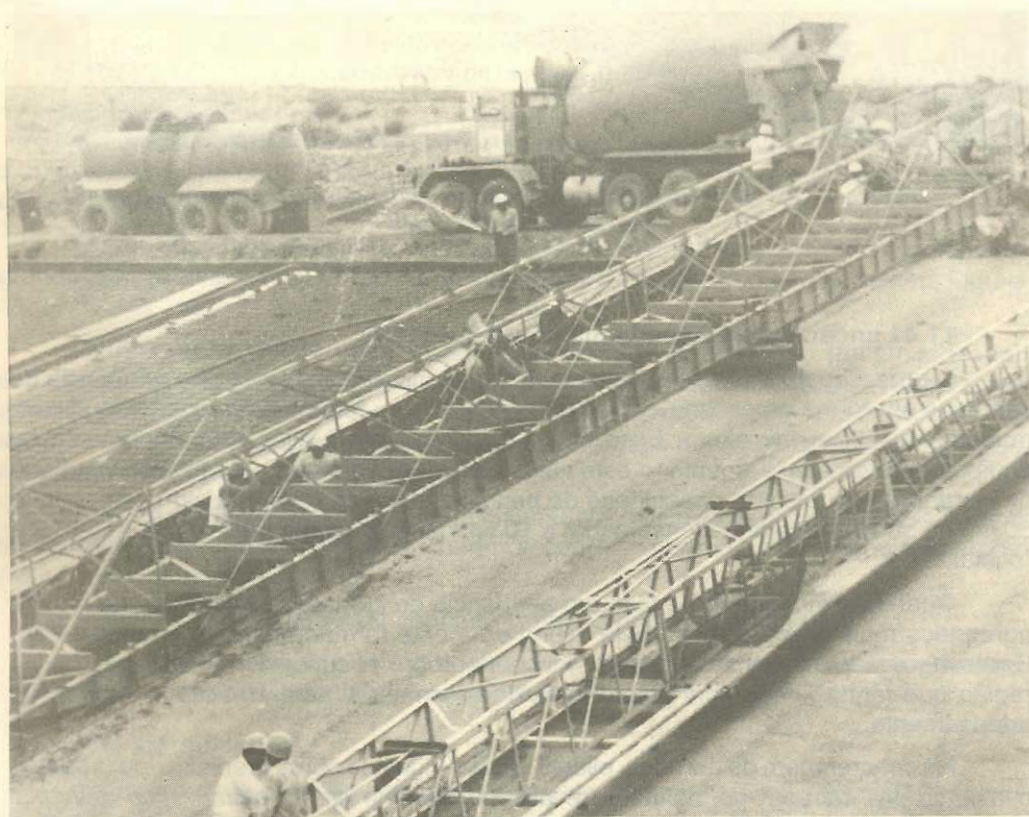


Figura 11.22 - Vibro-acabadora efetuando lançamento do concreto em obra de canais

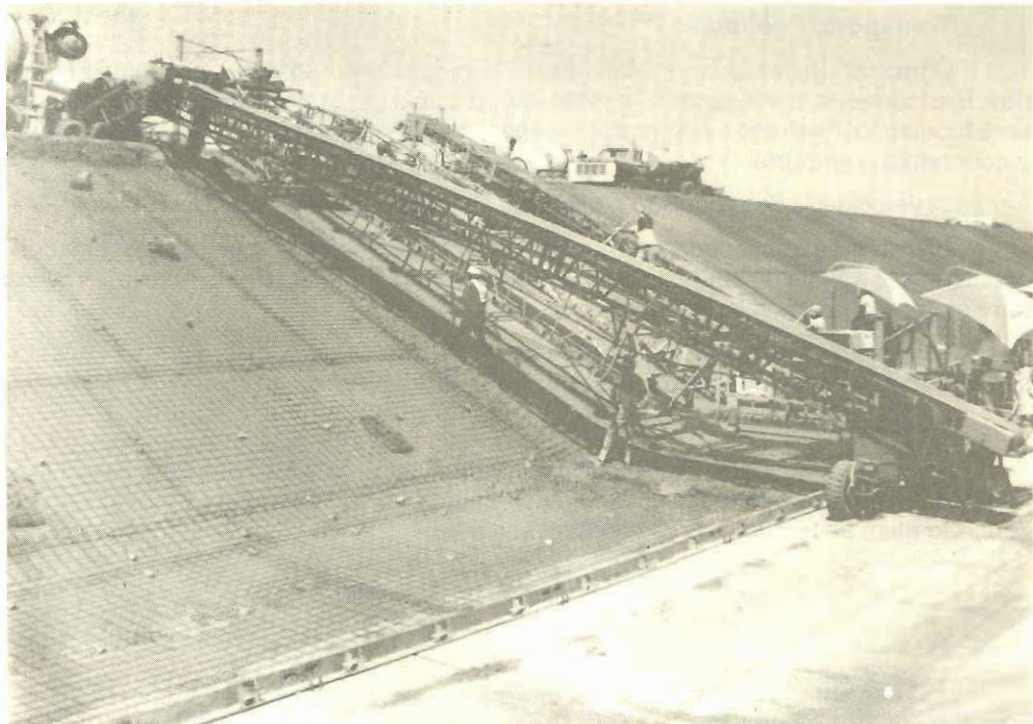


Figura 11.23 - Vibro-acabadora colocando e adensando o concreto em revestimento de canais

11.4 Lançamento e Espalhamento do Concreto

O processo mais usado no lançamento do concreto em blocos, é a sequência de camadas em forma de escada, sendo que cada degrau tem uma dimensão de aproximadamente 50 cm de altura. Essa altura é definida em função do comprimento do equipamento de adensamento, e este valor (50 cm) normalmente é utilizado visto que os vibradores usuais têm capacidade de penetrar cerca de 60 cm no concreto, sendo 50 cm na subcamada em adensamento e 10 cm na subcamada inferior, para efetuar a "costura".

Quando o lançamento é feito em sequência de camadas, é comum que alguns agregados mais grossos rolem pelo talude do monte formado durante o lançamento. Esses agregados devem ser, então, lançados sobre o concreto recém-lançado, na região que tenha ficado com pouco mais de argamassa, para então proceder-se ao adensamento.

Na concretagem de paredes, pilares, lajes e vigas de obras prediais e/ou urbanas, o avanço da "cabeça" normalmente é distinto daquele citado acima. Isso devido à esbeltez das peças. Isso também é considerado na execução de peças pré-moldadas. Nessas situações o plano de concretagem deve contemplar equipamentos de colocação e espalhamento do concreto.

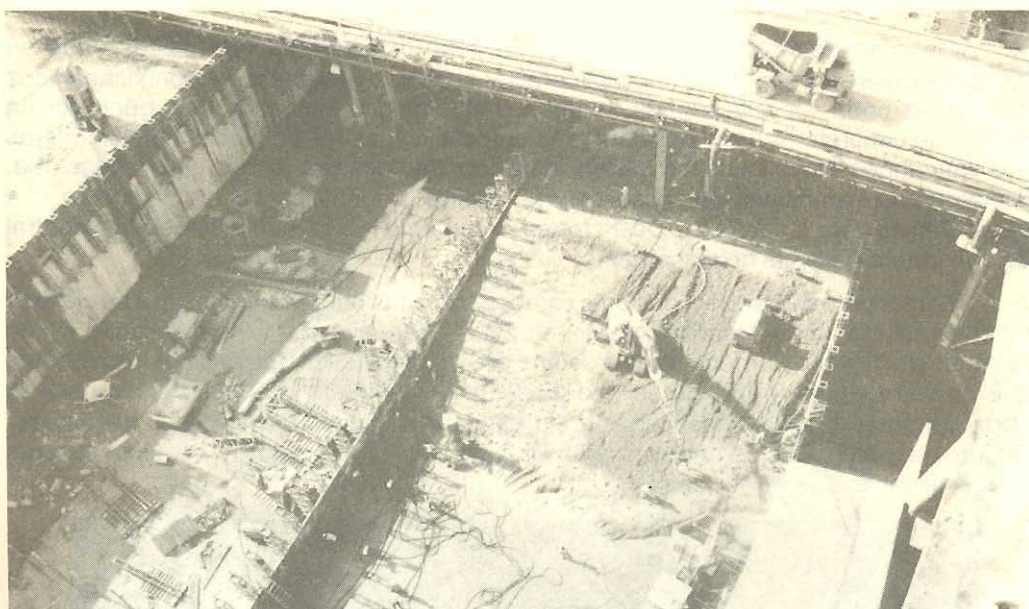


Figura 11.24 - Colocação do concreto com dumpcrete e espalhamento com trator de lâmina - Tucuruí

Quando se utiliza trator de lâmina sobre esteira, para o espalhamento do concreto, o lançamento é efetuado em rampa com uma cabeça única de concretagem de altura em torno de 30 cm.

Com a finalidade de facilitar o "desmonte" de concreto lançado por caçambas de grande capacidade (3 ou 6 m³), pode-se usar trator de lâmina como mostrado na Figura 11.25.

Com a utilização do trator, a altura da camada de concreto (recém-lançado) espalhada ao longo da rampa é de espessura variável. Em vista disto, não se deve permitir o espalhamento de concreto sobre concreto já espalhado e não adensado, ou seja, com a utilização do trator, todo concreto espalhado deve ser vibrado antes de se espalhar novamente concreto na região.

O trator de lâmina deve sempre transitar sobre concreto fresco e nunca (a menos se utilizada proteção de borracha ou madeira) sobre a superfície de camada preparada para receber concreto.

O trator não deve espalhar concreto contra fôrmas ou parâmentos.

É importante neste tipo de espalhamento verificar se não há vazamentos de óleo ou perda de combustível durante o seu abastecimento.

11.5 Identificação

Em obras onde diversas classes de concreto com vários D máx. de agregados, o sistema de identificação dos concretos desde as centrais até o local de aplicação é extremamente importante.

Recomenda-se que esta identificação seja feita por meio de placas onde se indique a classe e a dimensão máxima característica dos agregados. A identificação dos caminhões pode ser feita a partir de um painel luminoso, acionado pelo operador da central de concreto. A partir desta informação, são colocadas as placas identificadoras nos caminhões. No local de transferência do concreto dos caminhões para a caçamba, o elemento responsável por esse serviço verifica a identificação do caminhão e a transferência para a caçamba. Desta forma, o concreto fica identificado desde a central de concreto até o local de lançamento.

É interessante também que seja estabelecido um código de cores para as classes de concreto, de modo a facilitar sua visualização. Outro sistema de identificação é feito por meio de "tickets", fornecidos pela central de concreto aos motoristas dos caminhões, que os entregam na frente de serviço. Esse sistema, no entanto, só é válido para as obras menores e tem o inconveniente de não permitir a identificação das caçambas. Sugere-se, para efeito de uniformização da tipologia dos concretos, o seguinte sistema de identificação das misturas:



Figura 11.25 - Colocação do concreto através de caminhões basculante fora de estrada, sendo o adensamento efetuado por vibradores acoplados a uma retroescavadeira - Itaipu

D MÁX. DOS AGREGADOS		f_{ck} kg/cm^2	IDADE (dias)		
Argamassa	0	x	a	-	3
D Máx. 19 mm	1		b	-	7
D Máx. 38 mm	2		c	-	28
D Máx. 76 mm	3		d	-	90
D Máx. 152 mm	4		e	-	180
			f	-	365

Por exemplo, a mistura 4/100/f significaria:

4 - D máx. = 152 mm

100 fck = 100 kgf/cm²

f - idade = 365 dias

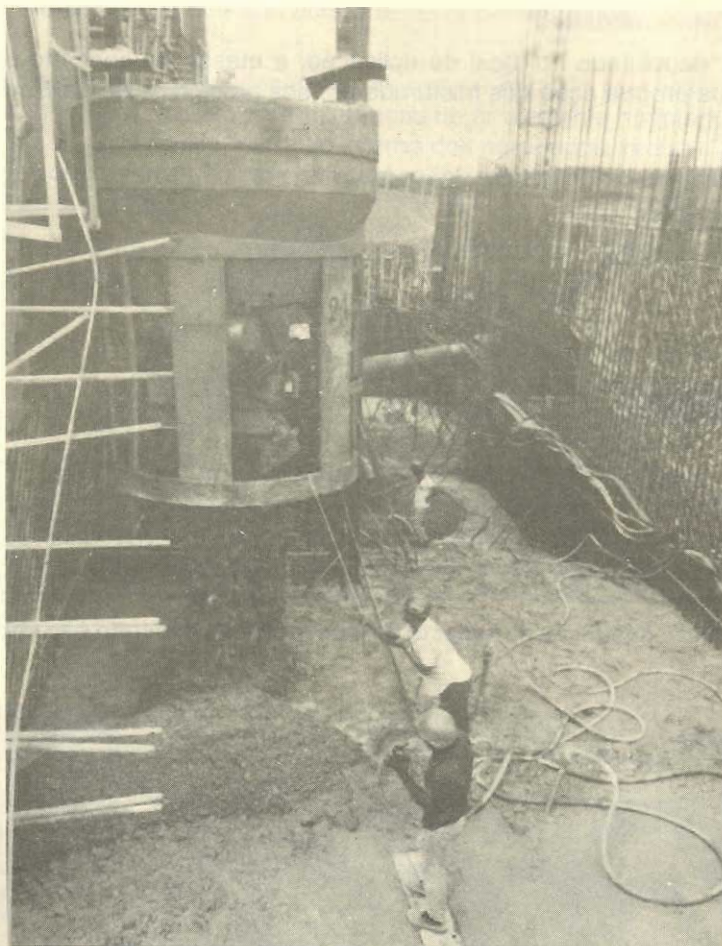


Figura 11.26 - Caçamba hidráulica com descarga de fundo. Observa-se a plaqueta de identificação (próxima ao número da caçamba) - Tucuruí

12. ADENSAMENTO E ACABAMENTO DO CONCRETO

12.1 Adensamento

12.1.1 Generalidades

Ao ser depositado no local de aplicação, a massa de concreto possui vazios decorrentes da própria ação dos misturadores, dos processos de transporte de lançamento.

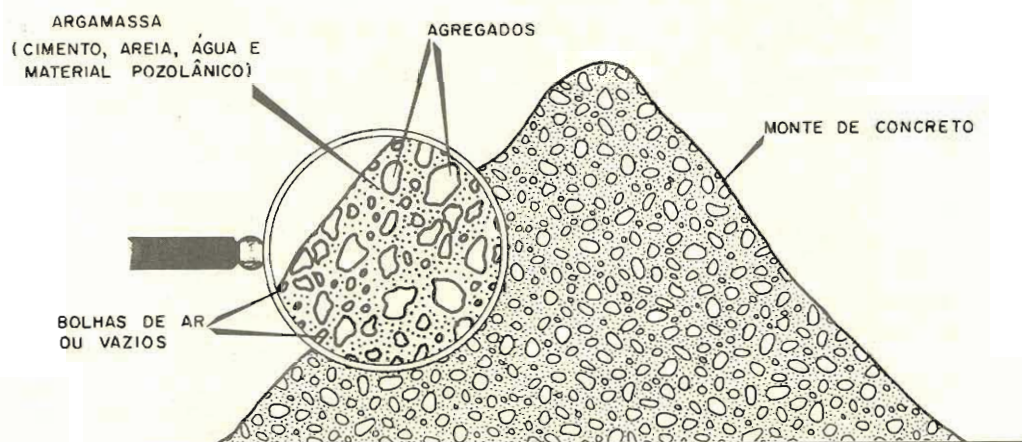


Figura 12.1 - Ilustração do aspecto de uma massa de concreto não adensado

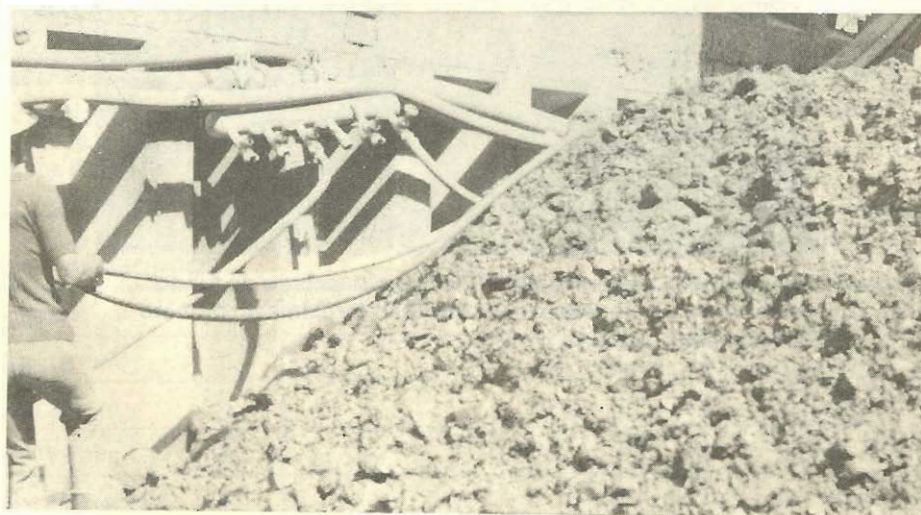


Figura 12.2 - Aspecto do concreto recém-lançado, sem ter sido compactado

Deixando o concreto permanecer na condição tal qual lançado, ficará poroso, desuniforme e com propriedades resistentes duvidosas, tendo ainda uma aspecto visual desagradável.

É necessário, então, que o concreto seja compactado para se obter as propriedades normalmente desejadas do concreto. Ainda, a compactação é necessária para que o concreto atinja todas as regiões do "molde", de maneira a resultar um corpo tal qual idealizado e também para que o concreto envolva perfeitamente todos os elementos embutidos.

Adensamento ou consolidação do concreto é então o processo utilizado para reduzir a quantidade de vazios, com a remoção do ar existente no interior do concreto fresco. A saída do ar favorece o arranjo interno dos agregados, reduz o atrito entre as partículas, melhora o contato do concreto com as fôrmas e a armadura e, ainda, aumenta a resistência do concreto.

Os benefícios da consolidação são qualitativamente indicados na Figura 12.3 [12.1].

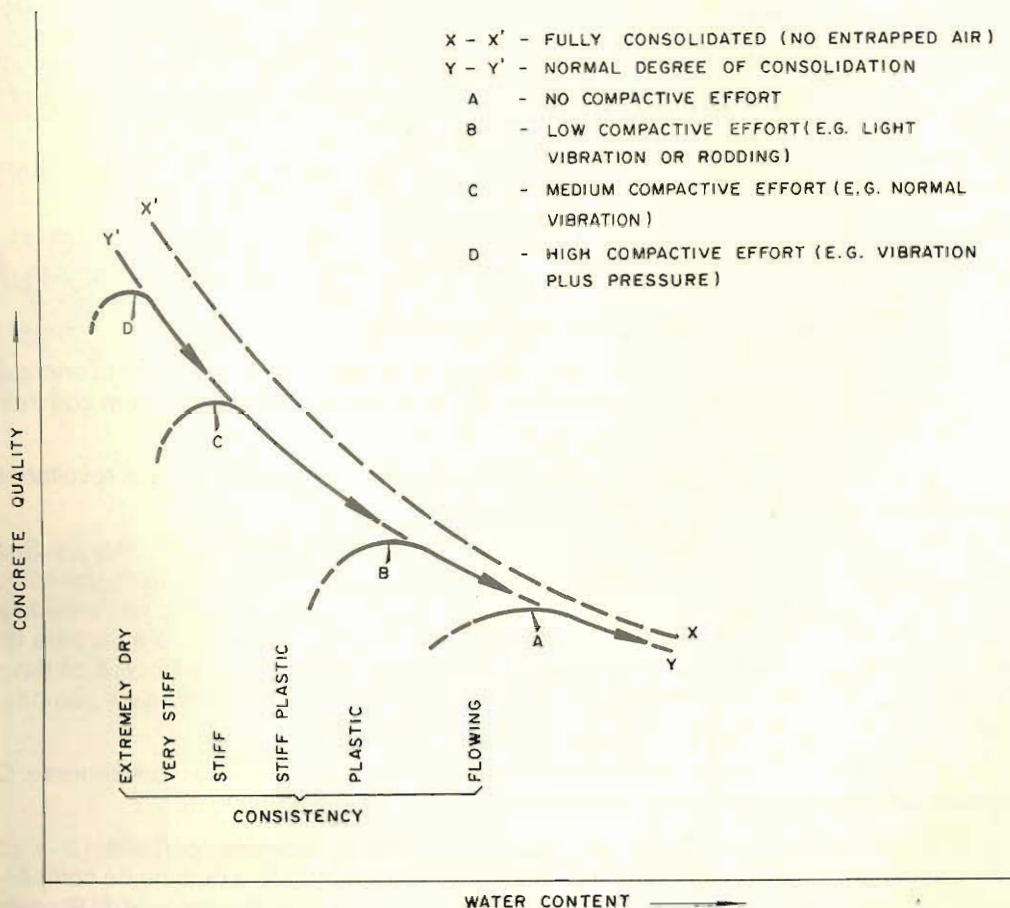


Figura 12.3 - Teor de água e qualidade do concreto decorrente do adensamento [12.1]

Imediatamente após o lançamento do concreto no seu local de aplicação, é necessário torná-lo o mais compacto e homogêneo possível, eliminando o ar aprisionado em seu interior e facilitando o arranjo interno das partículas. Para a eliminação dessas bolhas de ar oriundas dos processos de fabricação, transporte e lançamento, é necessário diminuir o atrito interno das partículas componentes do concreto. Este objetivo é alcançado por meio de uma adequada compactação. Inexistência ou deficiência de compactação conduzirá a um concreto poroso, de baixa resistência e sem uniformidade. Uma boa compactação assegura também um perfeito preenchimento das fôrmas, bem como um íntimo contato entre o concreto e as armaduras e embutidos.

12.1.2 Métodos e Processos para Compactação

O método ou processo de compactação deve ser o mais adequado e compatível com as características da mistura do concreto (trabalhabilidade, consistência, diâmetro máximo dos agregados), características e dimensões das armaduras.

Os processos de adensamento do concreto podem ser divididos em duas categorias:

- manual - apiloamento
- mecânico - vibração
- centrifugação
- apiloamento mecânico
- compressão mecânica
- tratamento a vácuo

12.1.2.1 Adensamento Manual (Apiloamento)

Normalmente utilizado em obras de pequeno vulto e em locais onde falta energia, o adensamento manual é executado através de processos rudimentares, em concreto plástico.

O apiloamento manual é uma operação bastante laboriosa, e os seus resultados podem ser considerados pouco eficientes.

O apiloamento é o processo mais antigo para a compactação do concreto. Sua aplicação é restrita a concreto com trabalhabilidade medida no abatimento do tronco de cone de 5 a 15 cm, cuja dimensão máxima característica dos agregados não exceda a 38 mm. Para o apiloamento manual são utilizados diversos utensílios, e a escolha do mais adequado é feita em função das características da obras. Este processo só deve ser utilizado em obras de menor responsabilidade. A espessura máxima a ser compactada deve se situar entre 15 a 20 cm.

O apiloamento é executado pela ação de um "soquete" aplicado manualmente. O apiloamento é aceitável em regiões isentas de armaduras e embutidos.

É interessante comentar, como ilustra a figura (12.5), extraída do "Bulletin 2 - Part IV - Design and Construction Boulder Dam - pág. 179", referente a detalhe de compactação através dos "pés" dos trabalhadores, durante a construção da barragem de Boulder (1932-1936).



Figura 12.4 - Compactação por apiloamento, através de "soquete" de madeira, em concreto com agregado de $D_{\text{Máx}} = 38 \text{ mm}$



Figura 12.5 - Compactação de concreto (com trabalhabilidade de 7,5 cm) através do apiloamento com os "pés". Os vibradores eram utilizados somente nos "cantos" e extremidades de fôrmas e proximidades de embutidos [12.2]

12.1.2.2 Adensamento Mecânico

O adensamento mecânico consiste na aplicação de uma energia mecânica ao interior do concreto, que se opõe às forças de atração e reduz o atrito interno correspondente, provocando o desaparecimento de vazios pela atuação do peso próprio das partes componentes do concreto.

Vibração

Em quase todos os tipos de construção, a vibração permite o emprego de concretos de consistências menos plásticas que as recomendadas para adensamento manual. Concretos com abatimentos superiores a 10 cm são normalmente considerados pouco adequados para vibração.

É fácil demonstrar que esse tipo de adensamento permite uma economia sensível no custo da obra, pois, para concretos da mesma dosagem (praticamente com a mesma quantidade de cimento), as consistências mais secas, com menor relação água/cimento, permitem o aumento da resistência, sempre que a mistura, com menor porcentagem de água, for submetida a uma vibração adequada.

De acordo com o tipo de equipamento, a vibração pode ser dividida em interna, superficial e externa.

No caso de vibração interna, a ação do equipamento começa na sua superfície e se irradia em planos normais ao seu eixo. A energia desenvolvida pelo vibrador é transmitida ao concreto pela área de contato e, a partir desta, de partícula em partícula. A energia transmitida diminui na razão inversa do quadro da distância do ponto considerado à superfície vibrante.

A vibração superficial é muito empregada em construção de lajes, pavimentos e revestimentos de estradas, garantindo um adensamento mais eficiente.

A vibração externa é obtida com a vibração da fôrma a qual, por sua vez, transmite esses movimentos ao concreto. Este tipo é muito usado em estruturas de seção esbelta, nos locais com grande concentração de armadura ou peças embutidas bem como na fabricação de pré-moldados e túneis.

Centrifugação

Outro método de adensamento mecânico, muito usado na fabricação de tubos, estacas, postes e outras peças vazadas, é a centrifugação, que produz essencialmente movimentos harmônicos simples semelhantes à vibração interna, sendo que os impulsos possuem ambas as componentes perpendiculares ao plano das fôrmas. Com este processo é possível consolidar, de forma moderada, concretos de alto abatimento.

Apiloamento mecânico

O apiloamento mecânico com soquetes apropriados, em geral movidos a ar comprimido, é normalmente empregado em concretos prêmoldados, de baixa trabalhabilidade e em concreto rolado (ver Capítulo 16).

Tratamento a vácuo (ver Capítulo 16)

O processo de adensamento a vácuo é muito usado para melhorar a qualidade do concreto próximo à superfície, mediante a eliminação de parte da água de amassamento, após o lançamento e adensamento do concreto. Este método é aplicado

principalmente na construção de lajes: consiste em colocar uma coberta sobre a superfície e logo após a consolidação normal é conectada uma bomba de vácuo; a sucção produzida pela bomba e a pressão atmosférica atuam simultaneamente, removendo a água e o ar incorporado da região próxima à superfície e eliminando os vazios ocupados pela água.

12.1.2.3 Combinação de Processos

Em algumas condições, a combinação de dois ou mais processos de adensamento fornece os melhores resultados. A vibração interna e externa podem freqüentemente ser combinadas com sensíveis vantagens, para o concreto premoldado e ocasionalmente, para concretos moldados *in loco*.

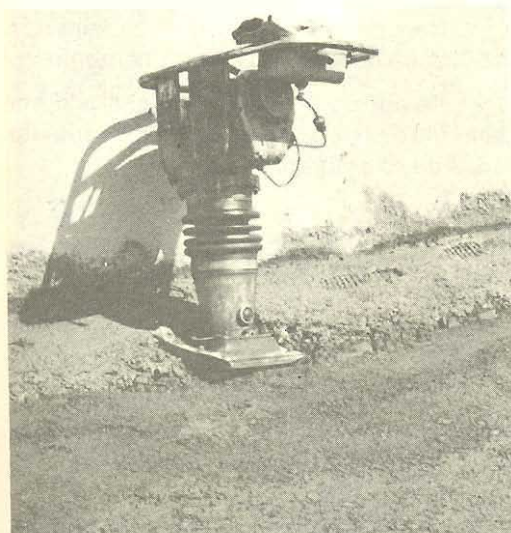


Figura 12.6 - Concreto rolado sendo compactado por "sapo" (soquete mecânico) Uruguai (Argentina)

Op

Figura 12.7 - Concreto rolado sendo compactado (junto à fôrma) por meio de placa vibratória - Itaipu



O adensamento do concreto, em peças pré-moldadas pode ser executado simultaneamente com a vibração da fôrma e aplicação de uma pressão estática no topo da superfície. Este processo, denominado "sobre pressão", é particularmente empregado em alguns casos onde a mistura, muito seca, não absorve favoravelmente a vibração interna.

A vibração e centrifugação são freqüentemente combinadas durante a fabricação de tubos, estacas, postes e outras peças similares, obtendo, com isso, concretos de alta qualidade.

A vibração e compactação mecânica são combinadas no adensamento do concreto rolado.

Entre 1970 e 1972 um novo conceito de concretagem foi desenvolvido, com base na utilização de concreto, com baixo teor de água, transportados, lançados, espalhados e adensado por equipamento comumente utilizados na construção de enrocamento.

A compactação desse tipo de concreto é feita após o mesmo ser espalhado em subcamadas de altura compatível com o equipamento de adensamento. O adensamento é feito por sucessivas (e determinadas) passadas de rolo vibratório liso.



Figura 12.8 - Compactação de concreto por meio de rolo vibratório liso - Itaipu



Figura 12.9 - Compactação do concreto rolado na barragem de Capanda - Angola

Quando da utilização desse tipo de concreto em regiões próximas a fôrmas e taludes rochosos, a compactação pode ser feita por meio de equipamentos normalmente usados em compactação de aterros, como citado nas Figuras 12.6 e 12.7.

A altura das subcamadas deve ser estabelecida em função do equipamento de adensamento a ser utilizado. O número de passadas do rolo vibratório liso também deve ser estabelecido, experimentalmente, em função do equipamento e da faixa de frequência utilizada de modo que se obtenha a densidade máxima do concreto.

Esta determinação pode ser feita, topograficamente, a cada passada do rolo vibro-compactador.

Quando após duas passadas sucessivas do equipamento vibro-compactador não houver variação na espessura da sub-camada compactada, considera-se obtida a densidade máxima do concreto para aquele equipamento.

O controle da frequência de vibração dos rolos vibro-compactadores deve ser feito periodicamente com o auxílio de um tacômetro (freqüencímetro de placa).

Caso sejam obtidos valores de frequências inferiores aos previamente estabelecidos, o número de passadas deve ser aumentado de modo a conferir a mesma densidade ao concreto.

Para a execução da compactação em regiões inacessíveis aos rolos vibro-compactadores, como a região envoltória dos drenos de paramento, utiliza-se compactadores auxiliares do tipo "sapo" ou "perereca".

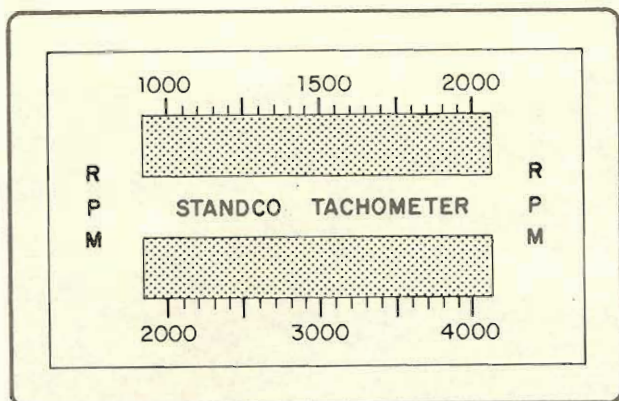


Figura 12.10 - Tacômetro visto de frente - Escala natural



Figura 12.11 - Compactação sendo executada por rolos vibratórios de pequeno porte - Capanda - Angola

Compactação "própria" (auto compactação)

Não raras vezes é necessário planificar seqüências de concretagem para locais de difícil ou impossível acesso de equipamentos de compactação, como no caso de concretos envoltórios de blindagens (caixas espirais, pré-distribuidores, aduções etc.), ou fechamento (do teto) de túneis e adufas.

Nessas ocasiões, têm-se lançado mão de concretos com alta trabalhabilidade (superior a 15 cm), de tal forma que a própria coluna "líquida" de concreto possibilite o confinamento e adensamento do concreto. Em algumas oportunidades, esses concretos são proporcionados com aditivos expansores (por exemplo: Pó de Alumínio), com o intuito de combater a redução volumétrica ocasionada pelo assentamento (que poderá ocorrer na fase anterior ao fim de pega), oriunda da elevada plasticidade do concreto (ver Capítulo 16).

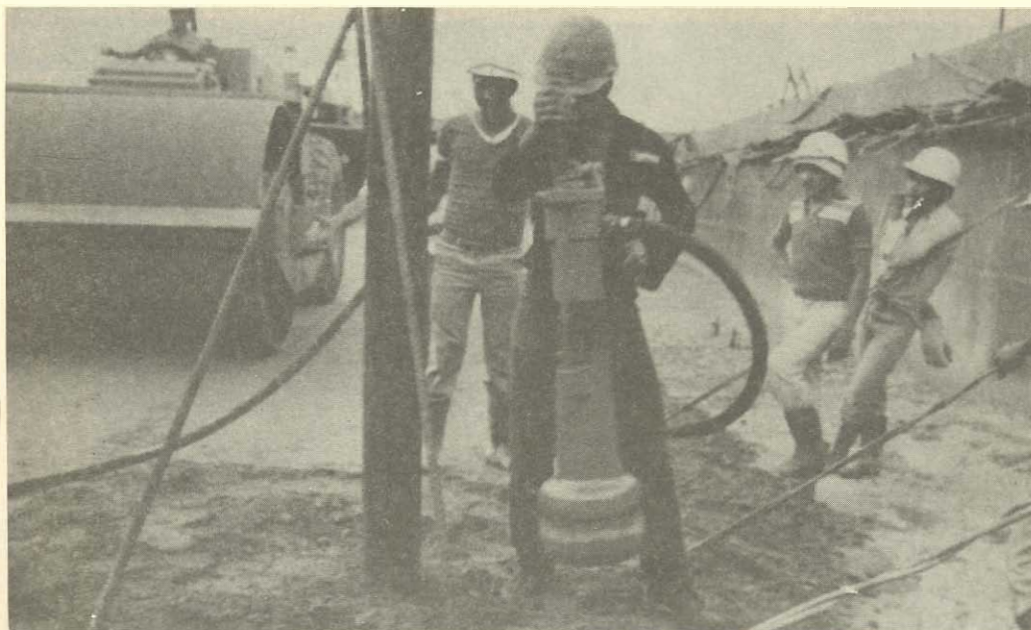


Figura 12.12 - Compactação sendo executada por compactador pneumático manual na região envoltória do dreno de paramento Tucuruí

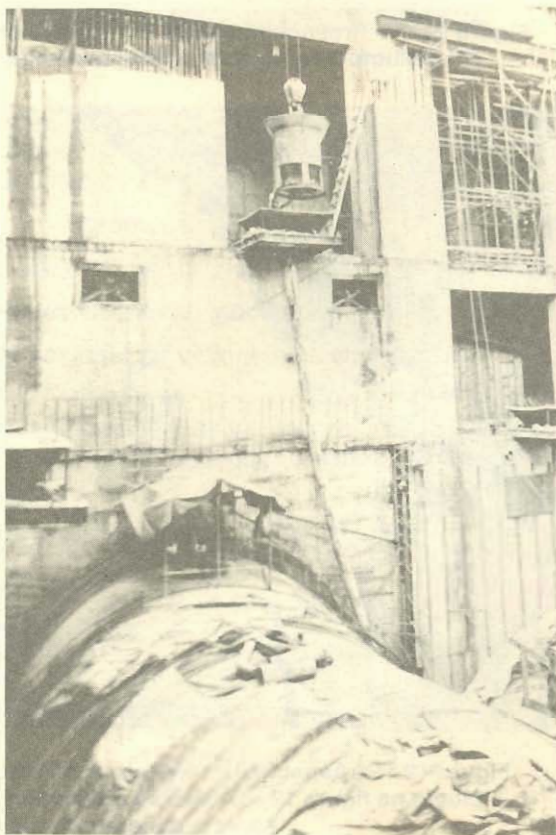


Figura 12.13 - Concretagem de berços de caixa espiral com concreto auto adensável - Tucuruí

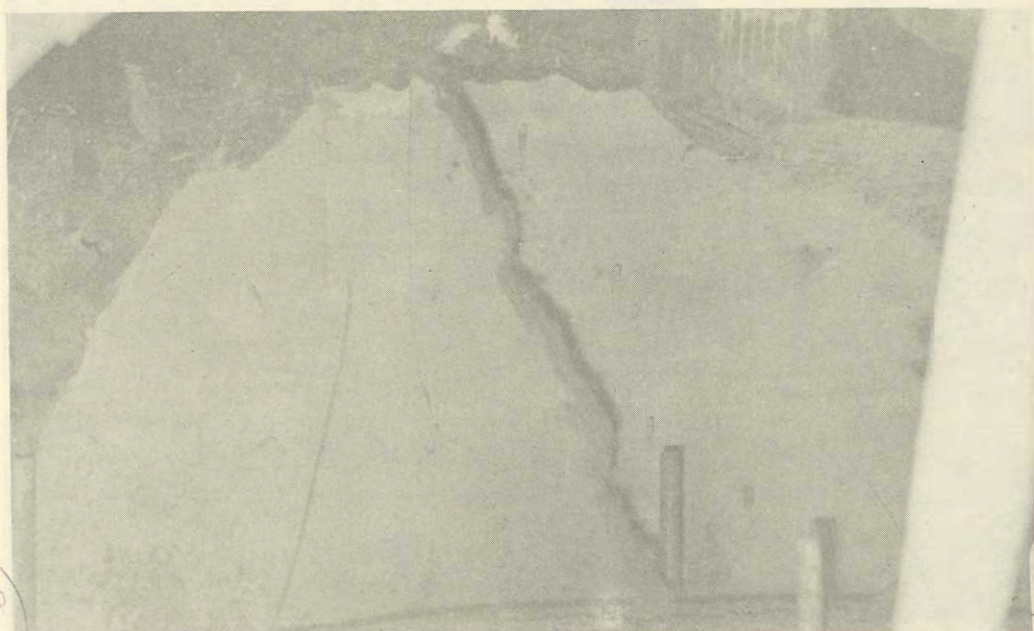


Figura 12.14 - Preenchimento de um túnel com concreto de elevada trabalhabilidade, (Slump 23 cm), com utilização de agente expansor (ver Capítulo 16)

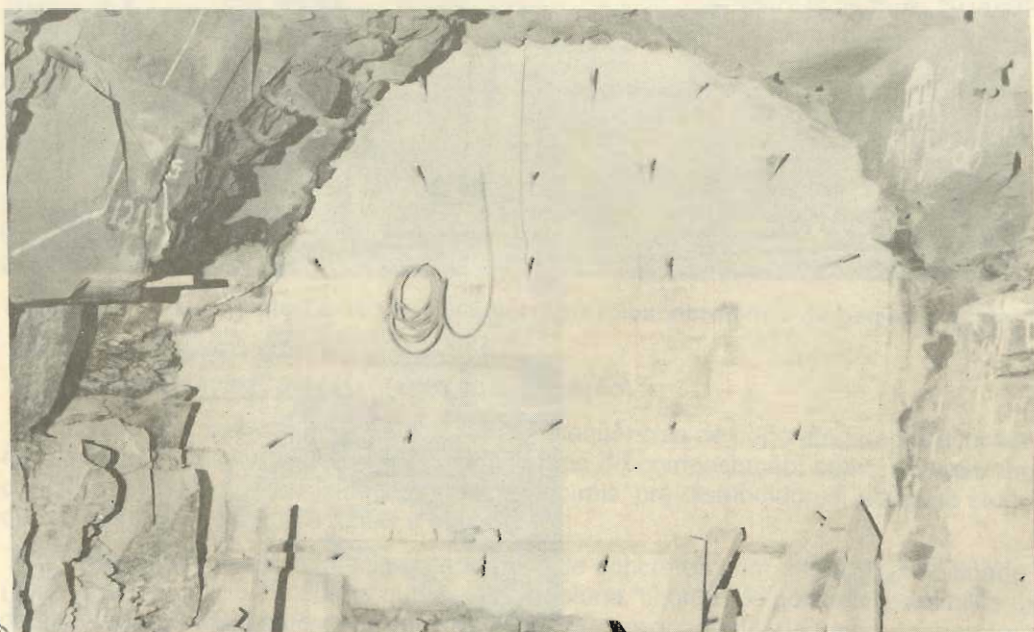


Figura 12.15 - Aspecto do concreto após a desforma da região preenchida, como citado na figura 12 - 14, não se observando vazios ao longo do perímetro de contato concreto-rocha (ver Capítulo 16)

Dentro do item compactação "própria", pode-se incluir o concreto projetado, que é adensado pela própria ação do impacto decorrente a velocidade do fluxo de projeção do concreto.



Figura 12.16 - Moldagem de amostra de concreto projetado (ver Capítulo 16)

12.1.3 Equipamentos

Os equipamentos de adensamento ou consolidação do concreto podem ser classificados basicamente em duas categorias:

- Compactadores vibratórios - vibradores.
- Compactadores não vibratórios.

Os vibradores podem ser classificados, quanto ao modo de aplicação, em:

- Vibradores internos, como as agulhas vibrantes ou vibradores de imersão.
- Vibradores de superfície, como as régua vibratórias e acabadores de superfície, vibradores externos (de forma), como os motores vibratórios e mesas vibratórias.

Os vibradores podem, também, ser classificados, de acordo com energia motriz, em:

- Eletromagnéticos.
- A combustão.
- Pneumático.
- A ar comprimido.
- Elétricos.
- Hidráulicos.

Entre os compactadores não vibratórios, alinham-se os seguintes tipos:

- Centrífugos.
- Soquetes.

12.1.3.1 Vibradores Internos

Os vibradores internos são assim chamados porque penetram na massa do concreto, transmitindo diretamente os impulsos. Podem ser manuseados com facilidade, a fim de distribuir uniformemente a vibração por toda massa.

Dois tipos de vibradores internos são atualmente mais usados:

- caixas vibrantes, que são metálicas contendo motor elétrico com a massa excêntrica e adaptada por uma das extremidade, a uma mangueira rígida.
- agulhas vibrantes, nas quais a vibração é realizada por um eixo excêntrico envolvido por um tubo e ligado a um motor elétrico, a gasolina ou a ar comprimido, por intermédio de uma mangueira rígida ou flexível.

A energia de um vibrador é função da massa excêntrica, da distância desta ao eixo, e varia com o quadrado da velocidade de rotação.

Quanto maior a relação peso excêntrico/peso total do vibrador, maior será sua eficiência.

O correto dimensionamento de um vibrador é tarefa bastante difícil, pois ele deve manter as características fundamentais de frequência e amplitude, mesmo quando estiver mergulhado no concreto.

Assim sendo, ele deve ter um adequado raio de ação e ser capaz de consolidar o concreto, removendo as bolhas de ar.

A eficiência de um vibrador interno depende, principalmente, do diâmetro da agulha, frequência e amplitude.

Dos equipamentos conhecidos para adensamento do concreto os mais eficientes são os vibradores de imersão. Sua maior eficiência decorre do fato de que sua energia de vibração é transmitida diretamente ao concreto. Existe no mercado uma infinidade de tipos de vibradores, desde aqueles com pequenas cabeças acopladas a cabos flexíveis, que são indicados para peças esbeltas ou regiões congestionadas por armação, até grandes vibradores para concreto massa. Os vibradores para concreto massa podem ser montados em "baterias" a uma retroescavadeira, empilhadeira, trator, etc. Este recurso é bastante utilizado em obra de concreto massa, principalmente, quando se executa o espalhamento do concreto com o auxílio de tratores (ver Capítulo 11).

A vibração consiste em submeter o concreto fresco a rápidos impulsos vibratórios, de maneira a "liquefazer" a massa de concreto (ver Figura 12.17) e reduzir o atrito entre os agregados.

Para a compactação de concretos com agregados de diâmetro máximo não superior a 38 mm, são usados mais comumente, vibradores de "mangote", sendo que o diâmetro da haste de vibração (agulha) situa-se entre 25 a 70 mm.

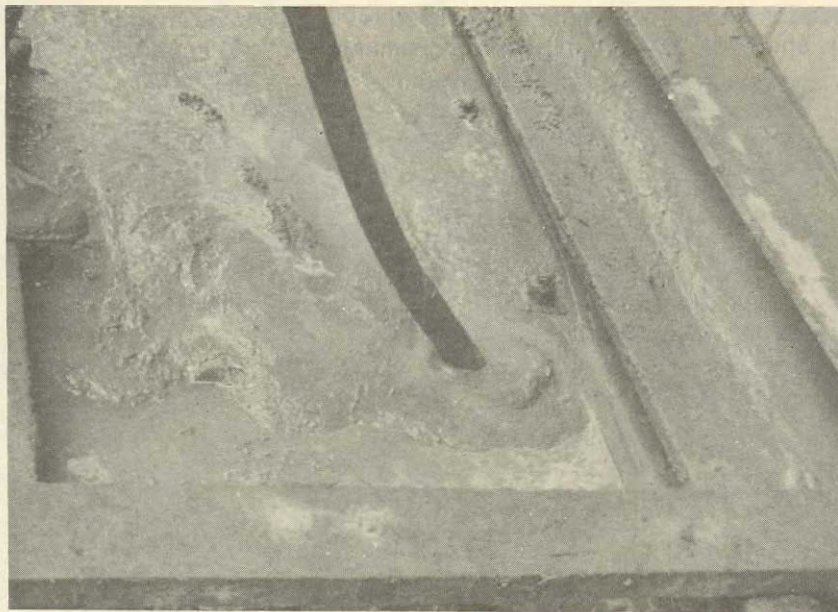


Figura 12.17 - Vibrador de mangote com agulha ϕ 35 mm para concretos com agregado de ϕ Máx. 38



Figura 12.18 - Vibrador de mangote sendo utilizado para compactação de concreto com agregado de ϕ Máx. 19 mm, em local de difícil acesso - Itaipu

Para a compactação de concretos com agregados de diâmetro máximo 76 e 152 mm (concretos massa) normalmente são usados vibradores de imersão de agulha com diâmetros entre 90 e 150 mm, preponderantemente 140 e 150 mm.

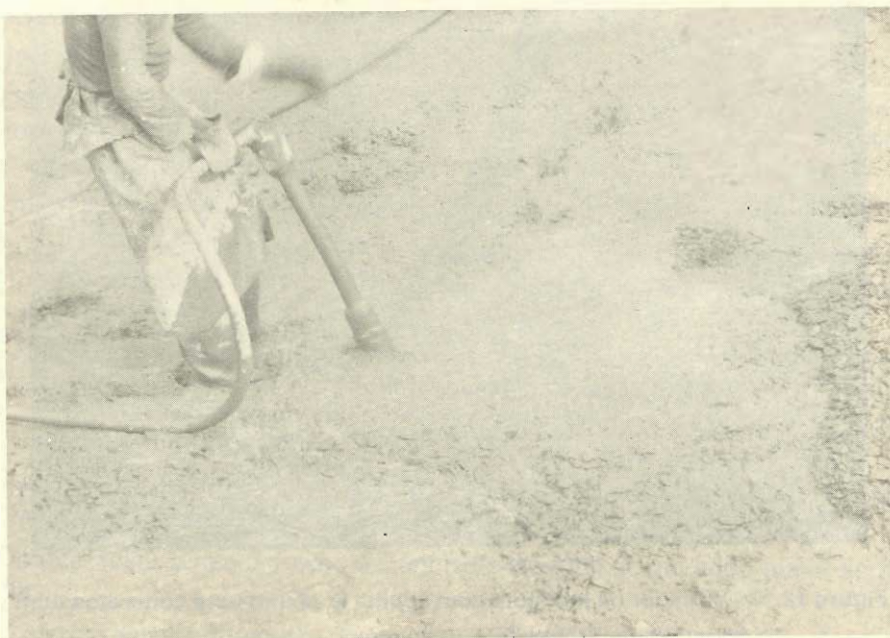


Figura 12.19 - Vibrador (com agulha de diâmetro 140 mm) de imersão utilizado para compactação de concreto com agregado de diâmetro máximo 76 mm)



Os vibradores de imersão para concreto massa podem ser operados individualmente ou acoplados a uma máquina que lança, permitindo uma redução de mão-de-obra.

Figura 12.20 - Conjunto de vibradores de imersão acoplados a retroescavadeiras, para adensamento de concreto com agregado de ϕ Máx. 152 mm - Itaipu

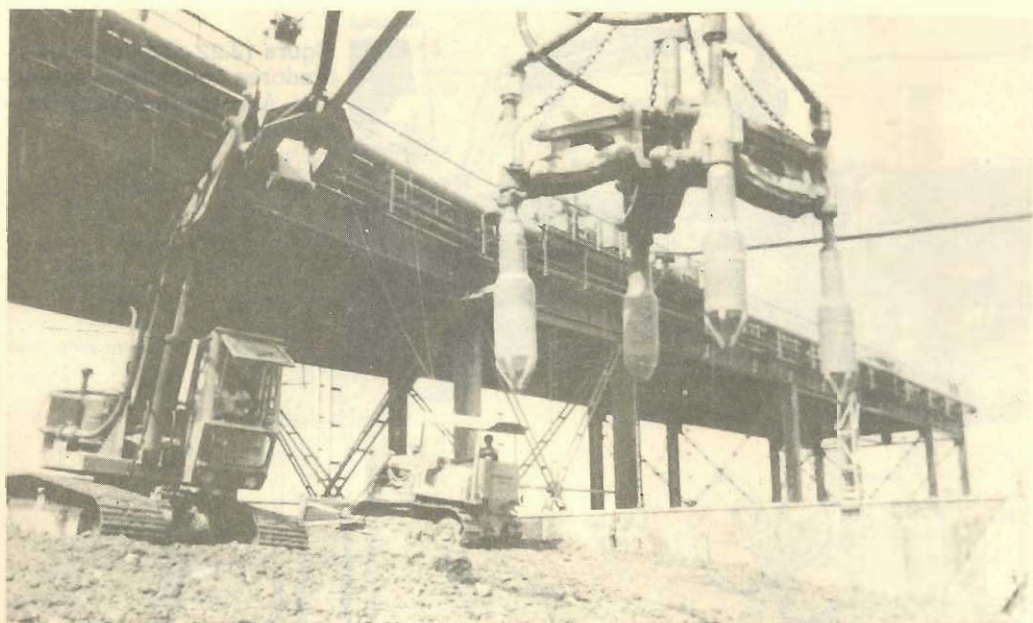


Figura 12.21 - Adensamento feito com auxílio de "bateria" de vibradores montada em uma retroescavadeira - Tucuruí

O principal requisito para um vibrador de imersão é o desempenho no adensamento do concreto. Deve ter um adequado raio de ação e deve ser capaz de "liquefazer" o concreto rapidamente. Deve, ainda, ser leve, o suficiente para ser manuseado, e suficientemente pesado para penetrar na massa de concreto, entretanto, a escolha de um ou outro tipo, deve ser cuidadosa, de maneira a se ter o máximo rendimento. Por exemplo, poder-se-ia utilizar vibradores de altíssima frequência, porém é sabido que à medida que se aumenta a frequência, aumenta-se também a manutenção e diminui a vida útil.

A frequência pode ser facilmente determinada através do tacômetro de haste, porém a amplitude não possui uma maneira fácil de medida. É então usado o valor da amplitude medida ao ar, que é um pouco maior daquela imersa no concreto.

O raio de ação é logicamente a distância para colocação dos vibradores e depende não só das características do vibrador, mas também da trabalhabilidade das misturas.

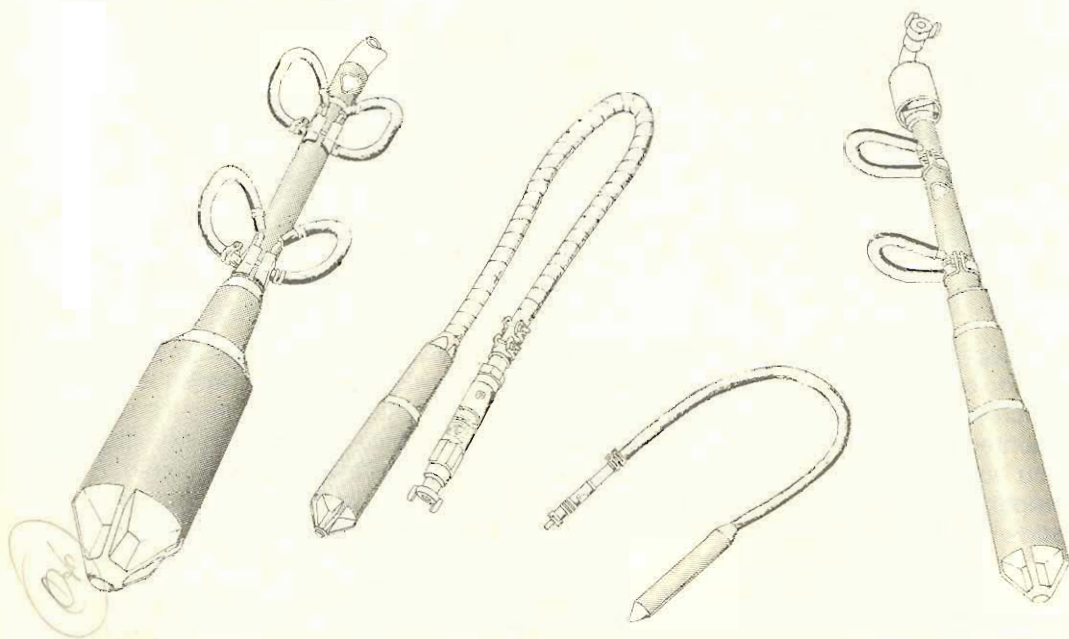
Após a escolha do equipamento adequado, ele deve ser operado por equipe treinada e consciente, de maneira a manter o espaçamento e o tempo de vibração, bem como saber quando o concreto está adequadamente adensado.

Os vibradores da Figura 12.23 são utilizados para operar em grandes blocos como os de obras de barragens, sendo os de diâmetros de 110 mm a 150 mm aplicados na vibração de concretos formados por agregados de grandes dimensões.

Os vibradores da Figura 12.25 são bastante utilizados em construções que exijam elevadas taxas de armadura e para lugares estreitos e espaços limitados.



Figura 12.22 - Conjunto de vibradores de imersão acoplados à retroescavadeira - Itumbiara



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
TIPOS	NF-50	NF-70	NF-90	NF-110	NR-110	NR-140	NR-150
DIÂMETRO DA AGULHA (mm)	50	70	90	110	110	140	150
COMPRIMENTO DA AGULHA (mm)	500	500	500	550	550	600	475
COMPRIMENTO TOTAL (mm)	2600	2600	2600	2650	1200	1250	1230
PESO EM QUILOGRAMAS	10	14	20	26	29	36	40
ROTAÇÕES POR MINUTOS : EM CARGA	12000	11000	10000	9000	9000	8000	8500
CAPACIDADE m ³ POR HORA	10	20	40	50	50	65	45/90
MANGUEIRA EXTERNA	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	1 3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
CONSUMO METROS CÚBICOS/MINUTOS	0,85	1,27	1,70	2,12	2,12	2,27	3
PRESSÃO DE AR EM LIBRAS	90	90	90	90	90	90	-

Figura 12.23 - Vibradores internos para grandes volumes de concreto

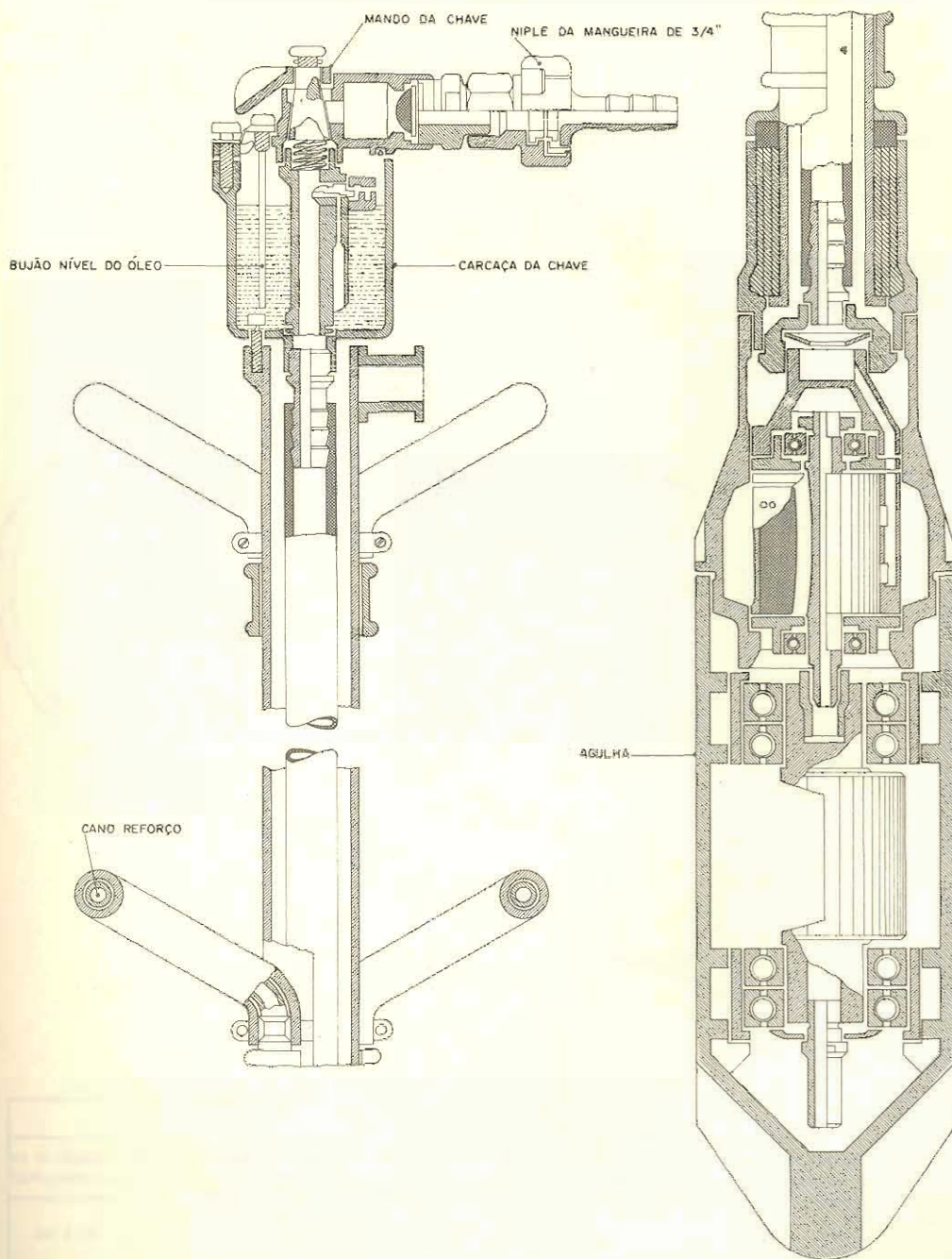
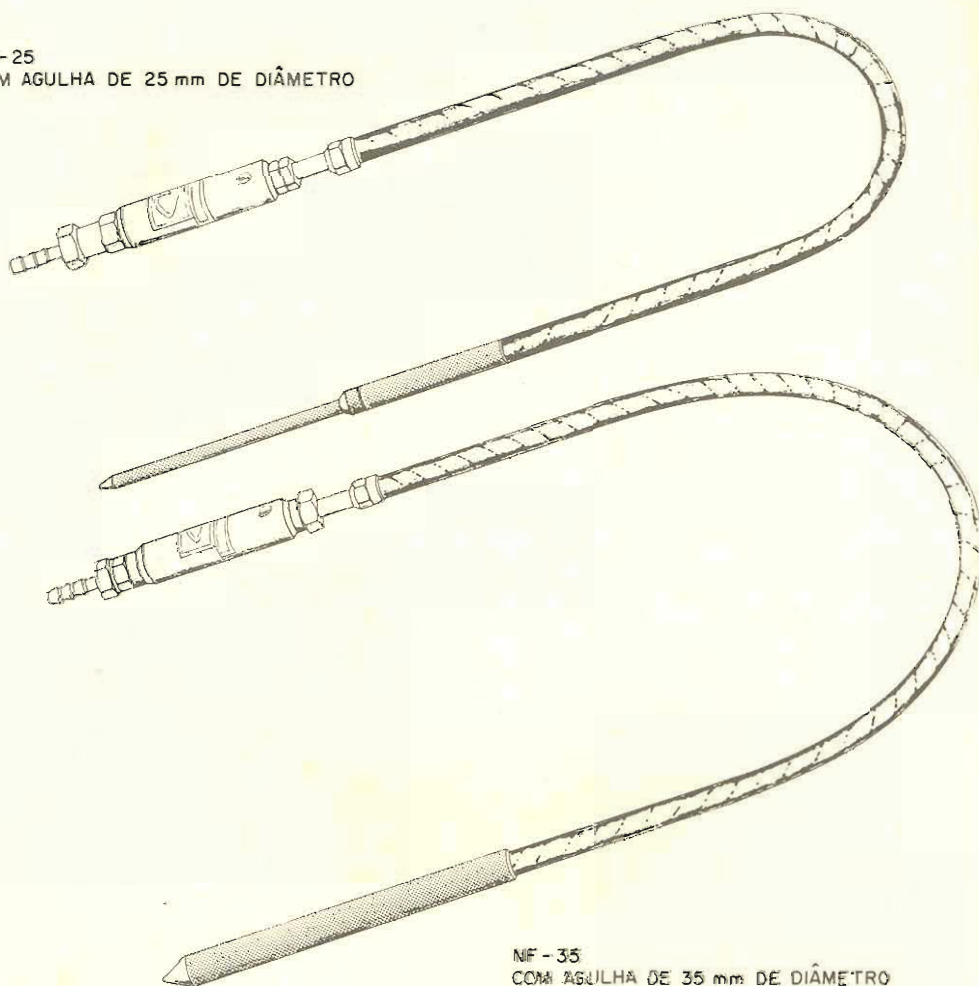


Figura 12.24 - Detalhes dos vibradores da Figura 12.23

NF-25
COM AGULHA DE 25 mm DE DIÂMETRO



NF-35
COM AGULHA DE 35 mm DE DIÂMETRO

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS									
TIPDS	DIÂMETRO DA AGULHA mm	COMPRIMENTO DA AGULHA mm	COMPRIMENTO TOTAL mm	PESO EM kg/s	RPM EM CARGA	CAPACIDADE M ³ P/ HORA	MANGUEIRA EXTERNA	CONSUMO PÉS CÚBICOS/min.	PRESSÃO DE AR EM LIBRAS/POL ²
NF-25	25	375	2600	6,000	12000	6	1"	20	80 A 100
NF-35	35	288	2520	6,450		8			

Figura 12.25 - Vibradores a ar comprimido para concreto armado

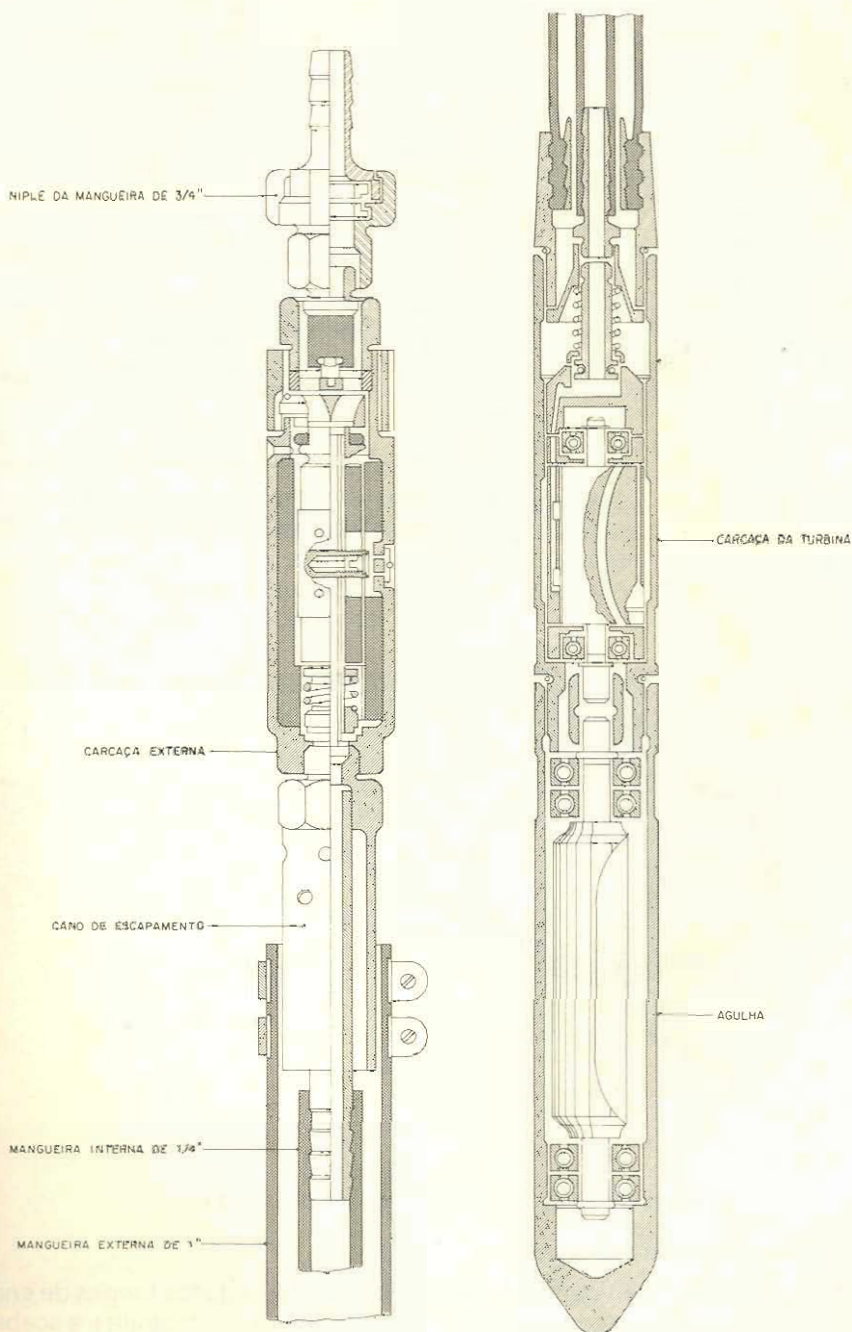


Figura 12.26 - Detalhe dos vibradores da Figura 12.25

Os vibradores elétricos são mais utilizados em obras de construção civil, de pequeno porte, onde se torne difícil a utilização do ar comprimido. São constituídos por um motor elétrico, trifásico ou monofásico, com uma capa protetora para evitar a entrada de concreto durante a operação.

O peso do motor é de aproximadamente 25 a 30 kg.

TIPO	DIÂMETRO DO TUBO (mm)	COMPRIMENTO DO TUBO (mm)	FREQUÊNCIA (V.P.M)	FORÇA CENTRÍFUGA (KP)	PESO LÍQUIDO (KG)
AA-S26	25	340	12.000	57	10
AA-S36	37	385	12.000	246	18
AA-S48	46	440	12.000	475	20
AA-S62	63	494	11.000	590	23
AA-S75	75	500	10.000	665	28,5

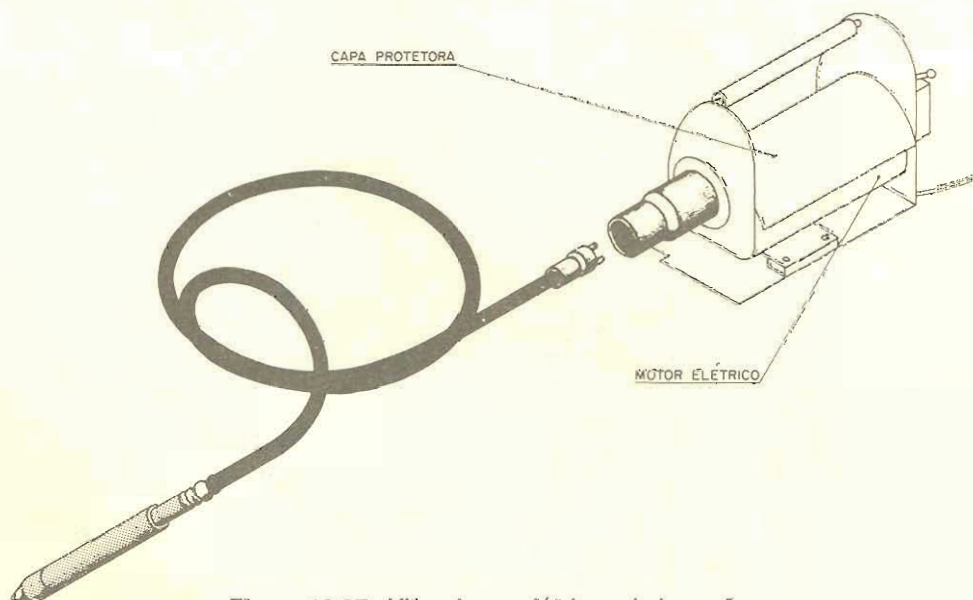
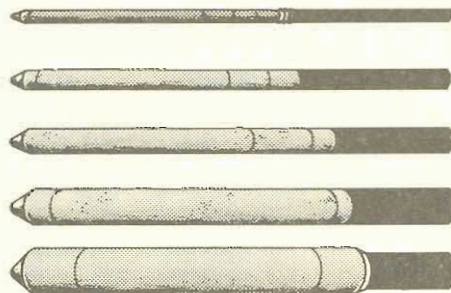


Figura 12.27 - Vibradores elétricos de imersão

12.1.3.2 Vibradores de Superfície

Os vibradores de superfície podem ser acionados por distintas formas de energia. Podem ser incluídas, nesta categoria, a régua vibratória, a placa vibratória e a acabadora de superfície.

A régua vibratória constituída de estrutura mista de compensado marítimo e chapa de aço absorve o choque vibratório, não prejudicial às estruturas metálicas rígidas. Pode

ser fabricada em dois modelos: com uma única lâmina ou com dupla lâmina. A última, com apenas uma passada, realiza o trabalho de regularização da superfície e de adensamento perfeito e uniforme, sendo utilizada em lajes, e pavimentos.

A placa vibratória, também conhecida como vibrador tipo bandeja, é muito utilizada em locais de pequena dimensão, onde a régua vibratória é inacessível. É constituída de uma prancha metálica ou bandeja, tendo os cantos dobrados para cima; um motor-vibrador instalado na bandeja provoca a devida vibração.

A acabadora de superfície, dotada de pás rígidas e sobressalentes flexíveis, garante um melhor contato com a superfície e permite um bom acabamento. Na primeira passada são utilizadas pás rígidas que trabalham paralelas ao piso, realizando o desempenho grosso, similar ao obtido com a desempenadeira manual de madeira. Para se obter superfícies lisas trocam-se estas pás pelas flexíveis, que operam com um certo ângulo em relação à superfície que está sendo alisada. Normalmente a acabadora é utilizada para adensamento de concretos quase secos (baixo slump) e superfície de acabamento liso.

Na concretagem de peças com pequena altura em relação à área, como por exemplo soleiras hidráulicas e pavimentos, a compactação pode ser efetuada através de vibradores acoplados a réguas vibratórias ou vibroacabadoras. Nessas oportunidades, além da compactação, as réguas vibratórias permitem a compactação e o acabamento da superfície, uma vez que o deslizamento das vibroacabadoras é feito sobre guias adequadamente posicionadas.

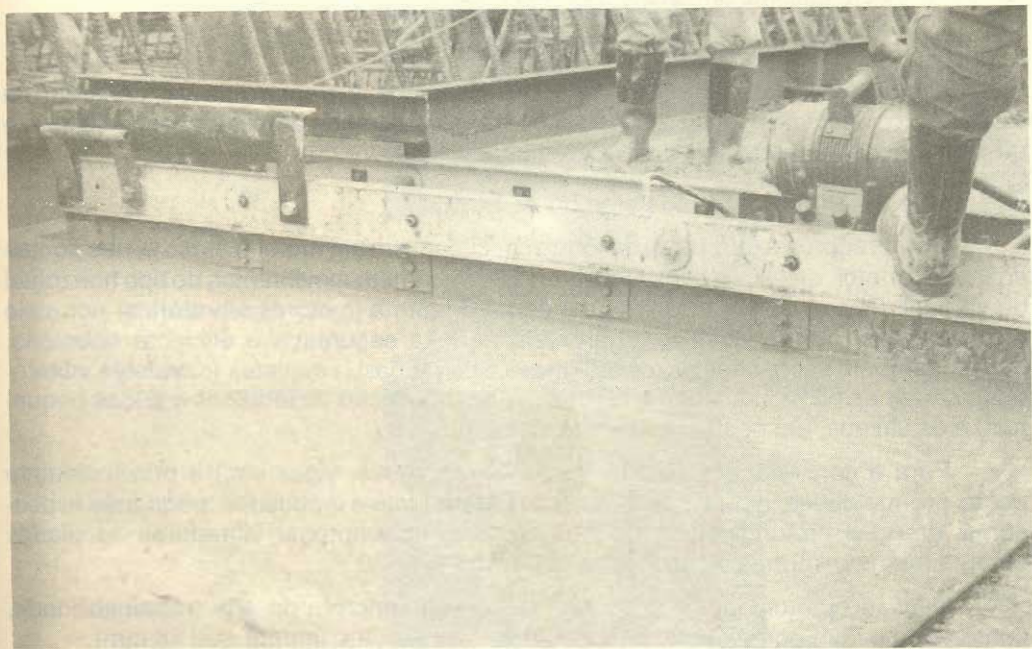


Figura 12.28 - Régua vibratória utilizada para nivelar e compactar o concreto de uma superfície hidráulica. Sobre a régua observa-se o motor elétrico para proporcionar a vibração - Itaipu

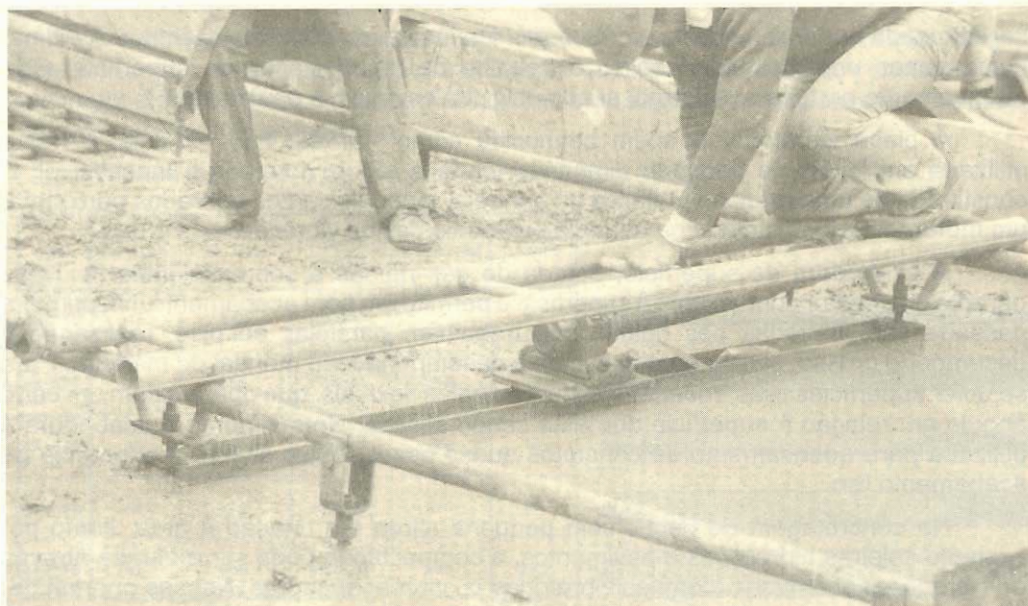


Figura 12.29 - Régua vibratória em estrutura tubular apoiada sobre guias tubulares, para execução de superfície hidráulica. O vibrador utilizado é do tipo "parede" de acionamento pneumático - Itaipu

A vibração produzida pela oscilação da régua é transmitida ao concreto na vizinhança da mesma. Nessa situação requer-se uma grande amplitude, especialmente quando o concreto apresenta "baixa" trabalhabilidade.

12.1.3.3 Vibradores Externos ou de Fôrma

Os vibradores externos ou de fôrma consistem em um motor elétrico e, nas pontas do eixo do motor, de excêntricos reguláveis que imprimem movimentos do tipo horizontal ou vertical. Podem ser fixados à face externa da fôrma (motores vibratórios) por meio de dispositivos apropriados que garantem perfeita segurança e eficiente operação. Podem também ser fixados às mesas (mesas vibratórias), cavaletes (cavaletes vibratórios), sendo as primeiras muito empregadas na fabricação de ladrilhos e peças pequenas, e os últimos, em postes, estacas e vigas.

Para a concretagem de peças esbeltas (paredes, vigas etc.) e principalmente peças pré-moldadas, quando se tem densas armaduras e embutidos, pequenas espessuras, grandes profundidades (ou alturas), é usual empregar vibradores acoplados externamente às fôrmas como mostrado na Figura 12.30.

Nessas oportunidades, é comum utilizar-se concreto de alta trabalhabilidade, consistente e com agregado de pequeno tamanho máximo (menor que 38 mm).

As fôrmas para as peças onde se pretenda aplicar vibradores externos devem ser dimensionadas de maneira a resistirem à sua aplicação. O contato entre os vibradores e as fôrmas deve ser bem feito, pois caso contrário ocorrem consideráveis perdas na energia de vibração.

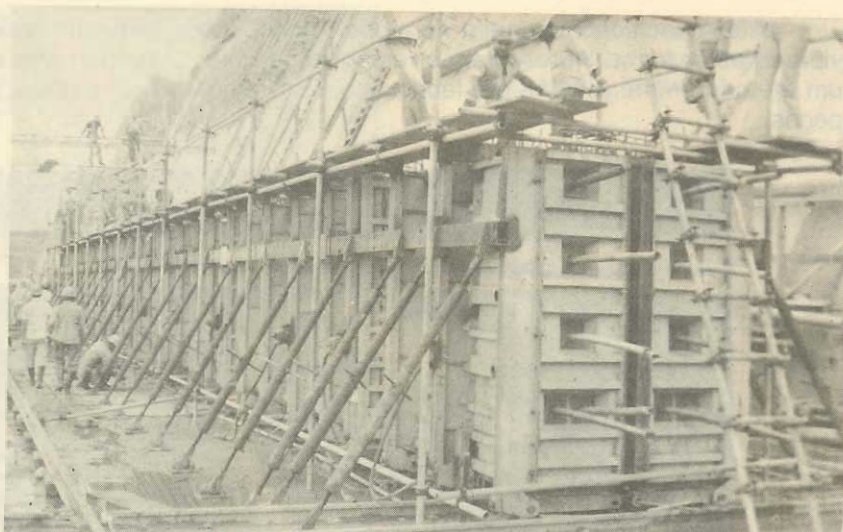


Figura 12.30 - Vibradores de parede acoplados externamente à fôrma para concretagem de vigas pré-moldadas - Itaipu

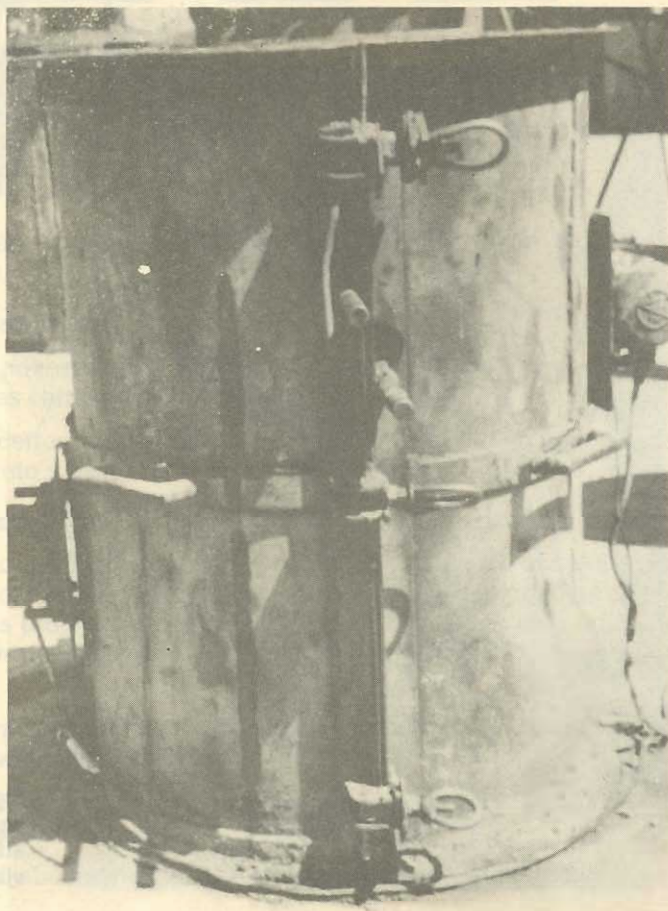


Figura 12.31 - Vibradores de fôrma para moldagem de tubos

A compactação por mesa vibratória é considerada como um caso particular dos vibradores de forma. Apresentam a vantagem de vibrar uniformemente todo o molde. É um método empregado na pré-fabricação. Este processo só é viável para pequenas peças.

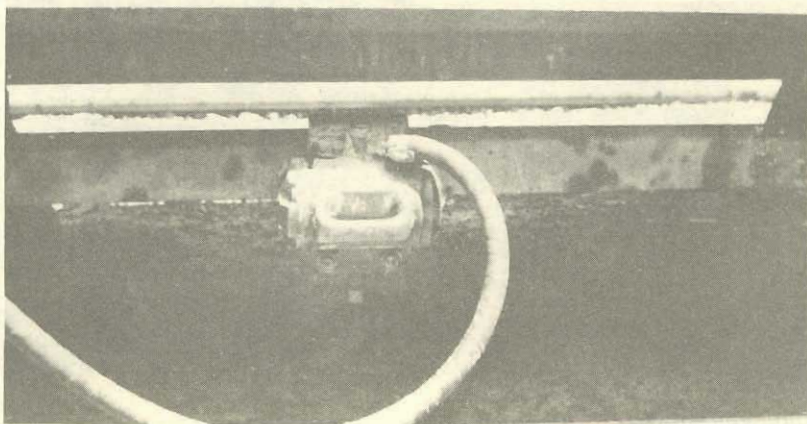


Figura 12.32 - Fôrma vibratória, para adensamento de concretos pré-moldados

64

Figura 12.33 - Moldagem de peça (tirante para ensaio de aderência) com auxílio de mesa vibratória-Itaipu

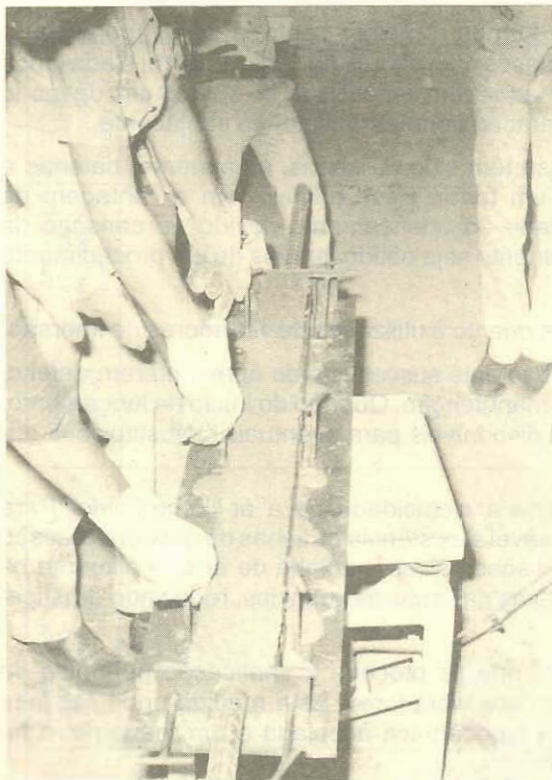


Figura 12.34 - Aspecto da peça moldada com mesa vibratória - Itaipu

A utilização das mesas vibratórias é comum para moldagem de blocos de concreto, mourões, canaletas.

12.1.4 Aplicações e Controles

A forma de realizar o adensamento depende da natureza da obra, do tipo de equipamento empregado e das características do concreto.

Este Capítulo trata de certos casos específicos de adensamento de vários tipos de concreto, tais como: concreto massa, concreto estrutural, pisos, pavimentos, etc.

12.1.4.1 Concreto Massa

No concreto massa são utilizados agregados com diâmetros máximos entre 8 e 20 cm. O consumo de cimento deve ser o menor possível, desde que compatível com a resistência requerida e outras propriedades essenciais, a fim minimizar os gradientes de temperatura, responsáveis pela ocorrência de fissuras. O consumo de cimento pode ser reduzido quando:

- A mistura conter agregados com granulometria que abranja até os maiores diâmetros admissíveis.
- O teor de areia não for superior ao necessário para proporcionar adequada trabalhabilidade.
- Os valores do abatimento puderem ser mantidos baixos (0 a 2,5 cm).

A fim de conseguir economia de fôrmas e melhor controle de temperatura, o concreto massa pode ser executado em lances com alturas de 1,50 a 2,50 m. Cada lance deve ser obtido com o lançamento de camadas com espessuras de 40 a 50 cm, de modo a permitir que o vibrador, quando em operação penetre na camada subjacente.

Para a vibração do concreto massa têm sido utilizadas, atualmente, baterias e vibradores acoplados ao hidráulico de um trator. Esse artifício tem a vantagem de eliminar a progressiva perda de qualidade do adensamento devido ao cansaço da equipe, bem como permitir que o adensamento seja obtido através de um procedimento sistemático e homogêneo.

A Figura 12.36 fornece orientações quanto à utilização de vibradores de imersão.

Os vibradores são equipamentos bastante suscetíveis de apresentarem defeito, e por esta razão necessitam de uma boa manutenção. Quando do início do lançamento, devem existir vibradores sobressalentes disponíveis para eventuais substituições durante a concretagem.

A maioria dos vibradores é movida a eletricidade ou a ar comprimido. Para vibradores que operam com ar é indispensável a existência de linhas de ar com a pressão adequada à operação dos mesmos. Pressões baixas, na linha de ar que alimenta os vibradores, conduzem a perdas significativas nas suas frequências, reduzindo drasticamente sua eficiência.

Por esse motivo é recomendável que se proceda a verificação periódica da pressão de ar na linha de abastecimento dos vibradores. Esta medida pode ser feita facilmente pela inserção de uma agulha hipodérmica acoplada a um manômetro na mangueira de ar nas proximidades do vibrador.

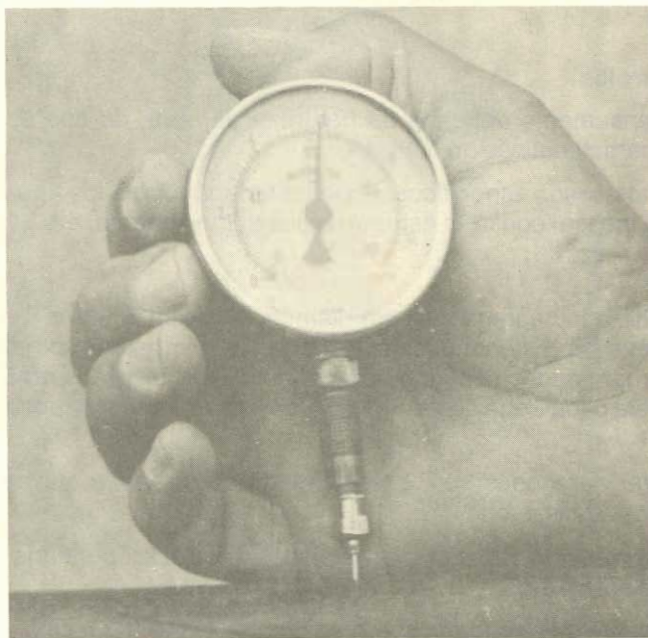


Figura 12.35 - Medida de pressão sendo feita na mangueira que alimenta o vibrador por meio de agulha hipodérmica - Porto Primavera

GRUPO	APLICAÇÃO	DIÂMETRO DA CABEÇA DO VIBRADOR (cm)	FREQUÊNCIA RECOMENDADA (RPM)(a)	AMPLITUDE MÉDIA (cm)(b)	RAIO DE ATUAÇÃO APROXIMADA (cm) (c)	VELOCIDADE DE CONCRETAGEM APROXIMADA (m ³ /h) (d)
I	Concreto plástico, em estruturas esbeltas e locais confinados. Poderá ser usado para auxiliar vibradores maiores, especialmente em concreto protendido, onde os cabos e os dutos congestionem as formas. Também usado para moldagem de corpos de prova.	2 a 4	10.000 a 15.000	0,04 a 0,08	8 a 15	0,8 a 4
II	Concreto plástico, em paredes e muros, colunas, paredes, lajes e ao longo das juntas de construção. poderá também ser usado para auxiliar vibradores maiores.	3 a 6	9.000 a 13.500	0,05 a 0,10	13 a 25	2,3 a 5
III	Concreto médio (Slump inferior a 8 cm), em construções diversas tais como: paredes, colunas, vigas, peças protendidas e lajes pesadas. Auxilia na vibração, próxima as formas, no concreto massa e pavimentos. Poderá ser montado em conjunto.	5 a 9	8.000 a	0,06 a	18 a 36	4,6 a 15
IV	Concretos massa e estrutural com Slump entre 0 a 5 cm, lançados em quantidades superiores a 3 m ³ , em formas razoavelmente largas de construção pesada (Fundações, Casa de Força). Também auxilia na vibração, na construção de Barragens, em locais próximos aos enbutidos.	8 a 15	7.000 a 10.500	0,08 a 0,15	30 a 51	11 a 31
V	Concreto massa, de Barragens em Gravidade, dois ou mais vibradores são recomendados para operar simultaneamente afim de adensar quantidades de concreto (m ³) lançados de uma só vez.	13 a 18	5.500 a 8.500	0,10 a 0,20	40 a 61	19 a 38

a = Medida com vibrador imerso no concreto

b = Medida

c = Distância, dentro da qual o concreto será totalmente adensado

d = Assumindo-se que o vibrador seja colocado seja colocado a 1,5 vezes o raio de ação e que o vibrador opere 2/3 do tempo dentro do concreto

Figura 12.36 - Orientações para utilização de vibradores de imersão

Na construção das estruturas da obra de Itaipu, durante as concretagens foram feitas verificações rotineiras das operações de adensamento.

Uma das verificações referiu-se ao tempo de permanência dos vibradores imersos no concreto. De maneira genérica, o adensamento dá-se por encerrado quando não mais aparecem bolhas de ar na superfície e esta apresenta-se vítrea, como ilustram as Figuras 12.37 e 12.38.



Figura 12.37 - Aspecto "vítrea" da superfície do concreto adensado - Itaipu

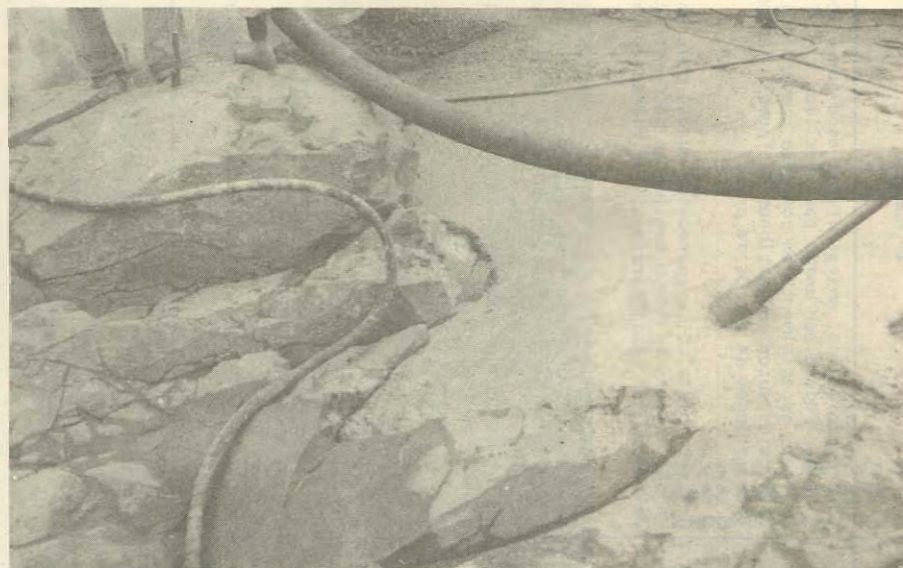


Figura 12.38 - Aspecto "vítrea" da superfície do concreto no término do adensamento - Itaipu

Outra verificação efetuada periodicamente era a da frequência (R.P.M.) de vibração.

A verificação da frequência de vibração de vibrador pode ser facilmente realizada com a utilização de um tacômetro (vibrador-tok), como ilustrado na Figuras 12.39 a 12.41.

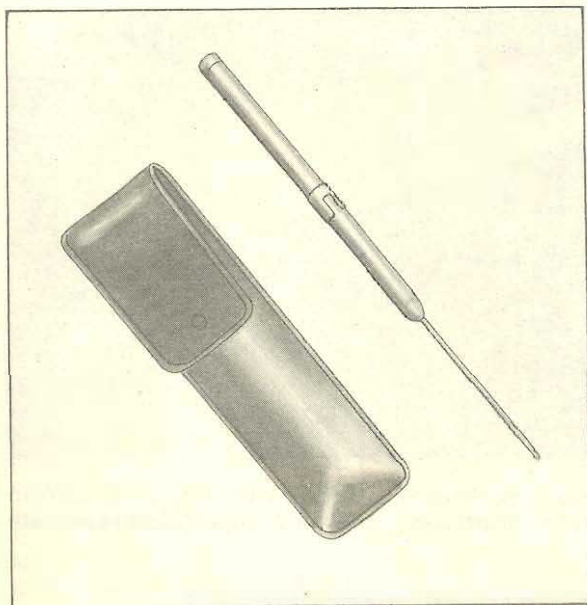
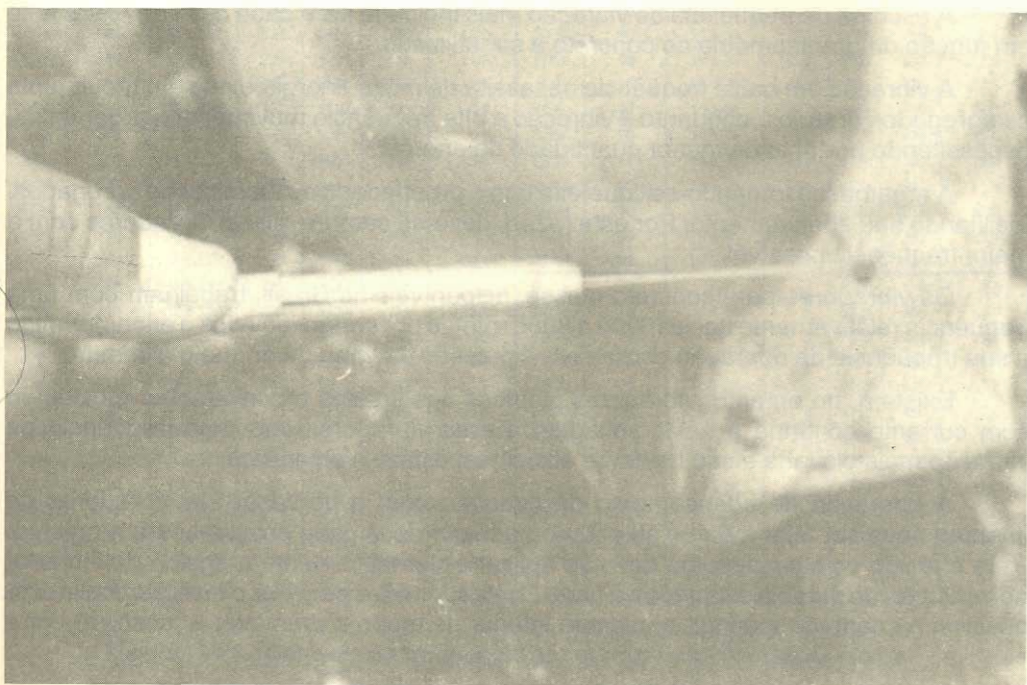


Figura 12.39 - Tacômetro de bolso

Ob

Figura 12.40 - Verificação da frequência de vibração de um vibrador com o auxílio de um tacômetro. As medidas são fornecidas em vibrações por minuto e devem ser realizadas com vibrador funcionando imerso no concreto. Na figura o vibrador não está imerso



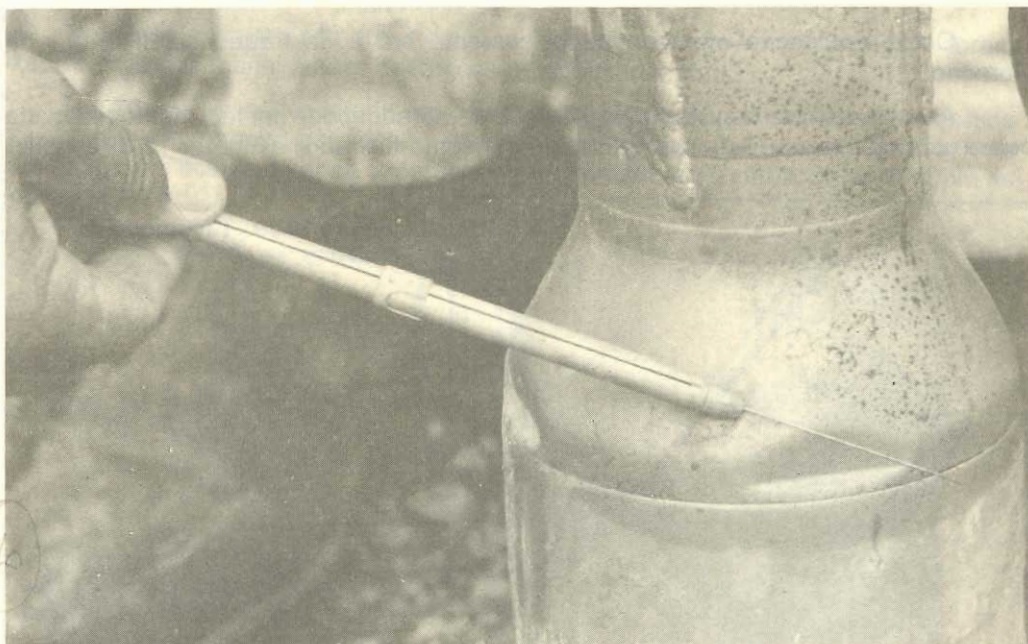


Figura 12.41 - Aspecto do posicionamento do tacômetro, quando o vibrador está imerso no concreto. Deve-se localizá-lo o mais próximo possível da superfície do concreto em adensamento

A escolha de frequência de vibração mais indicada para cada caso deve ser feita em função da granulometria do concreto a ser utilizado.

A vibração em baixa frequência necessita de muita energia e põe em movimento os agregados graúdos, enquanto a vibração a alta frequência movimenta a argamassa, necessitando portanto de menor quantidade de energia.

A argamassa tornando-se liquefeita tem a propriedade de lubrificar os agregados, facilitando seu adensamento. Por esta razão, deve-se sempre utilizar vibradores com a maior frequência possível.

Os vibradores para concreto massa, disponíveis no Brasil, trabalham com uma frequência relativamente baixa (6000 à 8000 rpm), e por serem movidos a ar comprimido a sua frequência de operação oscila com a pressão da linha de ar que o alimenta.

Existem, no entanto, vibradores elétricos que ligados a conversores funcionam com corrente contínua a baixa voltagem. Esses vibradores tem uma frequência de vibração mais elevada e são bastante eficientes, estáveis e seguros.

A operação de adensamento do concreto com a utilização de vibradores de imersão deve ser feita até que se obtenha a maior densidade possível para o mesmo. Para que isto seja conseguido deve-se aplicar sistematicamente a agulha do vibrador no concreto, de modo a cobrir toda a área. O vibrador deve penetrar o mais verticalmente possível na camada e atingir a camada inferior de modo a promover a "costura" entre elas.

PERÍODO	DIÂMETRO DA AGULHA (mm)	DIÂMETRO MÁXIMO DO CONCRETO (mm)	CARACTERÍSTICOS ESTATÍSTICOS				PERÍODO	DIÂMETRO DA AGULHA (mm)	DIÂMETRO MÁXIMO DO CONCRETO (mm)	CARACTERÍSTICOS ESTATÍSTICOS			
			Nº DE MEDIDAS	MÉDIA (rpm)	DESVIO PADRÃO (rpm)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)				Nº DE MEDIDAS	MÉDIA (rpm)	DESVIO PADRÃO (rpm)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
01/78	150	152 à 76	169	7000	1390	20	07/80	140	19-76 à 152	34	5221	597	11,4
02/78	150	152 à 76	206	6740	560	8,3	11/78	110	76 à 38	10	6560	709	10,0
03/78	150	152	31	5606	781	13,4	02/79	110	38 à 152	8	5100	520	10,2
04/78	150	38 à 152	123	6829	835	12,2	07/79	110	38 à 76	4	8125	545	6,7
05/78	150	38 à 152	64	5639	272	4,8	08/79	110	19-38 à 76	9	5311	507	9,5
09/78	150	152	6	5900	520	8,8	09/79	110	38 à 152	19	6284	569	9,0
10/78	150	152	15	6600	766	11,6	10/79	110	38 à 152	11	6955	620	8,9
11/78	150	152	9	6278	416	6,6	11/79	110	38 à 152	50	5894	549	9,3
12/78	150	152	17	6760	57	8,5	12/79	110	19 à 152	55	5925	699	11,8
01/79	150	152	13	6580	790	12	01/80	110	19 à 76	137	5786	645	11,1
02/79	150	76 à 152	45	6611	730	11,1	02/80	110	19 à 76	53	5734	483	8,4
08/79	150	152	26	6085	681	11,2	03/80	110	19	16	5350	676	12,6
09/79	150	76 à 152	6	8083	534	6,6	04/80	110	19	34	6205	643	10,4
10/79	150	38 à 152	17	5450	418	7,7	05/80	110	19 à 152	27	6433	972	15,1
11/79	150	38 à 152	15	6267	602	9,6	06/80	110	19 à 152	34	6309	1074	17,0
12/79	150	38 à 152	53	6613	1035	15,7	07/80	110	19 à 152	34	6618	760	11,5
01/80	150	38 à 152	37	5922	559	9,4	01/78	90	76	41	6800	823	12,0
02/80	150	38 à 152	37	5697	756	13,3	02/78	90	38 à 76	44	8120	2087	25,7
03/80	150	152	34	5524	675	12,2	03/78	90	38 à 76	62	6165	706	11,5
04/80	150	152	34	6179	1326	21,5	04/78	90	38 à 76	123	6800	1196	17,6
05/80	150	76 à 152	35	6092	867	14,2	05/78	90	38 à 76	66	7147	1362	19,1
06/80	150	76 à 152	34	5947	786	13,2	06/78	90	19 à 38	11	6860	677	9,9
07/80	150	76 à 152	34	6385	959	15	09/78	90	38	4	7700	83	1,1
01/78	140	152 à 76	1183	6300	820	13	12/78	90	76	2	6750	25	3,7
02/78	140	152 à 76	1359	6310	1769	28	05/79	90	38	8	6100	427	7,0
03/78	140	152 à 76	1427	6109	756	12,4	07/79	90	38	9	7966	1692	21,2
04/78	140	38 à 152	1609	5955	725	12,2	08/79	90	38	131	5321	1007	18,9
05/78	140	38 à 152	948	5841	728	12,5	09/79	90	19 à 38	124	6226	732	11,8
07/78	140	38 à 152	212	6010	788	13,2	10/79	90	19 à 38	26	6908	790	11,4
08/78	140	38 à 152	231	6030	858	14,2	11/79	90	19 à 38	178	6503	882	13,6
09/78	140	38 à 152	344	6100	767	12,6	12/79	90	19 à 76	180	6401	930	14,5
10/78	140	38 à 152	1177	5950	595	9,9	01/80	90	19 à 76	477	6351	839	13,2
11/78	140	38 à 152	611	6070	609	10	02/80	90	19 à 76	60	6872	1030	15,0
12/78	140	38 à 152	304	6000	818	13,6	03/80	90	19 à 76	54	8730	1305	14,9
02/79	140	38 à 152	358	6054	819	13,5	04/80	90	19 à 76	54	8178	910	11,1
05/79	140	38 à 152	111	5600	956	17,1	05/80	90	19 à 76	50	8040	1218	15,2
06/79	140	38 à 152	89	5300	690	13	06/80	90	19 à 38	54	8859	1367	15,4
07/79	140	38 à 152	37	5740	984	17,1	07/80	90	19 à 76	54	8587	1325	15,4
08/79	140	38 à 152	283	5330	686	12,9	01/78	70	38	4	6500	0	0,0
09/79	140	38 à 152	222	6222	756	12,1	04/78	70	38 à 76	4	8225	363	4,4
10/79	140	38 à 152	303	5619	842	15	12/78	70	38	4	7625	1139	15,0
10/79	140	152	9	6889	208	3	11/79	70	38	15	7207	406	5,6
11/79	140	38 à 152	748	5450	962	17,7	12/79	70	19 à 38	6	6133	1639	26,7
11/79	140	152	4	4750	250	5,3	01/80	70	19 à 38	8	6450	480	7,4
12/79	140	19 à 152	866	5570	772	13,9	02/80	70	19 à 38	34	6703	401	6,0
01/80	140	19 à 152	1363	5673	698	12,3	03/80	70	19 à 38	5	7380	1061	14,4
02/80	140	19 à 152	34	5429	724	13,3	04/80	70	19 à 38	54	8391	1263	15,0
03/80	140	19-76 à 152	34	5415	553	10,2	05/80	70	19 à 38	46	8283	999	12,1
04/80	140	19-76 à 152	34	5518	720	13,1	06/80	70	19 à 38	54	8337	1342	16,1
05/80	140	19-76 à 152	33	5318	699	13,2	07/80	70	19 à 38	54	8063	999	12,4
06/80	140	19-76 à 152	34	5244	445	8,5							

Figura 12.42 - Controle da frequência de rotação dos vibradores - Itaipu

A vibração deverá ser concluída quando a superfície do concreto tenha uma aparência brilhante e as britas estejam misturadas na superfície, porém não tenham desaparecido completamente e a subida de bolhas de ar para a superfície tenham praticamente cessado (ver Figuras 12.37 e 12.38).

Em superfícies inclinadas, o adensamento deve sempre ser feito no sentido do trecho mais baixo para o mais alto.

Quando da vibração, o concreto que estiver segregado deve ser manuseado de tal forma que os agregados de maiores dimensões localizados nas bordas da massa sejam lançados por pá ou mesmo manualmente nas proximidades da agulha do vibrador.

Durante o controle das medidas de frequência de vibração para adensamento do concreto massa, adotou-se em Itaipu como valor mínimo aceitável para a operação do vibrador o valor de 5500 R.P.M.

Isso significa que, ao se tomar a medida de frequência de um vibrador, e observado o valor inferior a 5500 R.P.M., a Fiscalização ordenava a substituição do equipamento. Para efeito de acompanhamento estatístico das frequências, o valor médio era, entretanto, computado admitindo-se que até o momento o equipamento estivesse operando com a frequência medida.

A Figura 12.42 fornece os valores de medida das frequências dos vibradores de imersão, na compactação de concreto massa durante o período de 1978 a 1980 na hidroelétrica Itaipu.

Tendo em vista que as medições de frequências efetuadas como indicado na Figura 12.42 acarretam danos frequentes ao tacômetro de haste, e com base no "A.C.I - Standard 309/72" e no método CRD-C-521/78 do Corps of Engineers que permite que as tomadas de leituras de frequências sejam efetuadas na mangueira de ar comprimido que alimenta o equipamento, foram feitas medições comparativas, cujos valores obtidos encontram-se na Figura 12.43.

Pelos valores obtidos observa-se que as frequências (R.P.M.) medidas na agulha do vibrador são inferiores às determinadas na mangueira, estando o vibrador imerso ou não no concreto.

As leituras efetuadas com os vibradores fora do concreto são maiores (aproximadamente 30 a 35%) que as leituras obtidas com o vibrador imerso no concreto.

A redução do diâmetro interno da mangueira (de 1" para 3/4") reduziu também o valor médio das medidas (de 5 a 10% de redução).

12.1.4.2 Concreto Estrutural

A dosagem da mistura para o concreto estrutural deve possibilitar a obtenção da trabalhabilidade, durabilidade e resistência desejadas. Através do adensamento pode controlar-se a quantidade de água prevista na dosagem experimental é adequada ao tipo de concreto.

Abatimentos da ordem de 8 cm podem ser considerados elevados para o concreto estrutural. No caso de lajes ou peças estruturais pesadas, esse valor pode ser reduzido até 5 cm, se o concreto for efetivamente vibrado.

Na maioria dos casos, a vibração mais eficiente é executada com vibradores internos. É importante que o vibrador selecionado seja compatível com a dosagem e

com as condições de lançamento. Em paredes e vigas, por exemplo, devem ser utilizados dois vibradores, um para espalhar a mistura imediatamente após o lançamento e outro para efetuar a vibração propriamente dita. No caso de lajes apoiadas monoliticamente em vigas, é recomendável que todas as vigas sejam concretadas e vibradas antes da laje, respeitando um intervalo de tempo de cerca de uma hora. Os vibradores, penetrando na laje, atingem o concreto das vigas executadas previamente, garantindo, assim, um perfeito vínculo.

12.1.4.3 Pisos

O concreto a ser utilizado na construção de pisos deve ser convenientemente dosado, de modo a garantir a obtenção dos valores desejados de consistência, acabamento, resistência à abrasão, durabilidade e resistência à compressão.

A vibração superficial, com régua vibratória fixada às fôrmas, é recomendada para adensamento de lajes não fortemente armadas, com espessura inferior a 15 cm, e para concretos com baixo abatimento (0 a 2,5 cm).

DIÂMETRO DO VIBRADOR (mm)	DIÂMETRO INTERNO DA MANGUEIRA (POLEGADA)	NÚMERO DE DETERMINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS ESTATÍSTICAS	VALORES MEDIDOS					
				VIBRADOR FORA DO CONCRETO			VIBRADOR IMERSO NO CONCRETO		
				MANGUEIRA	AGULHA	AGULHA MANGUEIRA (%)	MANGUEIRA	AGULHA	AGULHA MANGUEIRA (%)
140	1	60	MÉDIA (rpm)	9.120	8.090	89	6.810	6.240	92
			DESVIO PADRÃO (rpm)	1.470	1.450	99	950	820	86
			C.V. (%)	16	18	-	14	13	-
140	3/4	75	MÉDIA (rpm)	8.420	7.820	93	6.620	5.850	88
			DESVIO PADRÃO (rpm)	1.560	1.260	81	830	650	78
			C.V. (%)	19	16	-	13	11	-
150	1	13	MÉDIA (rpm)	9.960	9.080	91	7.270	6.850	91
			DESVIO PADRÃO (rpm)	1.930	2.230	114	950	790	83
			C.V. (%)	19	25	-	13	12	-

Tabela 12.43 - Valores comparativos referentes aos pontos de leitura - Itaipu

Caso seja impraticável a utilização de régua vibratórias ou outro vibrador de superfície, o abatimento deve ser aumentado até 8 cm, e o adensamento primário pode ser realizado até mesmo por compactação manual, seguindo-se o desempenamento e as operações de acabamento.

Para lajes com espessura entre 15 e 20 cm pode ser utilizada vibração interna ou superficial e para espessuras maiores que 20 cm é recomendada a vibração interna. A vibração superficial é também mais conveniente no caso de lajes com maior densidade de armadura, conduítes e peças metálicas.

Os pisos industriais -tipo pesado- devem ser executados com concreto da melhor qualidade. Para isso, é necessária uma mistura de baixo abatimento e mínima quantidade de areia, cujo adensamento não pode ser efetuado em camadas de espessuras maior que 5 a 8 cm, com equipamento convencional.

Por essa razão, tais pisos são executados em duas etapas: com concreto convencional na primeira e concreto de menor abatimento na segunda.

A compactação pode ser efetuada através de rolo, apiloamento ou outro tipo de vibração superficial. A utilização de desempenadeira com discos, para o acabamento, permite o adensamento adicional da região à superfície.

12.1.4.4 Pavimentos

O emprego de pavimentos de concreto na construção de estradas, estacionamentos e pistas de pouso e decolagem de aeronaves tem-se intensificado nos últimos anos.

Nas obras de maior porte, a produção do concreto é efetuada com o auxílio de usinas de grande capacidade. O equipamento para as operações de concretagem denomina-se "trem de concretagem", e é composto das seguintes unidades: distribuidora de concreto, vibroacabadora, acabadora diagonal ou normal, máquina aspersora de composto químico para cura, serra de disco e ferramentas auxiliares.

Normalmente, as operações de adensamento e acabamento são realizadas pela vibroacabadora, cuja peça mais importante é a régua vibratória.

Para favorecer as operações de lançamento e acabamento, evitando a segregação e a perda do ar incorporado próximo à superfície, são empregados concretos com abatimentos entre 2,5 e 5 cm. É importante que o concreto se apresente homogêneo, pois variações na dosagem podem provocar segregação ou adensamento inadequado, resultando um pavimento de baixa qualidade e de pouca durabilidade.

É recomendável que todos os pavimentos sejam adensados por meio de vibração interna ou superficial, de acordo com a espessura da laje, produção, consistência e outras características da mistura.

Baterias de vibradores de imersão são usualmente empregadas quando a espessura for maior que 20 cm.

Para pavimentos com espessura inferior a 20 cm podem ser utilizados os vibradores de superfície (acabadora tipo bandeja, régua vibratória) ou rolo vibratório. Entretanto, nesses casos, a produção é mais baixa, comparativamente à utilização de vibradores internos.

12.1.4.5 Peças Pré-Moldadas

Com a intensificação do emprego de peças pré-moldadas de concreto, nos últimos anos tem surgido uma grande variedade de métodos de adensamento, cuja escolha deve ser feita em função do tipo de peça, dosagem do concreto, formas utilizadas, etc, de modo que a operação seja concluída com eficiência.

A trabalhabilidade da mistura é um dos pontos mais importantes a considerar para a escolha do método.

No caso da fabricação de unidades similares, em larga escala, como por exemplo tubos de concreto, blocos de concreto, vergas, lajes pré-moldadas, etc. são mais convenientes os métodos de vibração externa (formas e mesas vibratórias) que permitem um controle mais uniforme e a adoção de técnicas mais econômicas.

Para peças com grandes volumes de concreto, em que os vibradores externos não forem eficientes, deverão ser utilizados vibradores internos. O apiloamento é um método eficiente para adensamento de concretos cujas camadas de lançamento são finas. Para misturas mais compactas, pode ser utilizada vibração do concreto sobre pressão.

12.1.4.6 Concretos Leves

O agregado graúdo, produzido no Brasil, para confecção de concretos leves, é um material obtido de argilas e folhelhos que possuem a propriedade peculiar de se expandirem quando sujeitos a um processo térmico adequado. É apresentado sob a forma de grãos arredondados, com diâmetro variável entre 1 a 3 cm, sendo o peso específico da ordem de 0,5 a 0,7 t/m³.

O concreto obtido com esse tipo de agregado é denominado concreto leve estrutural, pois apresenta uma redução de peso de 25 a 30% em relação ao concreto tradicional, sem prejuízo das demais propriedades, tais como, resistência mecânica, impermeabilidade, retração por secagem, etc.

O concreto leve apresenta boa trabalhabilidade em razão do formato arredondado dos agregados; em geral, os abatimentos variam entre 5 e 8 cm. Para valores mais elevados, é possível que os agregados venham a flutuar durante o adensamento. Com a finalidade de minimizar tal efeito, recorre-se ao emprego de aditivos incorporadores de ar, responsáveis pela coesão da argamassa. As misturas mais secas não segregam tão rapidamente durante a vibração.

O adensamento do concreto leve deve ser mecânico, com vibradores de imersão ou de superfície. O adensamento manual é aconselhável somente no caso de concretos sem finos.

A técnica de adensamento é semelhante à dos concretos convencionais. Entretanto, para evitar a segregação, o concreto deve ser lançado e adensado em camadas delgadas (espessura aproximada 25 cm), e o tempo de vibração deve ser reduzido.

12.1.4.7 Concretos Pesados

Os concretos pesados são basicamente utilizados para confecção de contrapesos e estruturas de proteção contra radiação. Neste último caso, é essencial que o concreto seja denso, homogêneo e praticamente isento de vazios e fissuras.

Os agregados para os concretos pesados podem ser constituídos de minerais de ferro, tais como hematitas ou baritas, cujo massa específica é da ordem de 5 a 7 t/m³. Esses materiais podem ser utilizados individualmente ou combinados, a fim de que sejam obtidos concretos com densidades de 2.600 a 4.800 kg/m³. As dosagens usuais variam entre 1:6 e 1:10 (peso de cimento: peso dos agregados) e o fator água-cimento pode variar entre 0,45 e 0,65.

Nesse tipo de concreto existe a tendência de segregação dos agregados (pesados) que, todavia, pode ser evitada adotando-se as seguintes precauções:

- Escolha de dosagem que proporcione a máxima trabalhabilidade.
- Utilização de maior quantidade de cimento e areia que o concreto convencional, emprego de granulometria uniforme.
- Utilização de aditivos plastificantes e incorporadores de ar, desde que seus efeitos quanto à redução do peso específico possam ser tolerados.
- Lançamento de concreto mais denso e com menor abatimento, utilizando-se as mesmas técnicas adotadas para o concreto convencional.

O valor do abatimento, normalmente entre 4 e 8 cm, deve ser fixado em função do agregado pesado selecionado.

Quando não for possível evitar a segregação, ou quando houver restrições que impeçam o lançamento convencional, devem ser escolhidas técnicas especiais, como por exemplo:

- Método dos agregados pré-lançados: armaduras, tubos, conduites e demais peças embutidas devem ser vibrados durante a colocação dos agregados, para eliminar zonas não preenchidas com agregados, reduzindo substancialmente os vazios.
- Método da imersão do agregado: consiste na colocação de argamassa na forma e posterior enchimento com o agregado graúdo pesado, que é mergulhado na argamassa com o auxílio de barras ou através da vibração interna.

12.1.5 Revibração

Revibração é o processo de vibrar seguidamente o concreto que tenha sido vibrado inicialmente. De maneira geral, a maioria dos concretos é revibrada normalmente, quando, ao se lançar sucessivas camadas de concreto, o vibrador penetra na camada inferior (anteriormente já adensado). Entretanto, o termo "revibração" deve ser entendido como sendo uma nova vibração sistemática e intencional, algum tempo após o concreto ter sido lançado.

Para se fazer uma revibração na massa do concreto é necessário que o mesmo ainda tenha plasticidade, para que a armadura não se desloque, pelos efeitos dessa vibração adicional. Desde que o vibrador penetre no concreto, pelo seu próprio peso, não é tarde para que o concreto se beneficie da revibração. A resistência à compressão, a aderência do concreto às armaduras são melhoradas pelo efeito da revibração. A separação que poderia ocorrer devido a uma contração ou assentamento inicial do concreto pode ser evitada pela revibração.

Estudos realizados (ver Capítulo 5) no Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional concluíram que o efeito da revibração é benéfico, principalmente se realizado ime-

diatamente antes do tempo de início de pega do concreto, melhorando consideravelmente suas características mecânicas.

12.2 Acabamento

O acabamento em uma concretagem convencional é uma atividade que pode ser efetuada junto com o adensamento.

É, entretanto, uma atividade individualizada e característica de concretagens de soleiras e superfícies hidráulicas, como citam as Figuras 12.44 a 12.49.

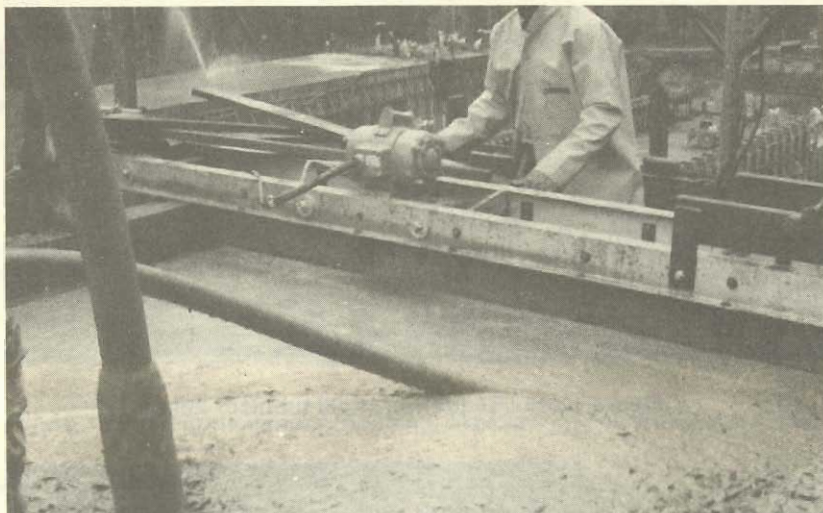


Figura 12.44 - Adensamento e acabamento de soleira por meio de régua vibratória - Itaipu

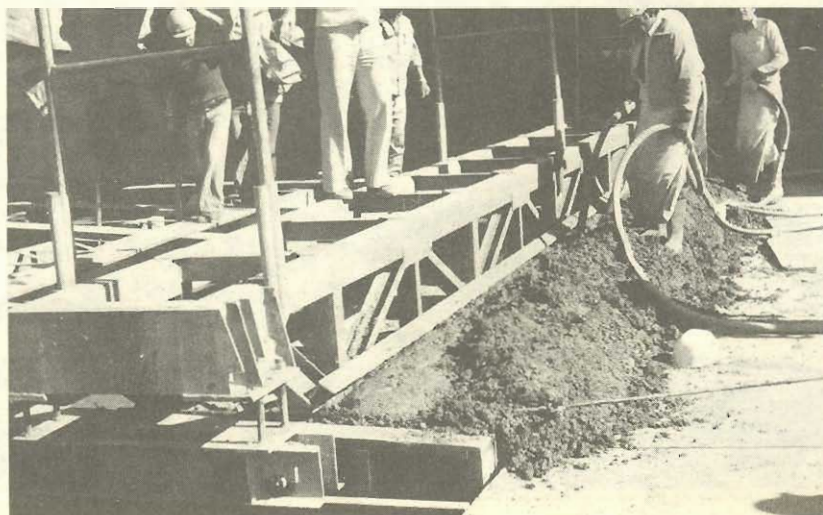


Figura 12.45 - Acabamento com "reguão" metálico - Itaipu

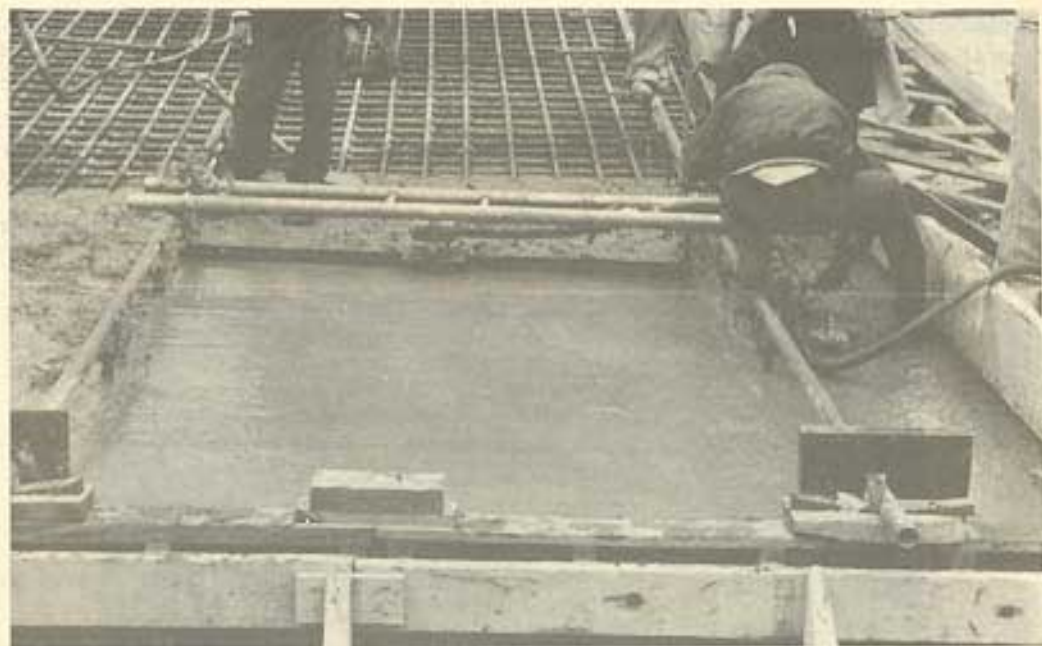


Figura 12.46 - Régua vibratória tubular - Itaipu

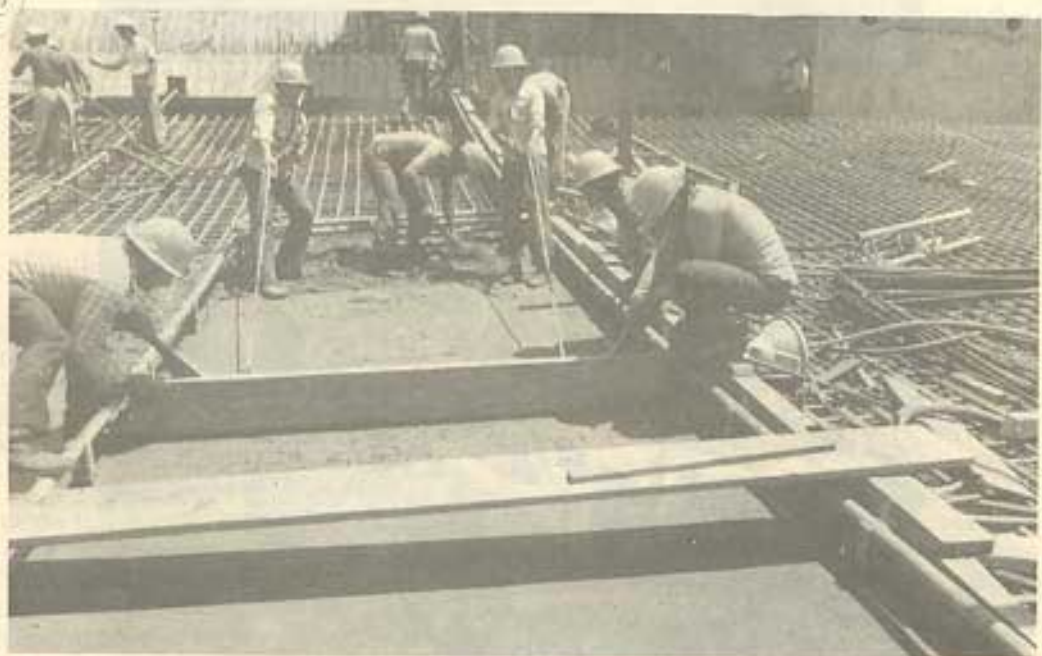


Figura 12.47 - Acabamento de concreto através de régua de madeira sobre guias tubulares - Itaipu



Figura 12.48 - Fôrma temporariamente fixa com painéis metálicos - Itaipu



Figura 12.49 - Fôrma temporariamente fixa com painéis em madeira compensada - Tucuruí

O acabamento do concreto deve ser convenientemente executado, obedecendo às exigências do Projeto, em função do tipo de estrutura e do fim a que se destina. Para obtenção de um acabamento satisfatório, é necessário elaborar um programa que abranja o seguintes pontos:

- Especificação adequada dos métodos construtivos.
- Análise preliminar dos materiais constituintes e da tecnologia do concreto.
- Dimensionamento do equipamento, de acordo com o cronograma da obra.
- Utilização de operários treinados para essas atividades.
- Acompanhamento e fiscalização da construção, inclusive ensaios tecnológicos.

A integração entre o tecnólogo e o projetista assume papel importante desde o preparo da especificação, evitando a aplicação indevida de recursos nas diversas frentes de serviço e graves prejuízos para a construção.

Tem-se observado, entretanto, que os maiores insucessos que ocorreram nas estruturas foram causados pelo baixo padrão de qualidade dos métodos construtivos.

Para obtenção de um bom padrão de qualidade, deve-se se precaver quanto a falhas de mão-de-obra, causadas principalmente por:

- Falta de motivação do operário especializado, por não participar de todas as etapas da construção.
- Multiplicidade de profissionais concentrados numa mesma atividade, despersonalizando a sua participação.
- Diferenças de habilidade entre operários muitas vezes selecionados sem nenhuma experiência profissional.

O controle de qualidade deve abranger os seguintes elementos, procurando identificar as respectivas características:

- Fôrmas: material, rigidez, escoramento, estanqueidade, reaproveitamento e tolerância.
- Lançamento: altura de queda, densidade de armadura, esbeltez das peças, métodos de lançamento e junta fria.
- Adensamento: plasticidade do concreto, dimensões da estrutura, métodos de adensamento, dimensionamento do vibrador.
- Acabamento: tipo especificado, método adotado, equipamentos, ferramentas, levantamento e mapeamento de irregularidades, tipos de reparos.

O acabamento das superfícies das estruturas de concreto pode ser dividido basicamente em três categorias:

- Acabamento de superfícies moldadas sem fôrma.
- Acabamento de superfícies moldadas com fôrma.
- Acabamentos especiais.

Com referência às fôrmas, estas devem ser construídas com precisão e com material de rugosidade e uniformidade compatíveis com as exigências de acabamento. Devem ser resistentes, rígidas e duráveis, de modo a suportar as pressões resultantes do lançamento e adensamento do concreto. Devem ser, também, suficientemente estanques para evitar perda de argamassa ou da água de amassamento do concreto.

As fôrmas para concreto armado devem ser estudadas particularmente em cada caso, sendo adotada a solução mais conveniente sob os aspectos técnico e econômico.

As fôrmas podem ser classificadas quanto ao tipo de material e quanto ao processo construtivo.

- Concreto aparente com superfície lisa.
- Concreto aparente com superfície apicoada.
- Concreto aparente com agregados lavados.
- Concreto de alta resistência.
- Concreto revestido com argamassa sintética.
- Concreto com fibras.
- Concreto com tratamento a vácuo.

12.2.1 Concreto Aparente com Superfície Lisa

Com a finalidade de se obter uma superfície compatível com as exigências do Projeto, devem ser tomados cuidados especiais durante a construção das estruturas de concreto aparente, quanto ao tipo de fôrmas, dosagem, mistura, amassamento, transporte, lançamento, adensamento, desforma e cura.

O acabamento normalmente consiste em polimento grosso ou raspagem da superfície com politrizes elétricas contendo compostos abrasivos para eliminação de bolhas e poros existentes, principalmente nas regiões ricas em nata de cimento. Em seguida, a superfície é polida com lixas finas de carbureto de silício para retirar o excesso, obtendo-se uma face lisa, limpa, mais clara, sem manchas desagradáveis. Finalmente, para impermeabilização de estrutura, pode-se aplicar um material à base de composto de alumínio, hidrofugante e inerte, que não altera a aparência do substrato e possui um alto grau de durabilidade. Outra opção é a aplicação de verniz à base de poliuretano, acrílico ou silicone.

O poliuretano é aplicado apenas em edificações na faixa do litoral e em regiões muito poluídas, devido ao seu alto custo. O acrílico é altamente aderente, possui custo inferior, porém é menos impermeabilizante do que o poliuretano. O silicone só deve ser utilizado na parte interna das estruturas ou externamente em locais sem poluição.

Outra técnica utilizada para acabamento do concreto aparente consiste na aplicação de jatos de areia e água, proporcionando uma textura aveludada, de apreciável efeito e elevada resistência. Este processo exige, entretanto, equipamento específico, assim como mão-de-obra especializada e adequada proteção do operador quanto à ação abrasiva das partículas de areia, do ricochete.

12.2.2 Concreto Aparente com Superfície Apicoada

As estruturas de concreto aparente com superfície apicoada exigem um acabamento de custo elevado, em face da complexidade dos serviços, que consiste na utilização de ponteiros ou ferramentas especiais aplicadas por ação manual ou pneumática, até obter-se uma superfície rugosa.

O apicoamento retira a camada de argamassa da superfície, eliminando as bolhas e poros, bem como corrigindo irregularidades mais acentuadas.

Pode ser também prevista uma pintura protetora, suficientemente elástica, para absorver, sem fissuras, os movimentos de dilatação e contração do concreto por efeitos térmicos.

O maior inconveniente das superfícies de concreto apicoado consiste na dificuldade de se obter uma espessura de cobertura uniforme para proteger a armadura contra a corrosão.

12.2.3 Concreto Aparente com Agregados Lavados

O processo consiste em aplicar às fôrmas um aditivo retardador da pega de cimento, permitindo que após a desforma, por ação de escovação e lavagem, a argamassa superficial seja eliminada, deixando exposto o agregado graúdo.

Considerando que as partículas dos agregados graúdos são mais resistentes às intempéries do que superfícies de argamassa, pode-se concluir que o concreto aparente, assim tratado, tem uma superfície mais durável.

É necessário que na dosagem do concreto sejam tomadas precauções para a escolha dos agregados graúdos, pois o efeito da cor, forma e dimensão têm grande influência no efeito estético.

As operações de lançamento e adensamento devem ser cuidadosamente executadas a fim de se evitar a segregação de argamassa ou agregados.

As vantagens do concreto aparente de agregados lavados estão relacionadas com a durabilidade e efeito estético, dispensando manutenção ou pinturas protetoras. Esse acabamento apresenta ainda a propriedade de distribuir uniformemente a água que precipita sobre o painel, reduzindo a sua pressão e evitando os efeitos de percolação.

12.2.4 Concreto de Alta Resistência

As estruturas sujeitas à erosão e à abrasão, tais como soleiras de vertedouro, pavimentos empregados na construção de estradas, hangares e pistas de aeroportos, podem ser executadas com concreto de alta resistência. Cuidados especiais devem ser tomados, principalmente durante as operações de adensamento e acabamento, a fim de garantir a obtenção de uma superfície lisa, dura, densa e isenta de concentração de agregado fino ou pasta de cimento endurecido. Apresentam-se, a seguir, algumas considerações sobre vertedouro e pavimentos de concreto:

Vertedouros

Em geral, no caso de vertedouros, as velocidades de escoamento da água são bastante elevadas, e como a energia específica é muito alta pode haver um descolamento da lâmina d'água.

A ausência de aeração e a eventual existência de irregularidades superficiais favorecem o aparecimento de tensões de cavitação, cujos efeitos podem ser minimizados, se for dada especial atenção aos métodos construtivos e obedecidos aos seguintes requisitos:

- Utilização de concreto de alta resistência, baixa rugosidade e menor relação água-cimento.
- Limitação do diâmetro máximo e determinação da dureza dos agregados.
- Utilização de fôrmas projetadas para essa finalidade.
- Limitação da espessura da camada de concreto.
- Redução da geração de calor na massa do concreto.
- Execução de acabamento superficial rigoroso.
- Realização de cura intensa.

Com respeito ao acabamento superficial, cabe ressaltar que o mesmo tem sido efetuado com desempenadeiras de madeira ou aço, para nivelamento e alisamento da superfície, e esponjas de borracha, para eliminação da água em excesso. Logo em seguida, antes do endurecimento do concreto, deve ser efetuado um levantamento das irregularidades ou falhas e providenciados os respectivos reparos.

Pavimentos de Concreto

Os pavimentos de concreto empregados em pistas de rolamento de estradas e aeroportos estão sujeitos a esforços de tração ou compressão e permanentemente expostos à ação de intempéries, abrasão, desgastes e agentes agressivos.

Diante de tais considerações, recomenda-se a utilização de concretos de alta resistência, cujo traço de argamassa e relação água-cimento devem ser cuidadosamente definidos, em função da trabalhabilidade desejada.

Paralelamente, deve ser efetuado um rigoroso controle tecnológico, abrangendo todas as etapas de construção, desde a dosagem da mistura até o final da cura, particularmente no que se refere ao acabamento superficial e eventuais reparos que se fizerem necessários.

Com efeito, os pavimentos de concreto devem apresentar as seguintes características, quanto ao tipo de acabamento:

- Superfície antiderrapante, com rugosidade compatível com as exigências do tráfego.
- Superfície confortável ao rolamento, durável e esteticamente agradável.

A qualidade de um pavimento está relacionada com desempenho de veículo em relação à superfície de rolamento, definido como índice de rugosidade ou, mais corretamente, como índice de conforto. Tal índice deve atender a dois elementos principais: a suavidade e a segurança de desempenho do veículo.

Os defeitos no acabamento devem ser imediatamente sanados com o concreto ainda fresco, pois reparos executados com argamassa após o início da pega não são confiáveis, e com o tempo podem se descolar do concreto ao qual foram aplicados.

Após o endurecimento do concreto, os defeitos porventura existentes, tais como falhas de concretagem, fissuras, ressaltos ou depressões devem ser reparados com urgência, obedecendo-se instruções especificamente elaboradas para cada tipo de defeito.

12.2.5 Concreto Revestido com Argamassa Sintética

Como alternativa para execução de estruturas sujeitas à abrasão pode ser aplicada uma camada de argamassa à base de resina epóxi ou à base de polímeros ou, conforme estudos mais recentes realizados pelos "Corps of Engineers" e "Bureau of Reclamation", concretos com fibras de aço; todos esses processos porém apresentam custo bastante elevado.

Argamassa à Base de Resina Epóxi

Esse tipo de argamassa deve ser aplicado sobre uma base de concreto estruturalmente sadio, devidamente jateado com areia. Em seguida, é efetuada uma limpeza com jato de ar e água, secando convenientemente a superfície. Concluídas estas atividades, é iniciada a aplicação do "primer" para garantir a aderência da argamassa.

É importante prever a quantidade de argamassa a ser aplicada na área preparada, para não haver desperdício de material. Esta precaução deve ser tomada em virtude da alta velocidade de reação da resina epóxica, fazendo com que o produto final perca rapidamente a trabalhabilidade, após 30 a 45 minutos, sob a temperatura de 20°C.

Para o preparo da argamassa, a resina deve ser homogeneizada mecanicamente, adicionando-se posteriormente areia silicosa limpa e seca com granulometria variando entre 0 e 2,5 mm, até obter um produto final uniforme. Os traços ideais variam de 1:4 até 1:7 em peso.

A aplicação deve ser executada, de preferência, com desempenadeira metálica, e a espessura média das camadas é da ordem de 5 mm, a fim de não ocasionar fissuras ou trincas.

Quando for necessário executar camadas mais espessas, deve ser adicionado pedrisco à argamassa ou previstas duas ou mais etapas.

Esse tipo de acabamento apresenta aos 7 dias uma resistência mecânica à compressão entre 600 a 800 kgf/cm² uma resistência mecânica à flexão entre 250 a 350 kgf/cm².

Argamassa à Base de Polímeros

Como alternativa, pode ser utilizada uma argamassa sintética, beneficiada com polímeros, que proporciona alto poder adesivo e altas resistências químicas e mecânicas, porém inferiores aos valores obtidos com a argamassa epóxica. A superfície de base deve ser tratada como descrito anteriormente, dispensando a secagem, pois, nesse caso, a superfície deve estar úmida antes da aplicação da argamassa.

O preparo da argamassa sintética deve ser efetuado mecanicamente, e sua aplicação é feita utilizando-se desempenadeira ou colher de pedreiro. A espessura da camada pode variar entre 3 e 5 mm.

Após a aplicação devem ser tomadas as providências necessárias para proporcionar o perfeito acabamento e cura.

A argamassa à base de polímeros apresenta, aos 28 dias, uma resistência mecânica à compressão compreendida entre 500 a 600 kgf/cm², e à flexão entre 150 a 210 kgf/cm².

12.2.6 Concreto com Fibras (ver Capítulo 16)

Nos últimos anos tem-se estudado, com bastante intensidade, a adição de fibras de aço, sendo os resultados satisfatórios em estruturas sujeitas a altas velocidades de água.

Os materiais normalmente empregados na fabricação de concreto com fibras são: aço carbono, aço inox, vidro e polipropileno.

De uma maneira geral, estes concretos requerem um maior consumo de cimento e uma menor quantidade de agregado.

A granulometria está intimamente ligada às dimensões das fibras. Normalmente são empregadas fibras "curtas" ($l = 2,5$ cm) e "longas" ($l = 3,8$ cm), o que condiciona o emprego de agregados com tamanho máximo de 10 mm, sendo aconselhável que a percentagem de agregados graúdos seja inferior a 50% do total de agregados.

O volume de fibras normalmente empregado é da ordem de 0,3 a 2% do volume do concreto pronto.

É importante ressaltar a necessidade de adequação do tipo, dimensões e quantidades de fibras a serem usadas, a fim de se obter misturas homogêneas e com características apropriadas para cada aplicação de concretos "fibrosos".

A adição de fibras ao concreto melhora a resistência à fadiga e ao impacto, permanecendo porém inalterado o comportamento do concreto com relação à fluência e ocorrendo um pequeno aumento na retração.

A introdução de fibras melhora também as características de resiliência, tornando o concreto quase plástico.

13. CURA DO CONCRETO

13.1 Generalidades

O concreto, após a pega do cimento, continua a ganhar resistência desde que não falte água necessária para a continuação das reações de hidratação. Por esse motivo, dos serviços de execução de estruturas em concreto, a cura é uma das etapas mais importantes, pela influência que exerce não só no desenvolvimento da resistência como também na durabilidade do concreto.

Cura é, então, o processo usado para manter um adequado teor de unidade a uma temperatura favorável no concreto, durante a hidratação dos materiais aglomerantes, de modo a propiciar o adequado desenvolvimento das propriedades. A cura é essencial para qualidade do concreto. A resistência e a durabilidade são ampliadas por um período, somente se a cura for adequada.

A água de amassamento do concreto é superior à necessária, para as reações químicas do cimento, e seu emprego se deve à necessidade de se ter uma maior trabalhabilidade do concreto por ocasião de sua aplicação. Sua dosagem depende das características dos materiais e do processo de compactação (adensamento) utilizado. A ocorrência de perda d'água de amassamento no início de pega e nas primeiras idades de endurecimento do concreto causam a diminuição na hidratação das partículas do cimento e o aparecimento de vazios capilares no concreto. Estes fatores têm influência decisiva na evolução da resistência e na ocorrência de trincas e fissuras indesejáveis.

O método de prevenção da perda d'água é chamado de cura, existindo vários processos que podem ser empregados. Sua escolha depende das condições locais, do concreto a ser curado, fatores econômicos etc. A evaporação é causa principal da perda d'água e ocorre em função das condições ambientais, tais como: temperatura, umidade do ar, velocidade do vento etc.

O conteúdo de água do concreto fresco é consideravelmente superior ao mínimo necessário que pode combinar quimicamente com o cimento. Entretanto, uma apreciável perda de água de mistura, devido à evaporação ou outras causas, pode reduzir ou mesmo impedir uma completa hidratação. A evaporação deve ser controlada por adequada proteção e cura. É muito importante impedir a redução do teor de umidade da pasta, tão logo o concreto seja lançado. Tal redução tende a reduzir a hidratação. A perda de umidade, nesse estágio, pode causar também retração por secagem e o aparecimento de trincas. Uma indicação de que a pasta está perdendo água é o aparecimento de trincas por retração plástica na superfície do concreto, aproximadamente no mesmo instante em que o concreto estiver pronto para o acabamento (concreto começou a "puchar"). Esse fenômeno deve ser imediatamente corrigido, a fim de evitar sua continuidade.

A velocidade de reação entre o cimento e água varia com a temperatura, evoluindo mais lentamente à medida que mais se diminui a temperatura. A temperatura do concreto estando abaixo de 10°C dificulta o desenvolvimento de resistências às baixas idades. Em oposição a isso, temperaturas em autoclave (acima de 150°C) aceleram a hidratação e podem fornecer resistências elevadas em poucas horas. Entretanto, a cura em autoclave é um caso especial, pois, à elevadas temperaturas e pressões, podem ocorrer reações químicas adicionais entre os agregados e os aglutinantes, que não ocorreriam

em situações normais. A aplicação da cura em autoclave deve, portanto, ser criteriosamente controlada.

A exposição pura e simples do concreto a altas temperaturas, principalmente no período de "pega" e de endurecimento inicial, deve ser sistematicamente evitado, pois está se evitando a evaporação e as conseqüências danosas.

13.2 Métodos

Observando os princípios básicos para a cura - evitar a perda de água e manter a temperatura dentro das condições que proporcionem uma adequada evolução de resistência - há varios métodos para se manter as condições ideais de hidratação,

- Cura com água.
- Proteção superficial.
- Cura química (formação da película impermeável).
- Cura por saturação.
- Cura a vapor.

13.2.1 Cura com Água

Recomenda-se a cura com água, por ser o processo mais indicado para aplicação, por sua facilidade executiva e grande eficiência, além de favorecer a dissipação superficial da temperatura, que se desenvolve na massa do concreto devido à hidratação do cimento.

Deve ser aplicada de maneira contínua, por meio de tubos ou mangueiras perfuradas, aspersores, chuveiros ou uso de material absorvente, envolvendo a superfície exposta do concreto. É de suma importância que estes materiais mantenham a umidade entre os intervalos de molhagem. Os materiais mais indicados para utilização são: sacos de aniagem, serragem, areia etc.

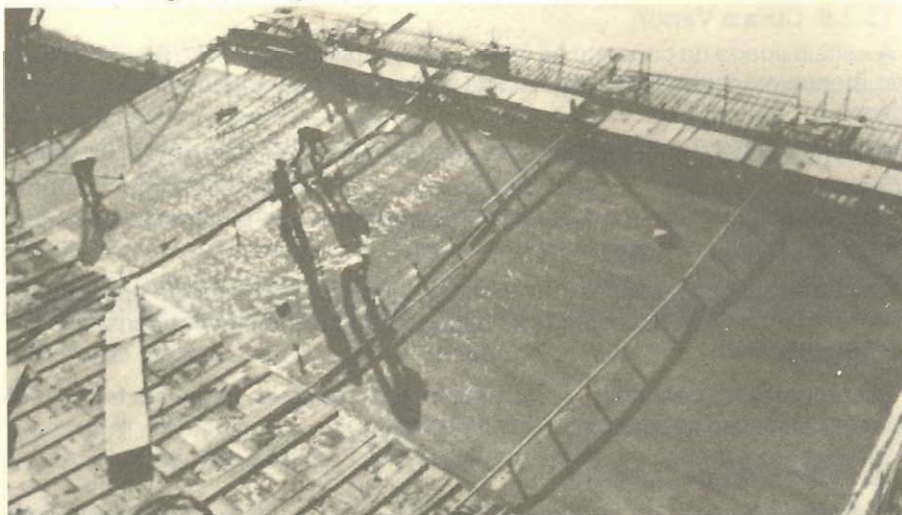


Figura 13.1 - Execução de cura com água em superfície hidráulica com o uso de tubo de PVC perfurados - Tucuruí

13.2.2 Cura com Proteção Superficial

O processo de cura por proteção superficial é bastante eficaz, podendo ser realizado através da manutenção das fôrmas, desde que sejam impermeáveis, ou então através de mantas plásticas. A utilização de lonas plásticas é de grande eficiência, porém, as bordas laterais devem ser fixadas de modo a não permitir a fuga da umidade. É conveniente o uso de lonas, em cores claras, de maneira a não absorver os raios solares.

Este processo é indicado para superfície, onde a aplicação de cura de água, nas primeiras horas de hidratação do cimento, seja prejudicial para o concreto, tais como: superfícies acabadas, concreto compactado a rolo etc.

13.2.3 Cura com Saturação do Ar

É uma variação da cura com água, que por meio de dispositivos mecânicos (nebulizador) provoca a formação de neblina, mantendo o ar saturado. Sua aplicação é recomendável para concreto compactado a rolo, principalmente nas primeiras horas após seu lançamento, quando a aplicação de cura por aspersão d'água deve ser evitada.

13.2.4 Cura Química (membrana impermeável)

A utilização de substâncias químicas resinosas em soluções aquosas, ou parafínicas, está baseada na formação de película impermeável na superfície do concreto. Este material não deve atacar ou marcar a superfície do concreto, deve ter cor clara, para não absorver a radiação solar, e ser de fácil remoção. Sua durabilidade deve ser superior ao período mínimo previsto para cura.

O número de demãos deve ser estabelecido em função da sua eficiência, determinada previamente através de ensaios.

As superfícies que recebem aplicação de agente químico devem ser protegidas de qualquer atividade que possa romper a membrana protetora.

13.2.5 Cura a Vapor

A sensibilidade do concreto ao calor pode ser utilizada como meio de acelerar seu endurecimento e, conseqüentemente, de serem obtidas, rapidamente, resistências elevadas.

Para pátios de pré-moldados, por exemplo, esta característica do concreto, com aplicação de cura a vapor, tem permitido grande economia pela redução do número de fôrmas necessárias. A cura a vapor permite um melhor reaproveitamento das fôrmas e libera as peças rapidamente para sua aplicação.

Na sua aplicação as peças são cobertas por lonas plásticas e é aplicado o vapor. As lonas não devem ficar encostadas às peças, de modo a evitar condensação de água sobre as superfícies.

Este processo não deve ser aplicado em concreto onde se tenha utilizado cimentos aluminosos, sulfatados ou de alto-forno.

13.3 Duração da Cura

O estabelecimento do período de duração da cura está, intimamente ligado ao tipo de cimento utilizado na fabricação do concreto. Para cimento Portland comum deve ser adotado um prazo mínimo de 7 dias. No caso de ser utilizado cimento pozolânico,

cimento de escoria de alto-forno, ou, então, com adição de materiais pozzolânicos, a cura deve prolongar-se por 14 a 21 dias, em vista de as suas reações químicas se processarem mais lentamente.

O início de cura deve se processar imediatamente após o início de pega do concreto, pois uma secagem superficial, por perda d'água, nas primeiras idades pode acarretar o aparecimento de fissuras, devido à retração plástica ou por secagem.



Figura 13.2 - A cura a vapor sendo aplicada em elementos pré-moldados -Tucuruí

13.4 Cura de Estruturas

Em estruturas que englobam grandes volumes de concreto lançados de uma só vez, como é o caso das barragens tipo gravidade, é importante manter a temperatura do concreto em hidratação, não muito acima da temperatura ambiente, de forma a se evitar as trincas de origem térmica.

Desta maneira, em concretos massa, a cura deve ser iniciada o mais cedo possível, assim que o concreto tenha endurecido o suficiente. O período de cura deve se prolongar até que a outra camada de concreto venha ser lançado, ou pelo menos por um período que garanta a evolução de grande parte das propriedades.

O método mais usado para a cura desse tipo de estrutura é o da aplicação direta de água.

Peças pré-moldadas, que são unidades moldadas, curadas e acabadas, em locais que não aqueles de sua posição final, requerem uma evolução de resistência muito rápida.

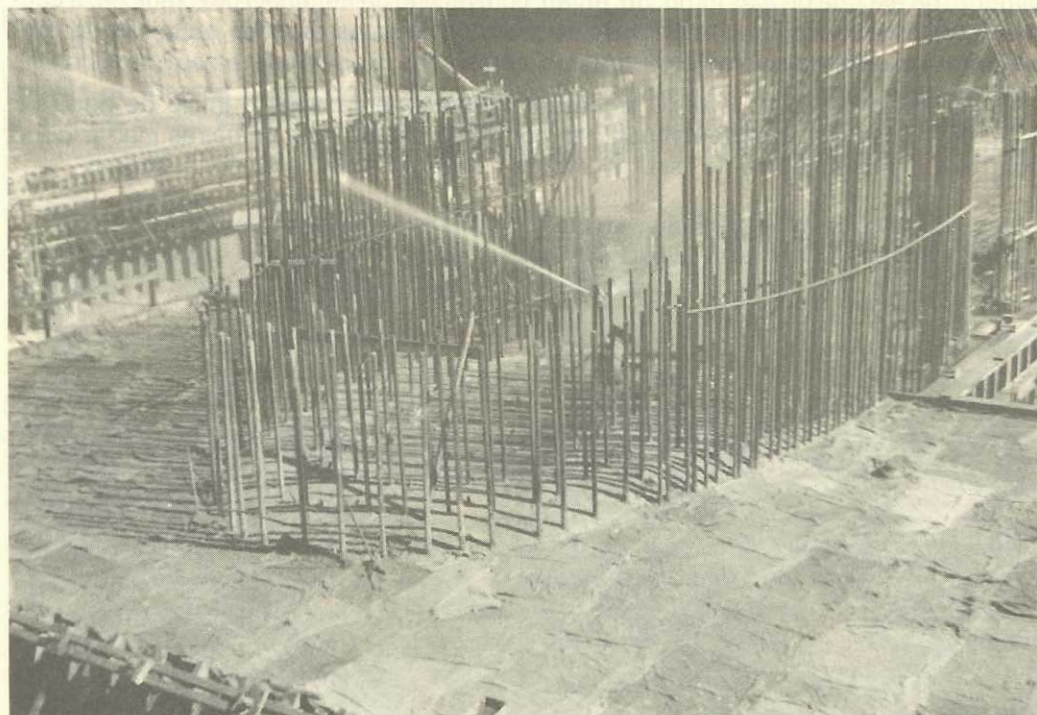


Figura 13.3 - Cura com água, sobre superfícies protegidas com sacos de aniagem - Itaipu.

14. INSPEÇÃO E AUSCULTAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

14.1 Objetivo

Instrumentos são instalados em estruturas de concreto para fornecer informações sobre a segurança da estrutura e sobre o comportamento do material nas condições para as quais ele foi projetado.

Embora haja uma grande tradição - desde a década de 30 - no Brasil, no emprego de instrumentos para a observação do comportamento de diversas estruturas, e em particular pontes e viadutos, foi a partir do início da construção das grandes hidrelétricas que a auscultação tomou novo impulso e expandiu-se. A instrumentação, que via de regra era utilizada para solucionar problemas específicos em estruturas de porte relativamente pequeno, passou a ser empregada em caráter permanente nas barragens de concreto, exigindo um aprimoramento nas técnicas de instalação, manutenção e análise.

O objetivo fundamental da auscultação da barragem e de suas fundações é avaliar as condições de segurança durante as fases de construção e utilização da estrutura. Este objetivo é alcançado mediante uma criteriosa escolha das grandezas representativas do comportamento estrutural, térmico e hidrogeotécnico e fundação, dos instrumentos de medida e dos métodos de tratamento e interpretação das observações. Já na fase de construção pode-se obter informações sobre a metodologia construtiva empregada, mediante respostas de aparelhos adequadamente posicionados. A fase de enchimento é, provavelmente, a mais importante em termos de comportamento das estruturas, pois estas passam a entrar em carga pela primeira vez. É nessa oportunidade que a auscultação assume papel de extrema importância, pois permite um diagnóstico preciso sobre a obra. Dos acidentes que ocorrem em barragens, grande parte acontece durante esta fase.

Na fase de operação da estrutura, a auscultação possibilita o conhecimento do comportamento da obra, permitindo assim o controle das condições de segurança mediante a análise dos eventuais desvios em relação ao projetado. Um objetivo complementar da auscultação é o de avaliar as hipóteses e métodos adotados nos modelos de previsão, possibilitando retirar ensinamentos para a concepção e cálculo de futuras obras.

Não se pode perder de vista que o controle de segurança de uma obra, e particularmente de barragens, depende de uma série de tarefas, além da simples instalação e leituras da instrumentação. Entre essas destacam-se as inspeções visuais pelos elementos encarregados da coleta de dados, as inspeções visuais efetuadas por especialistas, a interpretação conjunta das inspeções e das análises de instrumentos e a avaliação global da segurança da obra.

14.2 Planejamento da Instrumentação

Para que a observação de uma estrutura de concreto possa preencher os requisitos fundamentais de avaliar as condições de segurança, proporcionar economia na construção dessa ou de outras obras, possibilitar reavaliação das hipóteses de projeto e das técnicas de cálculo, há necessidade de que seu planejamento seja iniciado com grande antecedência. Isto pois, para cada tipo de estrutura e de finalidade, há um tipo de aparelho e um local de instalação que melhor se adequa, e sabe-se que, via de

regra, alterações efetuadas após as instalações ou são impossíveis ou, na maioria dos casos, levam a interpretações errôneas dos resultados.

Os ensaios dos materiais de construção e dos concretos devem ser planejados objetivamente para que se avalie, com razoável precisão, o comportamento das estruturas.

O mapeamento e os estudos geológico - geotécnicos devem ser precisos o suficiente para permitir uma avaliação correta das falhas e descontinuidades existentes, direções, inclinações, atividades, etc.

O projeto da instrumentação deve estar intimamente ligado aos cálculos de estabilidade, aos cálculos de tensões e aos resultados obtidos em modelos físicos ou matemáticos.

De nada adianta a instalação aleatória de um grande número de aparelhos, pois os dados a serem obtidos podem vir a ser inúteis. Cada aparelho deve ser instalado em local onde se saiba exatamente a razão de sua existência e o que dele se espera.

A instalação de um pequeno número de aparelhos, somente com a finalidade de economizar, pode ser uma solução errônea. A boa prática recomenda que, na medida do possível, haja possibilidades de, por intermédio de um instrumento, verificar o comportamento de um outro instrumento.

Em cada obra deve ser levado em conta seu comportamento individual, considerando a experiência obtida em outras obras.

Deve ser analisado se o instrumento é capaz de fornecer a resposta que dele se espera e com precisão suficiente.

O planejamento deve levar em conta que todos os instrumentos devem ser previamente avaliados e aferidos.

14.3 Tipos de Observações

Quando se pretende não só avaliar a segurança da estrutura mas também estudar seu comportamento, é necessário que se execute um programa de observações bastante abrangente. Nesse caso, as diversas medições visam fornecer todos os elementos necessários para a completa interpretação dos fenômenos.

Os tipos de medições que podem ser efetuados para uma estrutura de concreto são:

I - Determinação das solicitações externas

Pressão hidrostática

- níveis da água
- alturas de sedimentações

Clima

- temperatura ambiente
- índices pluviométricos
- umidade
- ventos e outras condições climáticas
- temperatura da água do reservatório

Vibrações

- frequências, amplitudes e acelerações

II - Determinação das solicitações internas

Evolução da temperatura do concreto

Variações de volume

III - Determinação do efeito das solicitações

Deslocamentos

- horizontais
- verticais
- rotações

Deformações

- nas juntas
- no interior da estrutura
- na fundação

Tensões

- no concreto
- na armadura

Temperaturas

- no concreto (internas e nas superfícies externas)
- fundação

Subpressões

- pressões intersticiais nos poros do concreto
- pressões na fundação, em diversas profundidades e no contato rocha-concreto

Movimentação de juntas

- medições de superfície e internas

Fissuração

Eventuais infiltrações

- drenos de fundação
- drenos de juntas
- juntas entre blocos
- juntas de construção
- coberturas
- impermeabilizações

IV - Conhecimento de características do concreto

Variações autógenas

Retração por secagem

Propriedades térmicas

Permeabilidade

Propriedades elastomecânicas

14.4 Grandezas Medidas e Instrumentos Empregados

14.4.1 Generalidades

Considerando a pequena amplitude dos efeitos estruturais e o ambiente pouco favorável em que os instrumentos trabalham, os instrumentos devem ser dotados de elevada sensibilidade, fidelidade e durabilidade.

Além disso, eles devem possuir uma certa robustez, facilidade de instalação e de operação.

14.4.2 Pressão Hidrostática e de Sedimentos

Pressões hidrostática são calculadas a partir da medição do nível da água atuante mediante o limnógrafo ou o limnômetro e através de piezômetros para definir a subpressão atuante. O conhecimento hidrogeotécnico da fundação exige também a medição das vazões drenadas mediante a instalação de vertedouros especiais.

Os piezômetros normalmente utilizados são os de tubo aberto, lidos através de manômetros ou de "pios", e os de resistência elétrica ou de corda vibrante, lidos por meio de equipamentos especiais. Os primeiros são usados quando se dispõe de galerias ou acessos próximos à fundação, podendo ser instalados no contato concreto-rocha como também em diversas profundidades na fundação.

Os elétricos são instalados quando não há acesso fácil ou quando se deseja automatizar as leituras devendo sua cablagem ser encaminhada a um terminal de leituras.

Os vertedouros para medição das vazões drenadas devem ser convenientemente dimensionados e instalados de modo a proporcionar leituras confiáveis. Quando necessário, devem ser previstos sistemas de amortecimento que evitem variações sensíveis do nível da água por ocasião das leituras.

14.4.3 Temperatura

A ação da temperatura, quer oriunda da geração do calor devido a hidratação do aglomerante, quer devido ao meio externo, é medida pela instalação de uma rede de termômetros no interior e junto à superfície das estruturas. No caso de barragens, a temperatura da água do lago é medida através de termômetros lançados a partir de barcos ou da crista da barragem e posicionados nas cotas desejadas.

Os termômetros de resistência elétrica são os aparelhos mais utilizados e baseiam-se no fato de que a resistência elétrica de um fio de aço (ou outro metal) varia com a temperatura.

Têm sido usados há muitos anos, com desempenho satisfatório, e podem ser lidos com auxílio de uma ponte de Wheatstone, fornecendo temperaturas com precisão da ordem de $0,3^{\circ}\text{C}$ e fundo de escala variável de -30°C a $+70^{\circ}\text{C}$.

O termômetro normalmente utilizado na auscultação do campo de temperatura no concreto, no Brasil, é o de resistência elétrica tipo Carlson, o qual é lido mediante o auxílio da mesma central empregada na leitura dos extensômetros, medidores elétricos de juntas e termômetros, medidores elétricos de juntas e termômetros.

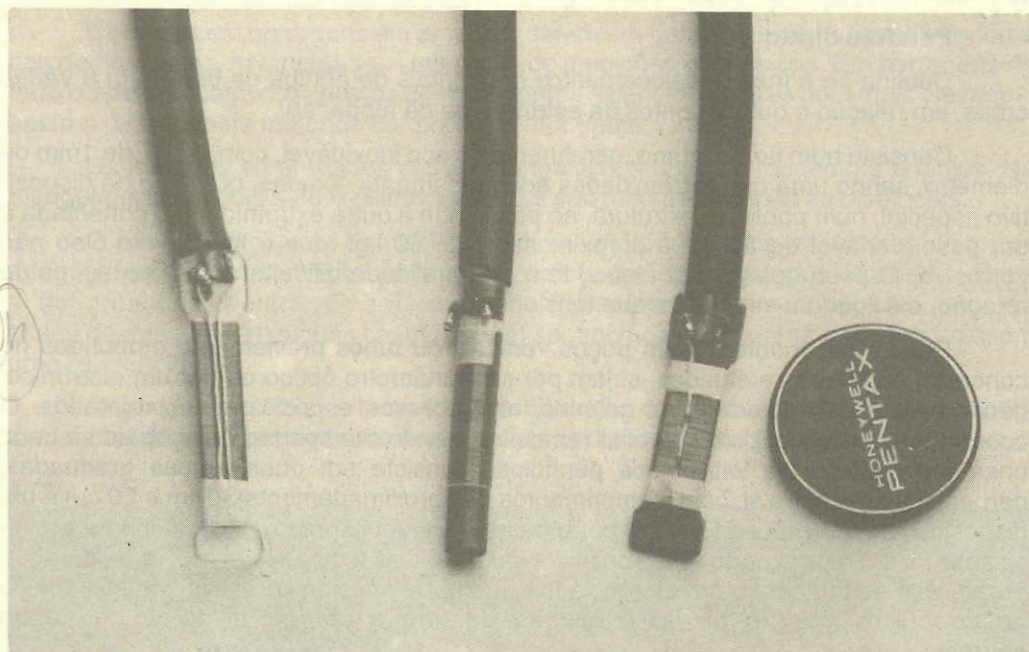


Figura 14.1 - Termômetro elétrico de resistência elétrica

Em geral, para obras civis, onde as variações térmicas são reduzidas, usa-se o Cobre-Constantan, originando-se força eletromotriz de aproximadamente $40 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$. Pode-se também utilizar pares de Cobre-Ferro, de Ferro-Constantan etc. A leitura pode ser feita facilmente por potenciômetro.

Não é recomendável a utilização de termômetros comuns, de mercúrio ou de outro material, para a medição de temperaturas, no interior da massa de concreto.

14.4.4 Deslocamentos

O deslocamento é uma das grandezas mais expressivas do comportamento estrutural, tanto no que diz respeito ao controle da segurança quanto a análise das previsões efetuadas pelo modelo. Aqui deve ser distinguido o deslocamento absoluto, obtido mediante uma rede planimétrica-altimétrica de auscultação geodésica, do deslocamento relativo medido com o auxílio de pêndulos direto e invertido. Dependendo do

local de fixação do pêndulo invertido, os dois processos podem levar a resultados praticamente coincidentes.

Os deslocamentos, no caso de barragens, são definidos por três componentes lineares e normalmente há interesse em se determinar tais valores em diversos pontos da estrutura.

Diversos são os tipos de aparelhos que podem ser utilizados, entre "os quais" estão os pêndulos, extensômetros múltiplos, distanciômetro, teodolitos, barras de fundação, níveis líquidos, defletômetros.

Para as medições de deslocamentos absolutos e relativos, os aparelhos que mais têm sido utilizados são os pêndulos, os teodolitos e os extensômetros múltiplos.

Pêndulo direto

Destina-se a medir deslocamentos horizontais de pontos da barragem à várias cotas, em relação a outros pontos da estrutura ou da fundação.

Consiste num fio de prumo, geralmente de aço inoxidável, com cerca de 1mm de diâmetro, sendo uma das extremidades adequadamente fixadas, por meio de dispositivo especial, num ponto de estrutura, ao passo que a outra extremidade é conectada a um peso, variável de 30 kgf a aproximadamente 60 kgf, que é imerso em óleo não corrosivo. O peso que possui aletas, tem por finalidade dificultar movimentações de rotação, e é ligado a uma haste que tensiona o fio.

Podem ser montados em poços verticais ou tubos previamente embutidos no concreto. As leituras efetuadas, sejam por coordenômetro óptico ou por um eletrônico, geralmente são realizadas nas galerias, em recessos especialmente projetados. O coordenômetro óptico é um aparelho removível, sendo transportado e acoplado a cada base por ocasião da leitura dos pêndulos. Consiste em duas réguas graduadas, perpendiculares entre si, com comprimentos de aproximadamente 30 cm e 20 cm e um dispositivo de colimação formado por uma luneta e um espelho. A régua menor move-se sobre a maior, de modo que é possível efetuar-se as leituras sem mover o coordenômetro. Usa-se também uma referência fixa, em geral em pino de aço inoxidável, fixado no concreto próximo ao fio e que se destina a corrigir erros no apoio do aparelho.

A precisão obtida na leitura do pêndulo é função do aparelho de leitura empregado, sendo que no caso do coordenômetro óptico a menor divisão de escala é de 0,1 mm.

O telecoordinômetro, eletrônico, destina-se a medir os mesmos deslocamentos com a vantagem de que os dados podem ser transmitidos a distância, agilizando as leituras além de torná-las mais eficientes, na medida em que se possa dispensar as exaustivas e constantes caminhadas dos operadores por grandes distâncias dentro de galerias. Enquanto o coordenômetro óptico permite precisão de 0,1mm, o telecoordinômetro possui precisão de 0,005mm.

Pêndulo invertido

Destina-se à medição de deslocamentos, horizontais, de pontos da barragem em relação a pontos situados a uma profundidade suficiente para poderem ser considerados como fixos.

Uma das extremidades do fio é fixa em profundidades, que, dependendo das condições de fundação, podem chegar a 50 metros. A outra extremidade é ligada a um

flutuador que, imerso em um recipiente com óleo, sofre empuxo tal que a verticalidade fica sempre mantida.

Em geral, tais poços profundos possuem cerca de 30 cm de diâmetro e podem ser executados com sondas rotativas. Esses pêndulos devem ser criteriosamente posicionados, pois os custos de perfuração são elevados. Não se admitem, em geral, desvios superiores a 2,0 mm/m. As leituras, bem como o cálculo de deslocamentos diretos, são feitos utilizando-se os mesmos aparelhos de leitura que o pêndulo direto.

Teodolitos e distanciômetros

A seleção do método de medida a ser empregado depende da precisão desejada e da magnitude dos deslocamentos previstos.

É comum em barragens em arco, por serem em geral de comprimentos inferiores aos de barragens de gravidade, a utilização de medições geodésicas. Em barragens de terra ou de enrocamento onde os deslocamentos alcançam valores bem mais elevados, basta a utilização de métodos correntes de topografia.

Os métodos empregados são as triangulações onde se medem os ângulos. Na triângulateração, utiliza-se o distanciômetro e são medidas apenas as distâncias.

O principal problema da utilização desses métodos reside na escolha de locais adequados para a observação: pontos fixos suficientemente afastados de locais sujeitos a deformações, pontos de referência que proporcionem boas visadas, etc. As bases de medida, em alguns casos, podem ser apoiadas em pontos que proporcionem uma referência fixa.

Costuma-se utilizá-los também para obtenção de deslocamentos relativos, horizontais e verticais (por nivelamento), de blocos adjacentes da barragem.

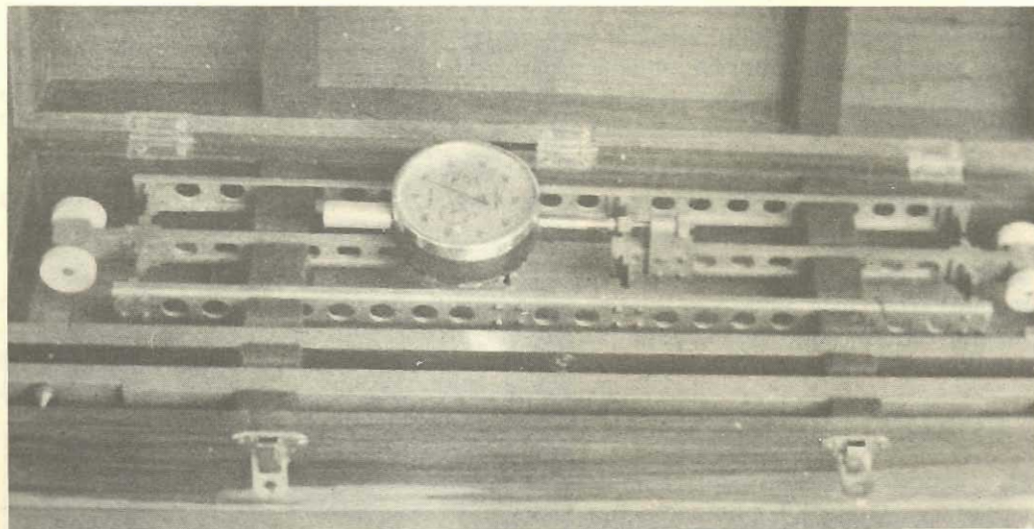


Figura 14.2 - Alongâmetro, fabricado pelo LNEC

14.4.5 Movimentação de Juntas

O movimento relativo das faces de uma junta é quantificado pelo medidor triortogonal, pela base de alongâmetro ou pelo medidor elétrico de junta. O primeiro mede as três componentes do movimento de junta, o segundo duas componentes onde uma é normal ao plano de junta e, o terceiro medidor, fornece apenas o movimento normal ao plano da junta. Os dois primeiros destinam-se a medições à superfície e o terceiro é embutido no concreto. O medidor elétrico de junta, quando baseado no princípio da variação da resistência elétrica de um condutor pela deformação, mede também a temperatura local do concreto.

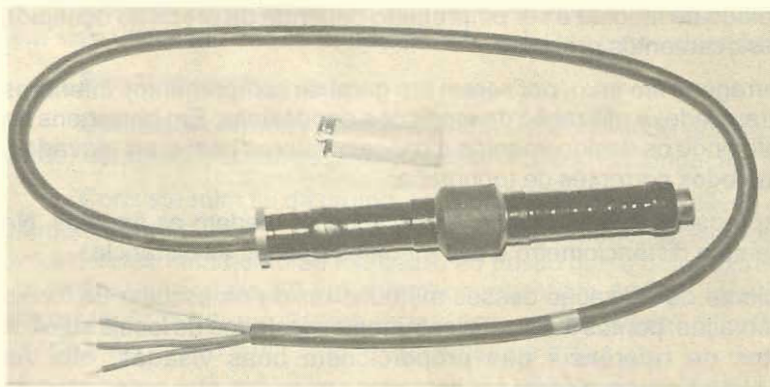


Figura 14.3 - Medidor de junta, tipo Carlson

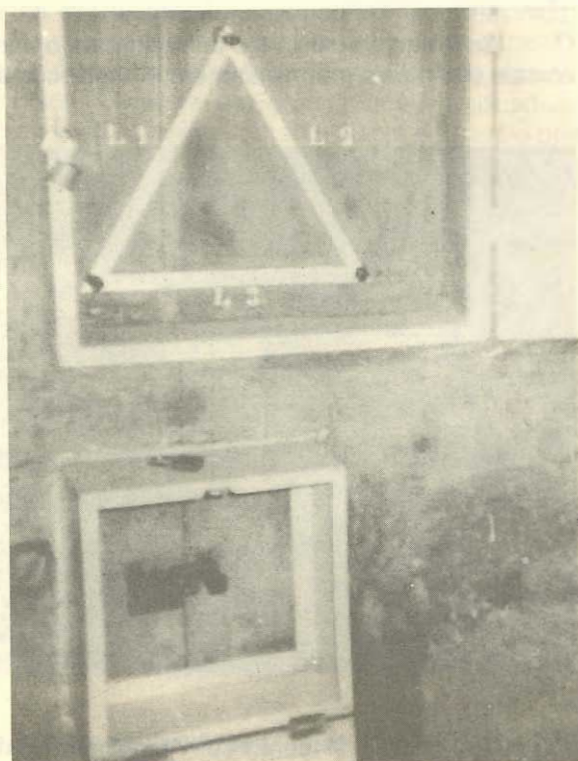


Figura 14.4 - Medidores para abertura de juntas - Bases de alongâmetro (acima) - Triortogonal (abaixo)

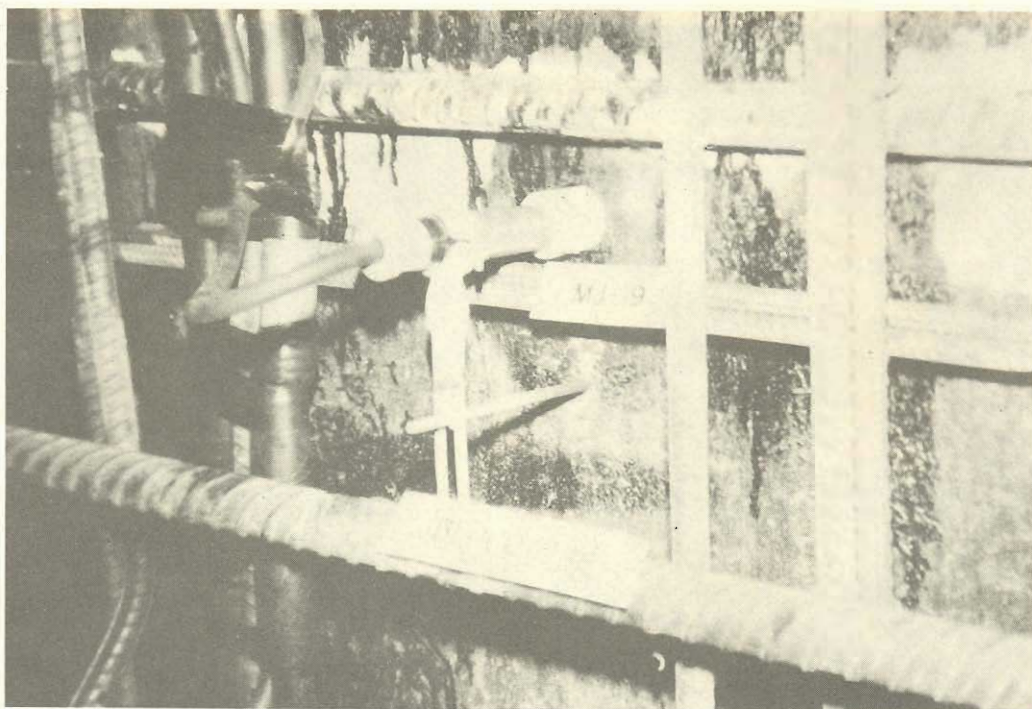


Figura 14.5 - Medidor elétrico para abertura de juntas

14.4.6 Deformações

O extensômetro permite a medição da deformação linear específica do concreto, na direção em que é instalado. Sua instalação é indicada quando a tensão prevista ultrapassa 10 kgf/cm^2 . Os extensômetros, normalmente utilizados embutidos no concreto, são baseados no princípio da corda vibrante e da variação da resistência elétrica. Entre esses últimos há os que medem também a temperatura do concreto envolvente.

O extensômetro é um aparelho que pode ser embutido, no concreto, e revelar as deformações que o material esteja sofrendo. Responde a variações de dimensões do concreto, sejam elas devido a tensões, umidades ou alterações químicas.

Inicialmente foram muito utilizados os extensômetros mecânicos, para medições na superfície, porém não deram os resultados que se esperava obter, pois não permitiam avaliar o que se passava no núcleo. Além disso as variações de temperaturas mascaravam os resultados. Entre as características que deve possuir um extensômetro para que possa ser instalado no interior do concreto estão:

Durabilidade

Todas as partes do aparelho devem resistir muito bem ao ataque químico do cimento e da água. Deve manter sua impermeabilidade por longo tempo. Os aparelhos de resistência elétrica possuem óleo, no seu interior, para evitar corrosão dos fios.



Figura 14.6 - Extensômetro corretor, para medida da variação autôgena - Itaipu

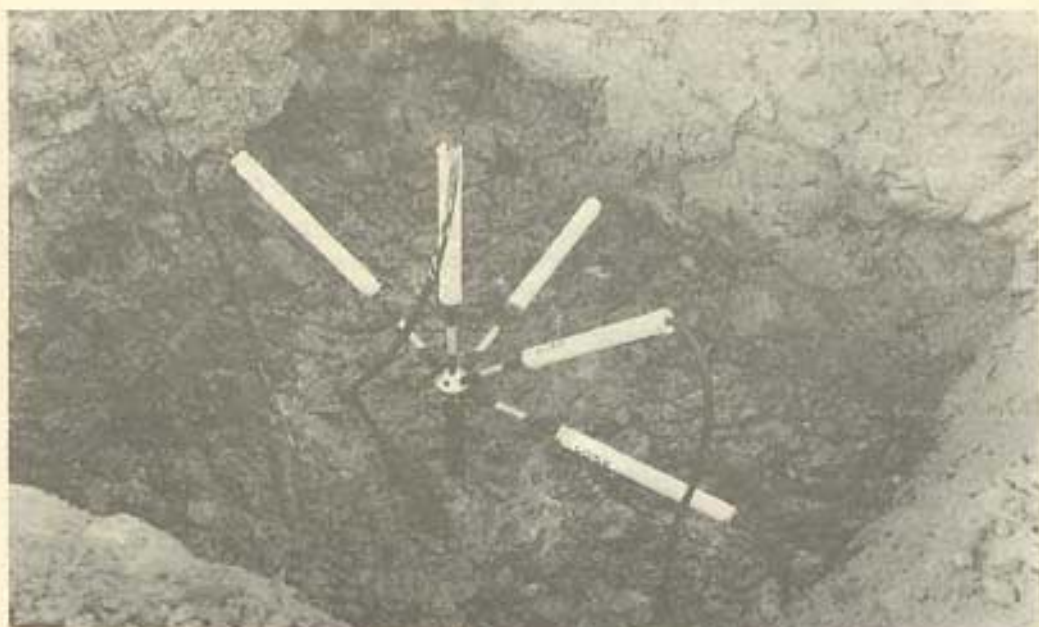


Figura 14.7 - Extensômetros ativos, de uma roseta de 5 braços - Itaipu

O deformímetro mede a deformação linear específica do concreto na direção em que é instalado. O extensômetro normalmente utilizado em barragens de concreto baseia-se no princípio da variação da resistência elétrica pela deformação sofrida por um condutor. Ele mede também a temperatura do concreto envolvente, isto é, funciona como termômetro. O extensômetro largamente utilizado no Brasil é do tipo Carlson e possui base de medida de 25 cm. A fim de se medir deformações de origem termo-hidrométricas e/ou autógenas, instala-se um extensômetro isolado do campo de tensões, denominado extensômetro atensorial. Este instrumento, envolvido pelo mesmo concreto lançado sobre os extensômetros ativos (os extensômetros ativos respondem também ao campo de tensão), localiza-se em recipientes especiais denominados "baldes corretores ou atensoriais".

As Figuras 14.6 e 14.7 mostram o extensômetro corretor e extensômetros ativos constituindo uma roseta.

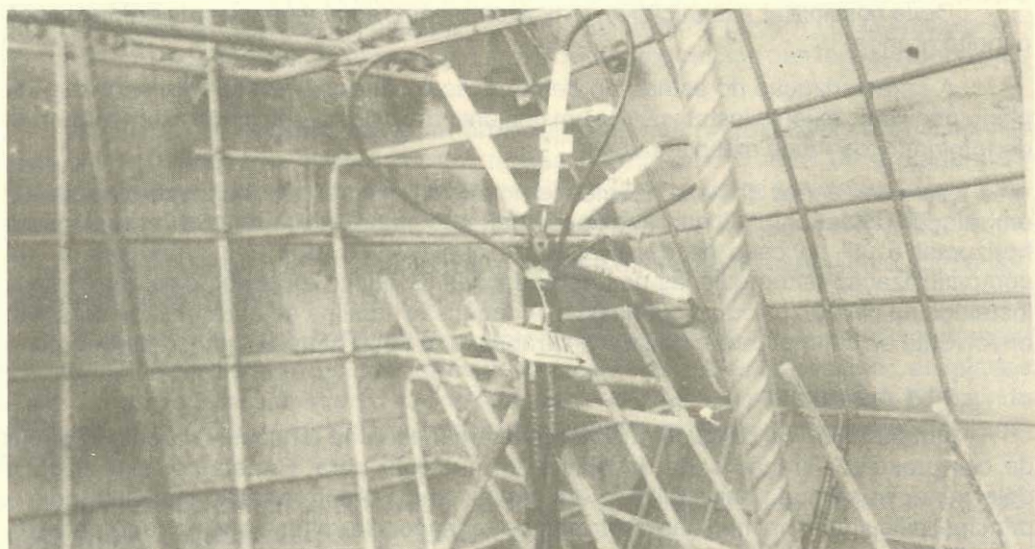


Figura 14.8 - Roseta de extensômetros ativos - Água Vermelha

Fidelidade

As leituras, para mesmos comprimentos, devem ser rigorosamente iguais. Não pode ocorrer relaxação, principalmente no caso de cordas vibrantes, nem corrosão.

Rigidez

A rigidez longitudinal deve ser nula para que se possa acompanhar as variações de comprimento do concreto, sem introduzir qualquer tensão.

Robustez

O aparelho deve ser robusto o suficiente para suportar pequenos choques que inevitavelmente ocorrem durante a instalação.

Sensibilidade

Deve ser capaz de acusar deformações da origem na ordem de 10^{-6} mm/mm .

Campo de Leitura

É indispensável que possam ser lidas deformações de até 0,04 mm em ambas as direções. Dentro desse campo de medidas do diagrama de leituras, a função da variação de comprimento, deve ser linear.

Dimensões

Deve possuir pequenas dimensões para não perturbar o campo de tensões, e grande comprimento, pelo menos três vezes a dimensão máxima do agregado, para poder medir as deformações de interesse.

Termômetro

Deve possibilitar a medição de temperatura, pois sua influência nas deformações é muito grande.

A caracterização do estado de deformação é um ponto em que se conhece um plano principal , exige a instalação de um conjunto de pelo menos cinco extensômetros, denominado roseta de extensômetros.

As orientações dos extensômetros no plano principal são: horizontal, 45° e 90° em relação à horizontal. O quarto extensômetro do plano, inclinado 135° em relação à horizontal é útil no caso de danificação de qualquer um dos três anteriores e na compatibilização das medições das deformações. O quinto extensômetro da roseta é instalado na direção principal conhecida. A dimensão máxima do agregado do concreto envolvente ao extensômetro não deve ultrapassar a terça parte do seu comprimento.

14.4.7 Tensões

Quase todos os cálculos buscam a determinação de tensões. A medição direta de compressão e tração seria desejável em qualquer obra. Entretanto, este tipo de determinação só pode ser realizado em alguns casos e com relativo sucesso, pois a principal dificuldade na medição direta são as variações de volume que sofre o concreto, além de variações de características mecânicas com o tempo.

A tensão de compressão no concreto é medida pelo tensômetro sem sofrer influência do fenômeno da fluência e da variação dos parâmetros visco-elásticos do concreto.

O tensômetro baseia-se no princípio de introduzir no concreto um elemento de pequena espessura, que não afete o campo de tensões, capaz de medir tensões perpendiculares a sua base.

Se uma lâmina de diminuta espessura e de elevado módulo de elasticidade for imersa no concreto, as tensões através dela devem ser iguais às do concreto envolvente, não importando que deformações possam ocorrer.

Quanto mais fina a lâmina, mais as tensões serão iguais. Evidentemente, é impossível produzir, atualmente, uma peça infinitamente fina de modo que deve haver uma pequena correção. Os atuais tensômetros possuem diâmetro cerca de 12 vezes a espessura. Uma análise efetuada mostrou que o aparelho fica assim 93%,

independente de deformações do concreto, sendo o máximo erro, na determinação da tensão, de 7%.

O tensômetro para concreto tem sido, hoje, largamente utilizado. A lâmina geralmente é de mercúrio e possui cerca de 0,2 mm de espessura. Por enquanto, pode medir apenas tensões de compressão e tem se verificado que detalhes de fabricação de instalação são importantes para uma correta interpretação dos resultados. É necessário que o aparelho possua uma proteção adequada de aço em torno da parte sensora (extensômetro) para que não ocorram deformações causadas por forças laterais. Fator primordial para as análises dos resultados é a calibração.

Além disso, o posicionamento durante a instalação deve ser corretamente registrado. A argamassa de assentamento deve possuir elevado módulo de elasticidade, podendo ser utilizado, por exemplo, granelha de aço para sua confecção.

É muito importante o cuidado a ser tomado em sua instalação, pois aí reside a principal causa de seu mal funcionamento. Os tensômetros podem ser instalados em grupo de 3 ou 4, constituindo uma roseta, possibilitando o cálculo das tensões principais no plano que contém os seus eixos.

A tensão de tração atuante na armadura pode ser medida por extensômetros especiais, devidamente calibrados em tensão e soldados à barra de armadura ou posicionados em local próximo a ela. Nesse último caso, a barra acoplada ao aparelho deve possuir filetes ou roscas que garantam aderência ao concreto envolvente.

O princípio em que o tensômetro se baseia é o mesmo do extensômetro, e o tipo Carlson é aquele usualmente utilizado (Figura 14.9).

Sempre que possível devem ser empregados dispositivos de registro e tratamento automático das leituras obtidas nos instrumentos vistos. Estes dispositivos, acoplados a um computador, possibilitam o processamento das leituras em tempo real, permitindo o acompanhamento da evolução das grandezas observadas durante o processo construtivo.

Outros instrumentos normalmente utilizados no controle das estruturas em concreto massa e principalmente em barragens são:

- cadeias clinométricas para controlar a inclinação das estruturas;
- extensômetros de grande base, tipo Carlson, para controle do contato concreto e rocha de fundação;
- extensômetros de hastes para o controle das deformações da fundação;
- medidores de pressão neutra.

14.5 Frequência de Observações

O programa de leituras dos instrumentos instalados na obra é parte integrante do projeto de auscultação e deve abranger as etapas de construção, enchimento e posterior operação do reservatório. Tais leituras devem ser criteriosamente programadas de modo a:

- permitir que situações de real interesse possam ser observadas e medidas;

- otimizar o número de leituras a ser efetuado, pela equipe, de modo a aumentar sua eficiência (nos casos em que não houver automação);
- assegurar que a quantidade de leituras efetuadas num aparelho seja realmente analisada.

Deste modo, garante-se que os valores lidos sejam realmente utilizados para os fins almejados, e não sirvam apenas de elemento de arquivo.

O programa de leituras deve conter a frequência com que cada instrumento deve ser lido, via de regra, consiste numa série de recomendações para cada fase da obra: instalação (do aparelho); construção; no caso de barragens, enchimento e primeiro ano de operação após o enchimento; e, finalmente, durante o restante do tempo.

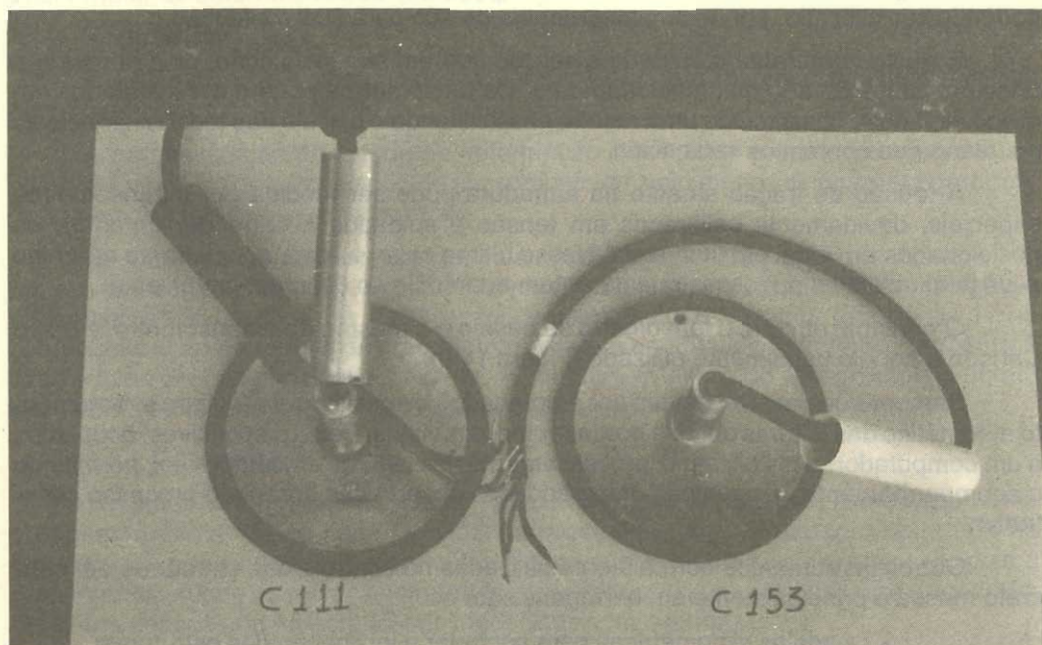


Figura 14.9 - Tensômetro tipo Carlson

14.6 Tratamento e Interpretação das Observações

O tratamento adequado dados às informações obtidas, através da instrumentação instalada, é ponto fundamental de qualquer programa de segurança e observação do comportamento de uma obra. De nada adianta ter-se instalado uma boa quantidade de aparelhos, sofisticados ou não, se não houver preocupação permanente por parte dos responsáveis, com a coleta de dados, processamento, interpretação e análise.

A coleta de dados deve ser efetuada por técnicos experientes, bem como o processamento inicial, pois esta é a matéria-prima para os trabalhos de análise comportamental. O processamento, seja ele automático ou não, deve seguir orientação dos responsáveis pela instrumentação, principalmente no que se refere aos processos de cálculo a serem usados.

Finalmente, entende-se como interpretação desde a simples comparação entre valores obtidos e valores teoricamente previstos até um estágio onde já se pressupõe todo um processo de realimentação de informações e de profundo envolvimento com o comportamento das estruturas nos seus mínimos detalhes.

Em virtude de se obter, através de instrumentação, uma quantidade enorme de dados torna-se necessária a elaboração antecipada de um programa de processamento dos mesmos. Caso isto não seja previsto, corre-se o risco de haver um acúmulo de informações, não analisadas, e que comprometem a finalidade da instrumentação.

Algumas das medições são extremamente simples de serem processadas e analisadas, mesmo pelo pessoal de campo. É o caso de piezômetros, pêndulos, termômetros de resistência e medidores de juntas. Outras já requerem cálculos, onde podem entrar, inclusive, detalhes relativos ao concreto, tais como: fluência, coeficientes de dilatação térmica etc... É o caso dos extensômetros.

O processamento de uma enorme massa de dados é relativamente simples de ser efetuado, através de computadores.

14.7 Interpretação (Avaliação)

A interpretação dos dados deve seguir o esquema:

- Preliminar, no campo, por parte dos encarregados pelas instalações, leituras e manutenção dos aparelhos. Permite, de imediato, verificar se houver qualquer defeito durante as operações de instalação, danos provocados por terceiros, etc. Possibilita avaliar a equipe, os procedimentos de instalação e propor medidas corretivas se for o caso. A equipe de campo deve conhecer, perfeitamente, quais as finalidades de instalação de cada aparelho para que, se for o caso, possa substituí-lo por outro tanto na fase de construção quanto de operação, quando ocorrer alguma falha insolúvel ou permitir sua relocação, caso haja interferência com algum embutido. Assim, por exemplo, caso um termômetro não possa ser instalado num local inicialmente previsto, não há problema, ao passo que se um tubo de passagem de pêndulo não for instalado pode-se perder a possibilidade de instalá-lo.
- Preliminar, no escritório, tem a finalidade de verificar se a instalação foi satisfatória, e se o aparelho comporta-se de acordo com as previsões. Assim, por exemplo, aparelhos elétricos, embutidos no concreto, deve acusar nos primeiros dias, elevações de temperatura causadas pela hidratação do cimento. Muitas vezes, nessa fase verifica-se que um dos quatro fios não está funcionando e que a leitura pode ser efetuada apenas com três fios. Pode acontecer também haver indicação errônea, na obra, do nome do aparelho que está sendo lido. Na fase de operação, a interpretação preliminar, no escritório, possibilita imediata avaliação das condições operacionais das diversas estruturas, pois indica se os níveis normais de advertência e de alerta de cada instrumento foram ou não ultrapassados.

- Comparações com valores teóricos - consiste numa comparação dos deslocamentos, tensões etc., com os valores obtidos por análises. Em alguns casos, é possível utilizar-se os valores obtidos no protótipo para, realimentando os estudos, refazer cálculos de maneira mais realista.
- Análise quantitativa - a interpretação dos resultados obtidos pela instrumentação, não fica perfeita se não forem estabelecidas correlações entre causas e efeitos. Entre os itens observados numa barragem, uns são causas, como por exemplo as pressões hidrostáticas, as variações de temperatura, as subpressões e outros são efeitos, como por exemplo as deformações, tensões, movimentações de juntas, deslocamentos.

Pode ser levada em consideração a existência de componentes irreversíveis, causadas por efeitos anelásticos (por exemplo, a deformação lenta de concreto e rocha). A variação térmica do interior da estrutura é periódica.

É válida a correlação teórica entre cada deslocamento e sua respectiva componente térmica.

14.8 Supervisão Automática

Com o decorrer do tempo, os progressos técnicos têm possibilitado um nível de automação cada vez maior das operações requeridas para a execução do controle de segurança. Assim, em qualquer fase da supervisão de uma barragem, em que haja uma sequência de operações elementares repetitivas que possam ser bem definidas e especificadas, e quando exista um equipamento que possa exercer estas funções mais rapidamente, a menor custo e com menor probabilidade de erros que com um operador humano, a automação torna-se viável. Entretanto, esta automação nunca será completa, porque a inspeção visual, executada tanto por operadores comuns como por especialistas, e interpretação dos resultados e a avaliação da segurança devem exigir sempre o envolvimento humano.

15. RELATÓRIOS E INFORMAÇÕES

15.1 Objetivos

As anotações e relatórios feitos no transcorrer de uma obra possuem várias finalidades.

Devem ter um conteúdo capaz de manter informadas as várias entidades envolvidas na execução da obra.

Devem ter a capacidade de traduzir a **eficiência** dos controles aplicados ao concreto.

Devem possibilitar o armazenamento de conhecimentos, servindo de base para o desenvolvimento de Especificações e Recomendações.

Devem ter a profundidade técnica para crítica das várias atividades - Projeto, Construção, Fiscalização - envolvidas na obra.

Devem ter condições de se constituir em um banco de informações que venham orientar novas pesquisas e desenvolvimentos.

Devem se constituir em registro permanente para uso, quer para **renegociações** contratuais, quer para correções e reparos.

15.2 Periodicidade e Forma do Relatório

Não resta dúvida de que a **periodicidade** de emissão do relatório bem como o modelo adotado para esse relato **dependem** das características e dimensões da obra.

Deve-se levar em **conta**, entretanto, que a **periodicidade** deve estar em acordo com a dinâmica de **construção**, para que as críticas, sugestões e comentários **possam** surtir o efeito e as providências desejadas e não se percam no tempo.

A forma do relatório deve estar em acordo com as necessidades das equipes envolvidas, **devendo** ter a flexibilidade para enfatizar os pontos falhos e/ou em desacordo com as Especificações.

15.3 Conteúdo

Os relatórios, de preferência, devem apresentar os seguintes tópicos:

Descrição

A descrição deve resumir as principais atividades desenvolvidas no período coberto **pelo** relatório. O texto deve ser claro, objetivo, conciso, sem repetições e individualidades.

É importante, quando disponível, o uso de fotos e desenhos para as **devidas** ilustrações.

Materiais para concreto

As **modificações importantes** ou notáveis no sistema de **dragagem**, produção e **beneficiamento** (inclusive de **pré-resfriamento**, se utilizado) e **estocagem**, devem ser **relatadas**. As dificuldades e processos adotados para **se fazer obedecer** às especificações devem ser reportadas.

As informações sobre manuseio, transporte e recepção devem fazer parte do relatório.

Em grandes obras é comum adotar o critério de se receber materiais após ensaios de liberação efetuados na origem produtora. É conveniente que essas informações façam parte dos relatórios.

Dosagem e Mistura

As informações de procedimentos e alterações que resultem em melhorias devem ser anotadas. As avaliações dos sistema de pré-resfriamento, se usado, e do desempenho dos misturadores, bem como as aferições efetuadas, devem ser reportadas.

Providências Preliminares

As informações obtidas durante o acompanhamento dos preparativos para as concretagens são de grande valia para as verificações de eventuais dúvidas. Devem então ser relatadas.

Estão aqui englobadas as eventuais adaptações de armadura, detalhes excepcionais de escoramento de fôrmas, dificuldades nos preparos de superfície, armação, drenagem, embutidos e vedações.

Transporte do Concreto

Devem ser reportadas as dificuldades encontradas, tais como: perda de trabalhabilidade, segregação, "falsa pega", bem como as razões para tais dificuldades e os métodos para a correção. Os eventuais desvios de aplicação do concreto devem ter um registro preciso e claro.

Colocação do Concreto

Devem ser anotadas as dificuldades encontradas durante o lançamento, tais como exsudação, aspereza, excesso de agregados, bem como as providências corretivas. Métodos e processos especiais, ou não usuais, devem ser registrados com precisão técnica.

Adensamento e Acabamento do Concreto

Os problemas e soluções encontrados devem ser registrados. Nos locais de exposição a fluxo d'água os cuidados suplementares exigidos devem ser verificados e reportados detalhadamente.

Proteção e Cura do Concreto

As dificuldades e as providências adotadas, os procedimentos notáveis e as precauções devem ser registradas.

Reparos no Concreto

As atividades, procedimentos, métodos, materiais e locais devem ser registrados com clareza e com profundidade técnica.

Instrumentação de Auscultação

As atividades de preparo, aferição, instalação e leituras iniciais, bem como as do período de observação devem ser, também, relatadas de maneira simples e objetiva, permitindo fácil manuseio e compreensão.

Pré-moldados

Itens de especial interesse pertinentes de peças pré-moldadas, bem como as de operações de saque, estocagem, transporte, içamento e colocação devem ser relatados.

Atividade de Pesquisa e Laboratório

Ensaíos e investigações especiais são de grande utilidade para o desenvolvimento de etapas de projeto e de construção, devendo ser relatados.

15.4 Exemplo

Um exemplo que pode ser citado é o tipo de relatório que agrupa a experiência das várias empresas concessionárias e proprietárias das hidroelétricas no país e tem sido adotado atualmente.

O relatório pode ser constituído por itens, a saber:

A - Recepção de materiais para concreto.

- Aditivos.
- Aços.
- Cimentos.
- Materiais pozolânicos.
- Elastômeros.
- Agregados.

B - Controle do Beneficiamento de Materiais para Concreto

C - Controle de Materiais nas Centrais de Produção

- Aditivos.
- Cimentos.
- Materiais Pozolânicos.
- Água de Amassamento (e /ou Gelo)

D - Controle de Produção e Ensaíos de Concreto

- Controle Mistura Fresca.
- Controle Concreto Endurecido.
- Aferições.
- Gráficos Informativos.

E - Pátio de Pré-Moldados

- Materiais.
- Produção e Ensaíos de Concreto.
- Aferições.
- Controle de Cura e Peças Disponíveis.

F - Preparativos para Construção

- Reparos.
- Adaptações.
- Estruturas.

G - Controle de Qualidade do Lançamento do Concreto

- Arranjo Geral.
- Transporte.
- Colocação.
- Espalhamento.
- Adensamento.
- Acabamentos.
- Proteção e Cura.
- Reparos.

H - Protensões

- Preparo.
- Enfição.
- Tensionamento.
- Cravação.
- Proteções.

I - Injeções

- Juntas de Contração.
- Protendido.

J - Auscultação das Obras de Concreto

- Preparo.
- Aferição.
- Instalação.
- Leituras.
- Interpretações.

15.5 Listagem dos Requisitos para o Controle

Os vários itens que devem ser observados para o controle e inspeção são citados nos Capítulos precedentes, em particular o de número 6. É conveniente que, para uma determinada obra, o fiscal tenha em mão uma lista contendo aqueles itens que sejam requeridos, contendo as especificações, a organização e condições de serviço.

15.6 Impressos

A seguir as Figuras de 15.1 a 15.9 mostram alguns impressos usuais para auxiliar no controle e inspeção de materiais e concretos.

FOLHA DE AMOSTRAGEM	
AMOSTRA:	LOTE:
DATA:	HORA:
LOCAL DE COLETA	
MATERIAL:	
PROCEDÊNCIA:	
MARCA:	
TIPO:	
OC Nº:	PS Nº:
NOTA FISCAL:	VEÍCULO:
PARTIDA (VOLUME OU PESO):	
TRAÇO:	CAMADA:
TEMPERATURA:	PESO ESPECÍFICO:
SLUMP:	AR INCORPORADO:
CIMENTO:	MATERIAL POZOLÂNICO:
AGREGADOS:	
ADITIVOS:	
LOCAL DE APLICAÇÃO:	
OBSERVAÇÕES:	
OPERADOR:	

Figura 15.1 - Folha de identificação e amostragem

AUTORIZAÇÃO PARA CONCRETAGEM

Nº: _____ O.S. Nº: _____ ESTRUTURA: _____

DA ELEV.: _____ À ELEV.: _____ DATA: _____

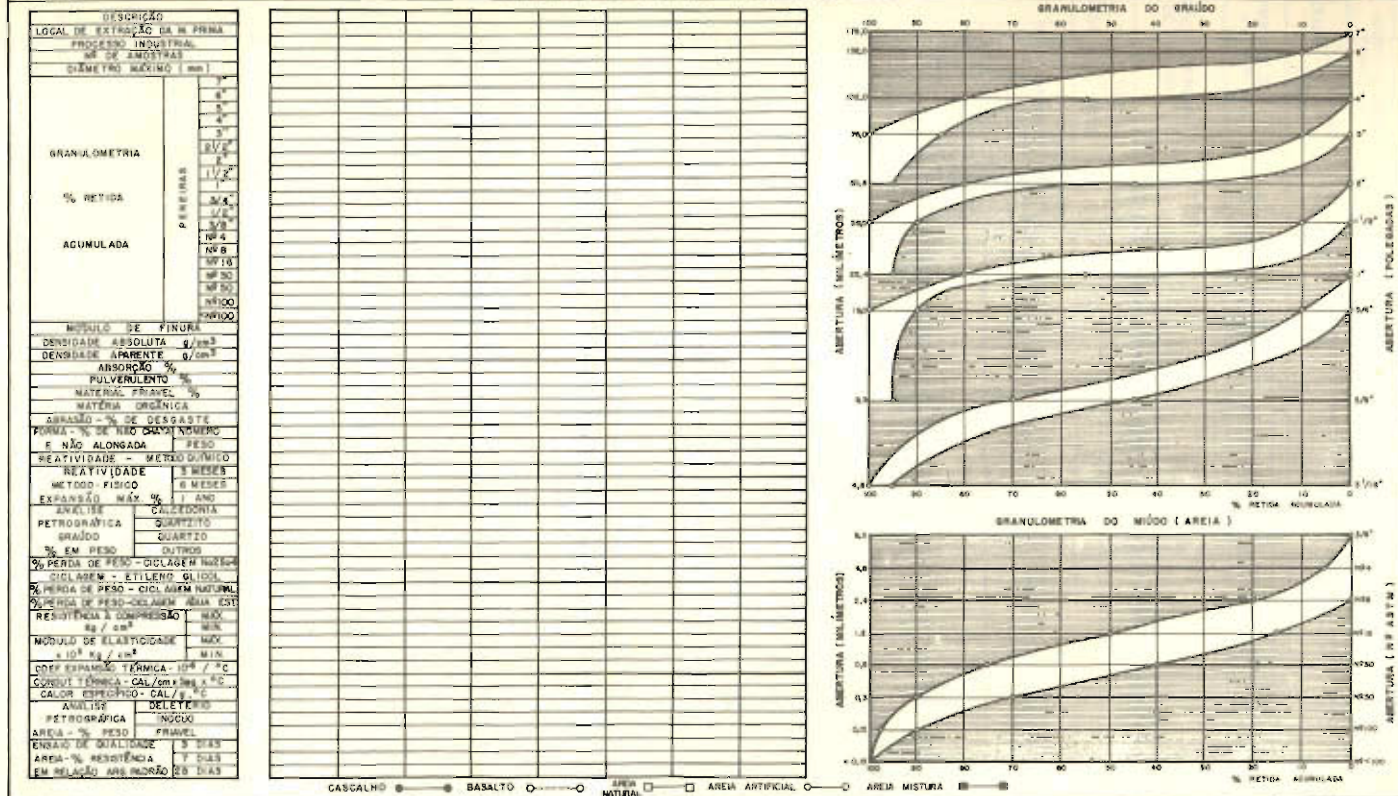
REQUISITOS	EMPREITEIRA		ITAIPU		
	RUBRICA	DATA	RUBRICA	DATA	
1-POSICIONAMENTOS DE EMBUTIDOS		/		/	
2-ALINHAMENTO E NIVELAMENTO DAS FORMAS E GUIAS		/		/	
3-FUNDAÇÃO		/		/	
4-MONTAGEM ELÉTRICA		/		/	
5-MONTAGEM MECÂNICA		/		/	
6-POSICIONAMENTO, CATEGORIA E DOBRAMENTO DA ARMADURA		/		/	
7-TUBULAÇÕES EMBUTIDAS E DRENOS		/		/	
8-DISPOSITIVOS DE VEDAÇÃO		/		/	
9-ESTADO DA FORMA (RESISTÊNCIA, QUALIDADE, LIMPEZA) E UNTAMENTO		/		/	
10-CALAFETAÇÃO		/		/	
11-PLANO DE CONCRETAGEM		/		/	
12-INSTRUMENTAÇÃO		/		/	
13-REPAROS (JUNTA DE BLOCOS)		/		/	
14-CHUMBAMENTO GERAL E ELEMENTOS DE INJEÇÃO		/		/	
15-TRATAMENTO E LIMPEZA DE SUPERFÍCIE		/		/	

OBS.: _____

Figura 15.2 - Folha de liberação

ASSUNTO:

TABELA E GRAFICO PARA AGREGADOS



COD. YR7691

L.C. - 4

Figura 15.3 - Folha de controle de agregados

CARACTERÍSTICAS DE CIMENTO															DADOS ESTATÍSTICOS		
															MÉDIA	C. VARIAÇÃO	
REFERÊNCIA																	
TIPO DE CIMENTO																	
PERÍODO (DIAS)																	
DATA DA COLETA																	
FINURA	PENEIRA 200 (% RETIDA)																
	PENEIRA 325 (% RETIDA)																
	SUE SPECÍFICA (BLAINE) cm^2/g																
	SUE SPECÍFICA (MAGNER) cm^2/g																
DENSIDADE																	
q/cm ³																	
APARENTE																	
ABSOLUTA																	
ÁGUA DE CONSISTÊNCIA																	
PASTA																	
%																	
INÍCIO DE PEGA (h:min)																	
EXPANSÃO EM AUTO CLAVE (%)																	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	CONSISTÊNCIA DE ARGAMASSA																
	GRAMAS																
	A/C																
	FLOW (cm)																
	DATA DA MOLDAGEM																
	TENSÃO																
3 DIAS (kg/cm ²)																	
7 DIAS (kg/cm ²)																	
28 DIAS (kg/cm ²)																	
90 DIAS (kg/cm ²)																	
CALOR DE HIDRATAÇÃO																	
7 DIAS (CAL/g)																	
28 DIAS (CAL/g)																	
ANÁLISE QUÍMICA (%)	PERDA AO FOGO																
	INSOLÚVEIS																
	SiO ₂																
	Fe ₂ O ₃																
	Al ₂ O ₃																
	CaO																
	MgO																
	SO ₃																
	Na ₂ O																
	K ₂ O																
EQUIV. ALCALINO EM Na ₂ O																	
CAL LIVRE EM CaO																	
COMPOSTOS MÉTODO DE BOGUE (%)	C ₁ S																
	C ₂ S																
	C ₃ A																
	C ₄ AF																
	CaSO ₄																

LEGENDA

○ — ○ 3 DIAS

● — ● 7 DIAS

□ — □ 28 DIAS

■ — ■ 90 DIAS

----- MÉDIA ACUMULADA

———— TENSÃO MÍNIMA kg/cm²

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO kg/cm²

Figura 15.4 - Folha de controle de cimento

REFERÊNCIA																			
IDENTIFICAÇÃO FORNECIDA																			
DATAS	RECEPÇÃO																		
	ENSAIO																		
PERÍODO DE COLETA		DE																	
		A																	
CARACTERÍSTICAS DO ADITIVO		PH																	
		SOL. TOTAIS																	
		DENS.																	
% USADA	PADRÃO																		
	TESTE																		
TESTE NO CONCRETO	TEMPERATURA °C	S/AD																	
		P																	
		T																	
	SLUMP (cm)	S/AD																	
		P																	
		T																	
	A/C	S/AD																	
		P																	
		T																	
	DENSIDADE APARENTE (kg/m³)	S/AD																	
		P																	
		T																	
% AR	S/AD																		
	P																		
	T																		
TESTE NA ARGAMASSA	TEMPERATURA (°C)	P																	
		T																	
	FLOW (mm)	P																	
		T																	
	A/C	P																	
		T																	
	INÍCIO DE PEGA (h. min.)	P																	
		T																	
	DIF.																		
	FIM DE PEGA (h. min.)	T																	
		P																	
DIF.																			
PEDIDO DE MATERIAIS																			
NOTA FISCAL																			
PESOS (kg)	PREVISTO																		
	DA PARTIDA																		
	ACUMULADO																		
INCORPORADOR % EM RELAÇÃO AO PADRÃO																			

Figura 15.5 - Folha de controle de aditivos

EMPRESA INTERESSADA: _____

RESPONSÁVEL: _____ NOTA: _____

PROCEDÊNCIA: _____ LOTE: _____

AMOSTRA Nº: _____ CA: _____ Ø: _____

TIPO: _____ DATA: _____ / _____ / _____

TERMO DE INSPECÇÃO: _____ CORRIDA: _____ FEIXE: _____

l (cm)	P(g)	P/l(kg/m)	MÉDIA(kg/m)	AMPLITUDE (kg)	SECÇÃO CALCULADA (mm2)	Ø CALCULADA (mm)

SEÇÃO NOMINAL (mm ²)	CARGA DE ESCOAMENTO (kg)	CARGA DE RUPTURA(kg)	TENSÃO DE ESCOAMENTO(kg/mm ²)	TENSÃO DE RUPTURA(kg/mm ²)

LO(mm)		ΔL (mm)	$\gamma \Delta L$ (mm)	ALONGAMENTO %	CUTELO	
5 D	10 D					

OBS:

OPERADOR: _____ RESPONSÁVEL: _____

462

CÁLCULO DA CORREÇÃO DE CONCRETO									
DATA: _____		CENTRAL Nº: _____	TRAÇO: _____	SLUMP: _____ cm	AR: _____ %				
HORA INÍCIO: _____		HORA FECHAMENTO: _____		fck: _____	kg/cm ² (_____ DIAS)				
RESPONSÁVEL: _____									
MATERIAIS	CON- CRETO MEDIANTE	P.S.S.S. Kg	ABSORÇÃO %	UMIDADE TOTAL %	UMIDADE LIVRE %	CORREÇÃO Kg	PESOS CORRIGIDOS Kg		
CIMENTO									
MAT. POZOL.									
							CALCULADO	USADO	
								ÁGUA	GELO
ÁGUA	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
AREIA NATURAL	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
AREIA ARTIFICIAL	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
INCORPORADOR DE AR - %									
RETARDADOR DE PEGA %									
SLUMP (cm)	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
AR (%)	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
OBS: _____									

Figura 15.8 - Folha para o cálculo da correção da umidade

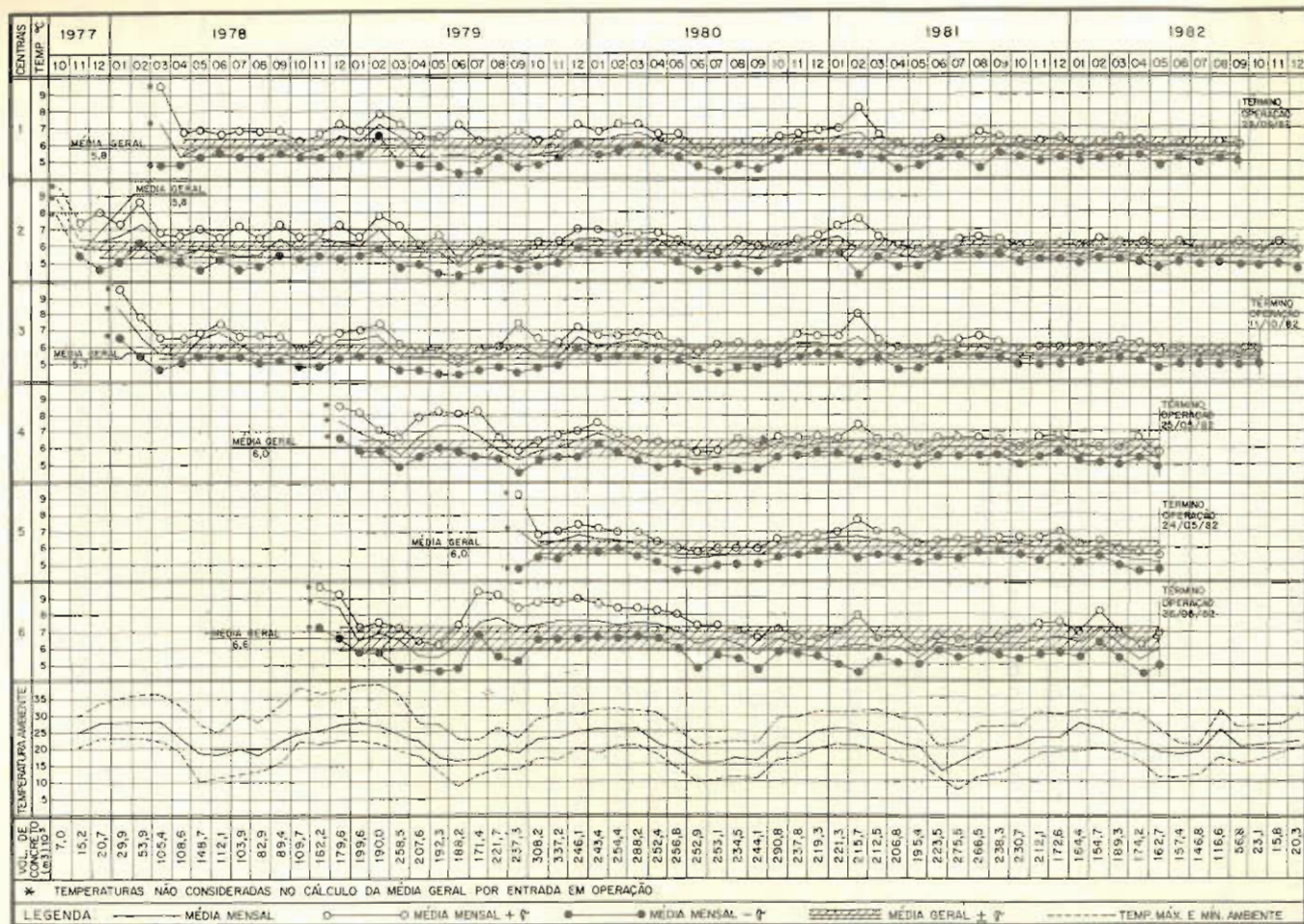


Figura 15.9 - Folha-exemplo de registro de controle de temperaturas dos concretos produzidos nas centrais de concreto da obra de Itaipu

16. CONTROLE SOBRE CONCRETOS E TÉCNICAS ESPECIAIS

16.1. Pré-Moldados em Concreto

O concreto pré-moldado é o resultado da associação das evoluções apresentadas pelos arquitetos, engenheiros, fornecedores e construtores.

Por ser uma atividade industrial, a técnica de construção de pré-moldados envolve um controle aprimorado.

O controle da produção de concreto para a fabricação de peças pré-moldadas pode obedecer os mesmos requisitos de controle já citado nos Capítulos 8 e 9, a menos da rotina de amostragem, que deve ser adaptada a essa técnica.

É comum se adotar o critério de amostragem por peça pré-moldada. Essa rotina tem sido empregada também quando se usa o processo de "cura a vapor".

Os concretos utilizados para a fabricação de pré-moldados possuem, normalmente, trabalhabilidade entre 6 e 10 cm e elevada resistência inicial. Outra propriedade que requer cuidado suplementar é a consistência, visto que de forma geral a moldagem das peças é feita por fôrmas esbeltas e de razoáveis altura, impondo atenções adicionais quanto à segregação.

O adensamento é feito, normalmente, por vibradores de imersão com haste fina, de diâmetro entre 25 a 50 mm e, dependendo da altura da peça, com vibradores de parede.

A utilização de concreto pré-moldado nas obras de concreto massa tem sido feita com o intuito de desvincular grandes produções e lançamentos de concreto de aplicações difíceis, detalhadas e específicas.

O uso de pré-moldados na construção de Itaipu, Tucuruí e Ilha Solteira foi feito em grande escala e pode ser citado como exemplo para a desvinculação de atividades nos planejamento. Foi observado:

OBRA	VOLUME TOTAL DE CONCRETO (m ³)	VOLUME DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO (m ³)	NÚMERO TOTAL DE PEÇAS	QUANTIDADE DE TIPOS DE PEÇAS
ITAIPU	12.600.000	93.700	163.566	154
TUCURUÍ	5.000.000	50.600	-	-
ILHA SOLTEIRA	3.700.000	50.447	30.217	-

A "cura" do pré-moldado deve ser iniciada tão logo o concreto possua rigidez suficiente para permitir essa operação. Pode também ser feita através da "Cura a Vapor" que é uma técnica adotada para finalidades especiais.

O descimbramento e a desforma são feitos em função das propriedades especificadas.

16.2. Concretos Expansivos

Durante a fase de planejamento construtivo de uma obra, entre os problemas que devam ser resolvidos encontram-se os relativos à concretagem de diversos locais com os chamados concretos em segundo estágio. Em geral, em virtude de sedimentação, exsudação e às vezes retração volumétrica, ocorrem vazios no contato, concreto-peça metálica e que devem ser devidamente preenchidos para garantir o monolitismo das estruturas ou a estanqueidade e a durabilidade daquela parte da obra.

Entre esses locais encontram-se tampões de túneis de desvio, adufas ou galerias de desvio, concretos envoltórios de caixa espiral e blindagens em geral.

Nesses casos torna-se necessário prover, durante o detalhamento dos projetos, dispositivos constituídos basicamente por tubulações e peças de aço que, convenientemente posicionados, permitam injeção posterior de argamassas e/ou caldas de cimento. Quando não se prevê a ocorrência desses vazios ou restam dúvidas sobre a eficácia da ligação entre concretos primário e secundário ou concreto e elementos embutidos, faz-se necessária a execução de perfurações, a partir de galerias ou outros pontos adequados que facilitam o acesso da injeção ao local duvidoso. Ambas as soluções implicam em custos às vezes elevados, que podem ser evitados.

As tentativas para o desenvolvimento de concretos que de alguma forma conseguissem ter minimizada sua exsudação e retração, vêm de longa data. A retração por secagem, indesejável em todas as aplicações do concreto, infelizmente aparece, em graus variáveis, na quase totalidade das obras, e entre as conseqüências por ela provocada está a fissuração do material. A sedimentação e a exsudação, muitas vezes elevadas, decorrem principalmente da necessidade de se lançar, em determinados locais, concretos de maior plasticidade.

Procedimentos utilizados para minorar o problema têm consistido na criteriosa escolha e proporcionamento dos materiais, além da utilização de métodos construtivos adequados. Entre as várias medidas que se tomam, sobressaem as que dizem respeito à relação água-cimento, tipo de cimento utilizado, quantidade de cimento no concreto, tempo de cura, natureza e granulometria dos agregados.

A busca de respostas para esse problema levou os pesquisadores, entre outras soluções, aos concretos com expansores.

A intenção fundamental na utilização deste último é a de eliminar os problemas ocasionados pela contração mediante uma expansão controlada.

Como exemplo de um planejamento dessa situação pode-se citar a concretagem dos túneis-chavetas da fundação da Barragem Principal de Itaipu [16.1], [16.2], projetados para melhorar as condições geomecânicas do maciço de fundação.

Sendo a Barragem Principal de Itaipu do tipo gravidade aliviada, optou-se pelo lançamento de concreto por gravidade, desde o nível de fundação até os túneis escavados, através de furos executados na rocha entre as "almas" dos blocos.

As Figuras 16.1 e 16.2 mostram esquematicamente a "grelha" de túneis escavados para chavetamento da fundação da Barragem Principal.

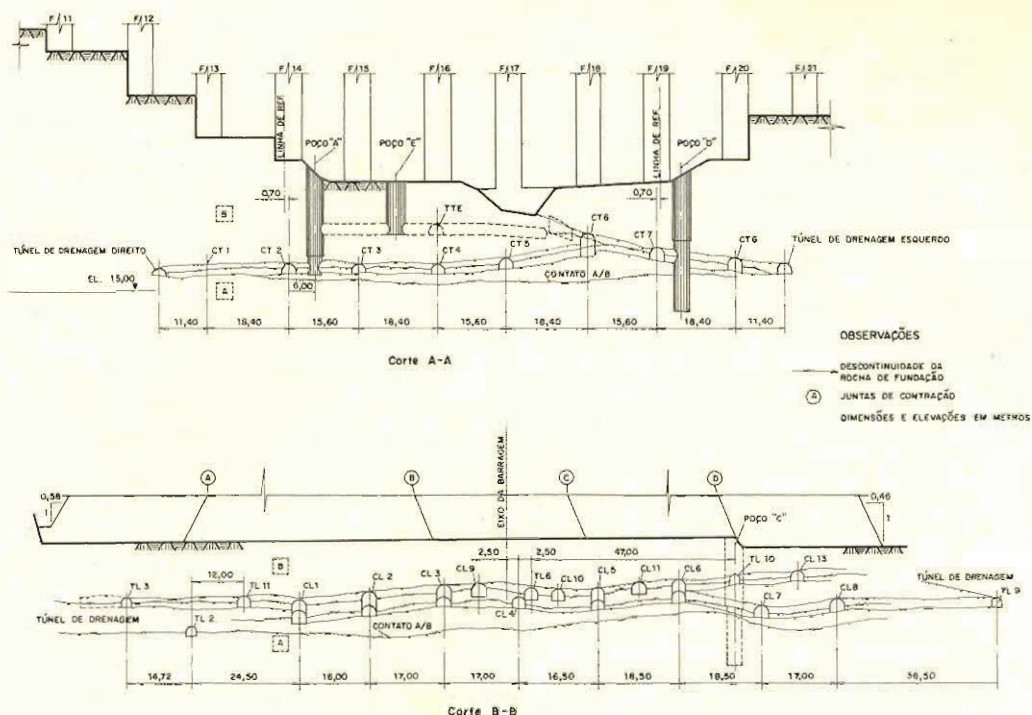


Figura 16.1-Túneis sob a Barragem Principal de Itaipu

Os equipamentos disponíveis permitiram a execução de furos de 15 a 20 cm, sendo, em geral, usados diâmetros de 15 cm para furos mais curtos de maior verticalidade, e diâmetros de 20 cm para os mais longos, e de maior inclinação com a horizontal.

Os túneis foram concretados em trechos de comprimento médio entre 15 e 20 m, sendo executados furos para lançamento de concreto, espaçados de aproximadamente 4 m.

A escolha da localização de cada furo foi feita de tal forma que os mesmos ficassem nos pontos mais "altos" do teto do túnel, tentando minimizar, com isso, vazios no contato superior concreto-rocha.

O lançamento do concreto foi sempre iniciado pelo furo mais afastado da fôrma, de modo a permitir maior liberdade e segurança de movimentação dos vibradoristas no interior do túnel e, principalmente, para minimizar as pressões desenvolvidas contra a fôrma.

O uso de um concreto com abatimento ao redor de 23 cm, com agente expensor, para "fechamento" de concretagem, visou melhorar o contato concreto-rocha na parte superior do túnel, onde o adensamento foi feito apenas pelos furos de concretagem.

Em alguns túneis, onde foram notadas grandes irregularidades no teto que poderiam aprisionar bolhas de ar e conseqüentemente ficariam vazios, foram colocados tubos de plásticos, com saída pela fôrma, para facilitar a expulsão do ar aprisionado.

Para verificação da eficiência do processo idealizada foram amarrados em alguns tubos sacos plásticos que indicaram a expulsão do ar.

O volume total de concreto lançado, pelo processo descrito, foi ao redor de 40.000 m³.

Injeções de contato executadas após as concretagens mostraram, pelos baixos volumes injetados, o sucesso do esquema de concretagem idealizado através do uso de concreto auto-adensável, com expensor.

A expansão dos concretos pode ser obtida, basicamente, em duas situações fundamentais:

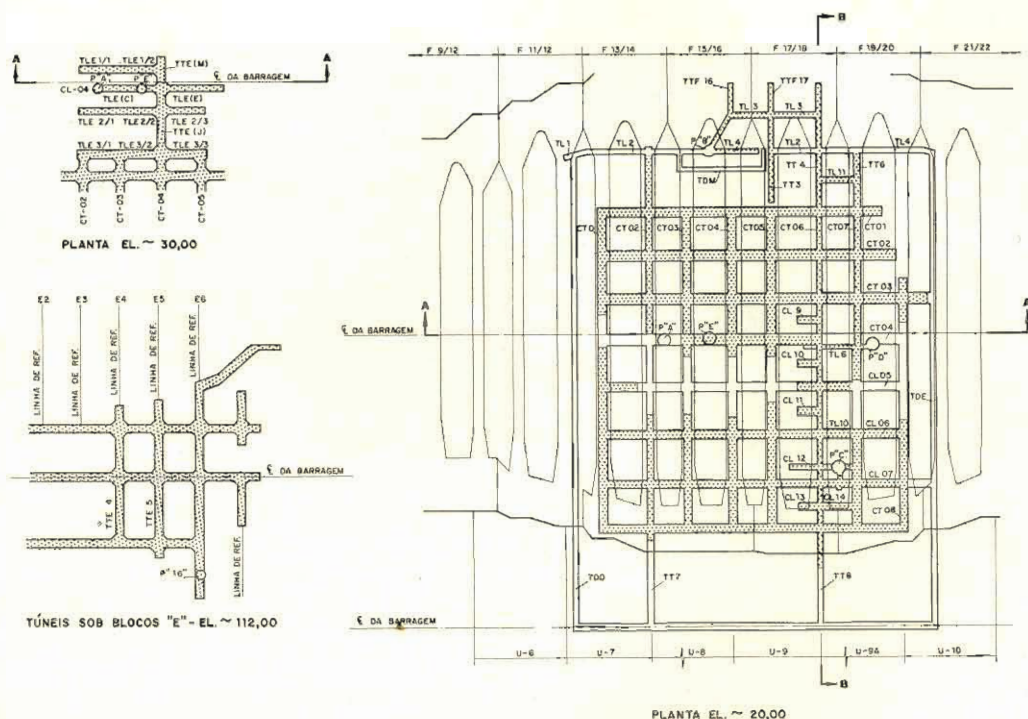


Figura 16.2 - Grelha de túneis para tratamento da descontinuidade da rocha de fundação da barragem de Itaipu

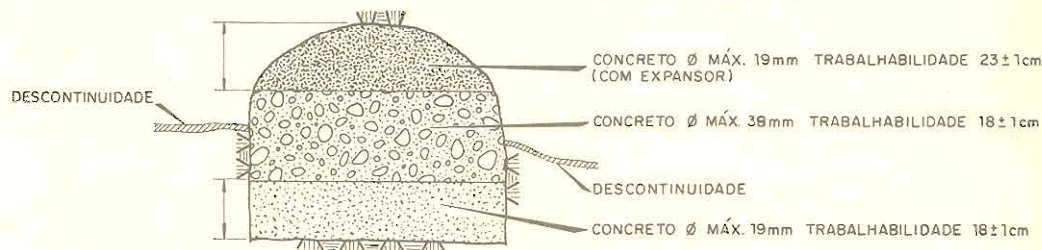
Expansão Anterior ao Início de Pega do Concreto

Esse tipo de expansão pode ser conseguida através da ação de um agente expensor adicionado como ingrediente de mistura, durante a betonagem.

Essa técnica de construção baseia-se no aproveitamento de uma expansão do concreto para combater o efetivo do seu assentamento. Os aditivos utilizados provocam, nesse caso, a expansão durante o período anterior à "pega".

Os concretos são dosados, com agente expensor em quantidade suficiente, para obter uma expansão volumétrica desejada.

Através de ensaios, executados [16.2] sobre corpos de prova moldados com concreto com e sem aditivo expensor, constatou-se que a Resistência à Compressão Axial Simples dos espécimes moldados com o concreto com expensor (para se obter uma expansão sólida de 3%), em expansão livre, é de aproximadamente 50% da Resistência à Compressão do concreto referência (sem expensor).



DISTRIBUIÇÃO DE TIPOS DE CONCRETO

Figura 16.3 - Distribuição de tipos de concreto, nas chavetas

Lembra-se, entretanto, que a utilização dos concretos expansivo geralmente se faz em locais confinados, ou seja, a expansão não se dá livremente, mas confinada. Desta forma, ao se comparar a Resistência à Compressão de espécimes moldados com concretos com expensor (para expansão sólida ao redor de 3%) em situação confinada (com pesos sobre o topo do corpo de prova), com espécimes de concreto referência (sem expensor), observou-se que o concreto referência apresenta resistência, em média, 20% superior ao concreto com expansão confinada.

Essa diferença cai para valores entre 10% e 5% se, além de haver o confinamento, se aplicar uma contrapressão através de uma coluna de concreto fresco, permitindo então um melhor adensamento do concreto.

É importante salientar que, ao se propiciar uma expansão sólida (ao redor de 3%) em situação confinada, a expansão pode atuar com uma pressão contra o elemento confinante (no caso as blindagens).

Através de ensaios efetuados, colocando-se os pesos no topo do espécime com intuito de controlar o confinamento (ver Figura 16.4) determinou-se que a pressão devido à expansão confinada de 3% está ao redor de 300 g/cm^2 .

Expansão Posterior à Pega do Concreto

A expansão do concreto neste processo é obtida posteriormente à "pega" do concreto, a partir de alterações - anteriores ou posteriores - das reações de hidratação, sendo que os processos usuais são:

Sulfo-Aluminatos de Cálcio

Praticamente, o início da história dos cimentos expansivos está associada à descoberta, por Candlot, em 1890, da reação entre o sulfato de cálcio hidratado e o aluminato.

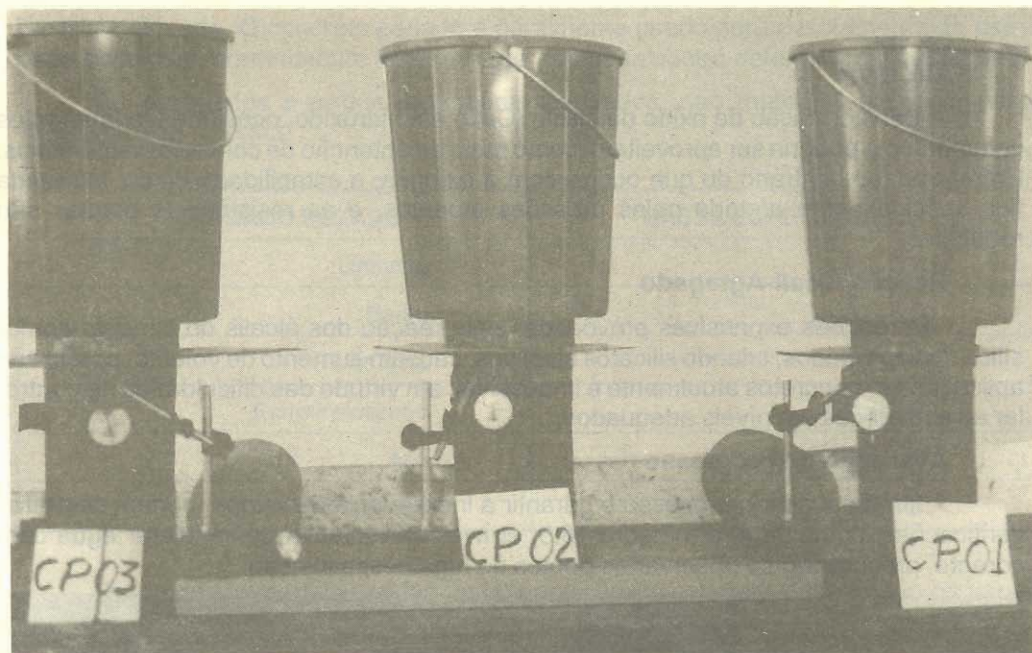


Figura 16.4 - Esquema de ensaio para determinar a pressão de confinamento devido a expansão - Tucuruí

Como resultado de reações químicas, produzidas através da hidratação dos compostos do cimento, é provocada uma expansão que está intimamente associada à formação de Etringita.

Esse produto começa a formar-se durante a mistura dos componentes, água e aglomerantes, e pode continuar a desenvolver expansões significativas mesmo após o concreto já ter atingido elevadas resistências.

A grande vantagem que existe na utilização desse método reside no fato de se poder controlar a formação de etringita, de maneira que a expansão ocorra quando o material já atingiu um certo nível de resistência, não havendo portanto perda das forças criadas, o que ocorreria caso o concreto ainda estivesse em estado plástico ou semi-plástico [16.3].

Óxido de Magnésio

A transformação de óxido de magnésio (Periclase) em hidróxido de magnésio (Brucita), sob determinadas condições provoca aumento de volume. Diversas tentativas têm sido efetuadas para aproveitar essa reação e conseguir-se um concreto expansivo em virtude da abundância do material na crosta terrestre, o que baratearia sobremaneira o custo.

Entretanto, os ensaios até agora efetuados, principalmente na Universidade de Berkeley (Califórnia - EUA), mostraram que as violentas expansões, que podem ser obtidas, são de difícil controle.

Cal Livre

A transformação do óxido de cálcio (CaO) em hidróxido, ocasionando aumentos volumétricos, poderia ser aproveitada como meio de obtenção de concretos expansivos. Entretanto, ao contrário do que ocorre com a etringita, a estabilidade da cal hidratada fica sensivelmente afetada pelas pressões atuantes, e as resistências obtidas são reduzidas.

Reação Álcali-Agregado

As reações expansivas provocadas pela reação dos álcalis do cimento com a sílica dos agregados, criando silicatos alcalinos, causam aumento de volume, porém sua aplicação em concretos atualmente é impossível, em virtude das dificuldades de controlar as expansões em níveis adequados.

Avaliação do Progresso

A fim de avaliar o processo e garantir a inexistência de vazios, podem ser feitas verificações, como sugere a Figura 16.5, através da tentativa de se injetar água com corante, procurando-se observar os pontos de fuga dessa injeção.

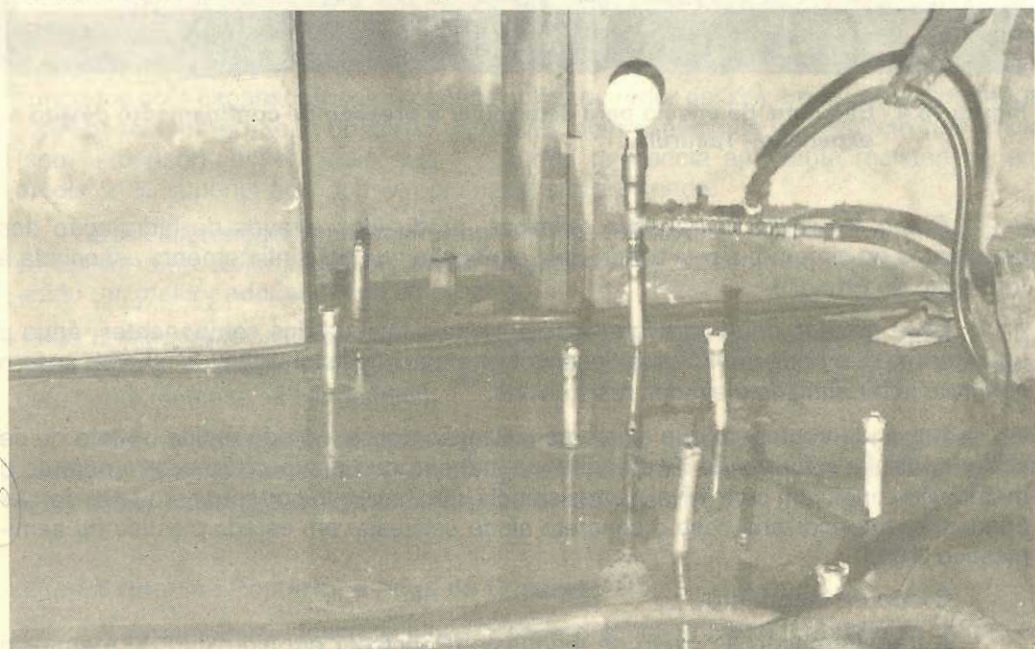


Figura 16.5 - Ensaios do tipo "perda d'água" para verificação de eventuais vazios sob a blindagem. [16.2]

16.3 . Concreto Pesado (Elevada Massa Específica)

O concreto pesado, ao contrário do concreto leve, é obtido a partir de agregados com elevada massa específica. Tendo em vista os cuidados técnicos para obtenção dos agregados, manuseio, produção e lançamento desse tipo de concreto, seu custo é

bastante elevado. O concreto pesado é geralmente usado para o isolamento de estruturas especiais, normalmente aquelas para proteção contra determinadas radiações.

Os agregados pesados, normalmente usados, são materiais ferrosos, como exemplificado a seguir:

AGREGADO PESADO	MASSA ESPECÍFICA t/m ³
Limonita	3.45 - 3.70
Barita	4.20 - 4.30
Hematita	4.40 - 4.60
Ferro Pelotizado	6.00 - 7.00
Aço	7.85
Magnetita	4.30 - 4.55

Os demais materiais usados na composição do concreto pesado são os usuais para o concreto convencional.

O proporcionamento dos concretos com agregados pesados pode ser feito da mesma maneira que o concreto convencional.

Cuidados suplementares devem ser tomados durante a produção, transporte e lançamento desses concretos, isto devido aos problemas que podem ocorrer, nos escoramentos das fôrmas, suportes de tremonhas (chutes), capacidade de guindastes, dimensões e caçambas.

Os valores das propriedades apresentadas pelos concretos com agregados pesados, são semelhantes, a não ser os da massa específica, aquelas apresentadas pelos concretos convencionais.

Um dos processos mais adequados para a colocação do concreto pesado é o do concreto com agregado pré-colocado.

16.4. Concreto com Adensamento e Acabamento por Processo a Vácuo

O concreto processado a vácuo é resultante da aplicação de vácuo nas superfícies do concreto fresco, "enformado" ou não. O processo permite extrair parte da água (de trabalhabilidade) até alguns centímetros de profundidade do concreto, dando um efeito de adensamento. Isto é devido à densificação da pasta pela retirada da água e do ar da massa de concreto. Esta densificação e redução da relação água/cimento acarretam sensíveis aumentos nas resistências à compressão. A durabilidade e a resistência à abrasão e erosão são aumentadas. O concreto processado a vácuo possibilita também uma solidificação rápida da região próxima à superfície.

O concreto com acabamento por processo a vácuo foi estudado pela primeira vez no Brasil pela CEMIG [16.4] para aplicação na laje da calha do vertedouro da obra de Emborcação - MG.

O processo consiste em estabelecer vácuo por aspiração entre uma manta impermeável e a superfície do concreto fresco, da ordem de 80 na 90%, estabelecendo uma pressão de 0,8 a 0,9% kgf/cm^2 na superfície do concreto, mediante a atuação da pressão atmosférica. Entre a manta impermeável e o concreto é colocada uma tela reticulada de plástico e um tecido sintético poroso, que tem como respectivas funções criar um caminho de percolação para facilitar a retirada da água e servir de filtro para impedir que os finos do concreto sejam carregados com água. Para avaliação do processo são efetuadas simulações de aplicação, bem como a adequação do dimensionamento das misturas.

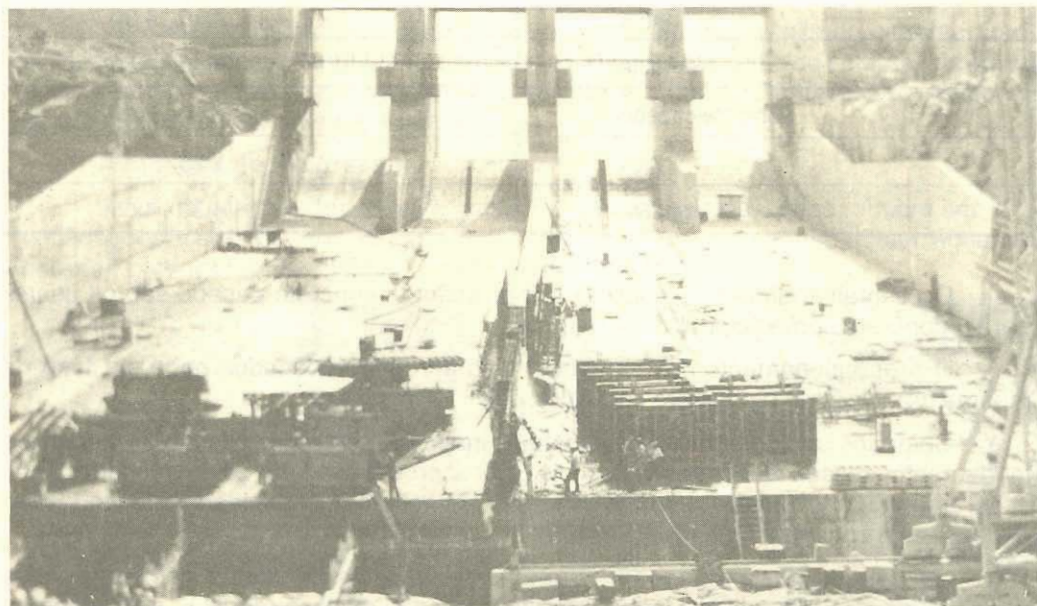


Figura 16.6 - Vista da calha do vertedouro da Usina de Emborcação - CEMIG, onde se aplicou a técnica do concreto com acabamento por processo a vácuo.

Os concretos são caracterizados pelos ensaios de resistência à tração na flexão e compressão axial, sendo que os corpos de prova são submetidos a tratamento a vácuo através da utilização de pequenas mantas.

Os resultados das determinações da resistência superficial nos concretos tratados a vácuo, obtidos através de esclerometria, indicaram um incremento significativo da ordem de 40% para concretos com relação água/aglomerante acima de 0,480 aos 28 dias.

Os resultados de resistência à compressão axial obtidos através de corpos de prova cúbicos indicam um aumento da ordem de 10 a 20% para concretos com relação água/aglomerante acima de 0,480, igualmente aos 28 dias.

A diferença observada entre os resultados dos ensaios de compressão axial e esclerometria, deve-se ao fato de que o processo de tratamento a vácuo, tal como utilizado, conduz ao aumento de resistência principalmente nas imediações da superfície.



Figura 16.7 - Avaliação do processo, através de moldagem de vigas para ensaios de flexão - Emborcação

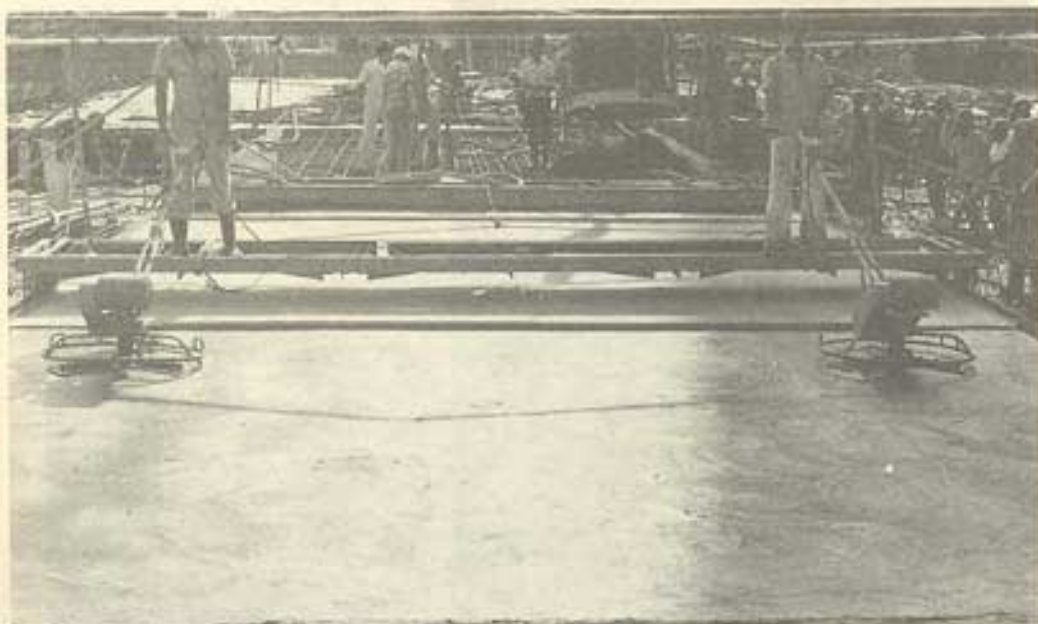


Figura 16.8 - Concreto com tratamento a vácuo aplicado no vertedouro de Emborcação

16.5. Concreto Bombeado

O concreto bombeado pode ser entendido como sendo o concreto transportado por tubulações, rígidas ou flexíveis, através de pressão e descarregado diretamente na área desejada. O bombeamento pode ser usado em um grande número de construções, porém é especialmente utilizado onde o acesso, ou espaço, não permite o emprego de processos convencionais.

As tubulações podem ser flexíveis ou rígidas e serem de aço, plástico e ligas metálicas leves. Em se usando tubulações de alumínio, deve ser verificado se o efeito abrasivo do concreto junto às tubulações não provoca desgaste da mesma, cujo material (alumínio) pode provocar expansão no concreto.

O concreto bombeável, embora seja proporcionado com os mesmos ingredientes de um concreto convencional, deve ser dada atenção ao teor de argamassa e ao controle de qualidade dos materiais e do próprio concreto. É sabido que os agregados de seixos rolados produzem concretos de fácil bombeamento.

Os concretos aplicados com bomba possuem trabalhabilidade entre 6 cm e 15 cm, sendo que os valores mais comuns estão entre 10 e 12 cm.

A dimensão máxima característica do agregado não deve ser maior que $1/3$ do diâmetro da tubulação.

O agregado miúdo deve ter módulo de finura entre 2,40 a 3,00, sendo que os valores mais elevados produzem concretos mais "ásperos". Ao se trabalhar com agregados

porosos ou de grande absorção, estes devem ser previamente saturados, para não prejudicar o bombeamento. É conveniente, quando se tem linhas de bombeamento de grande comprimento, que se trabalhe com linha dupla, para garantir a sequência dos trabalhos.

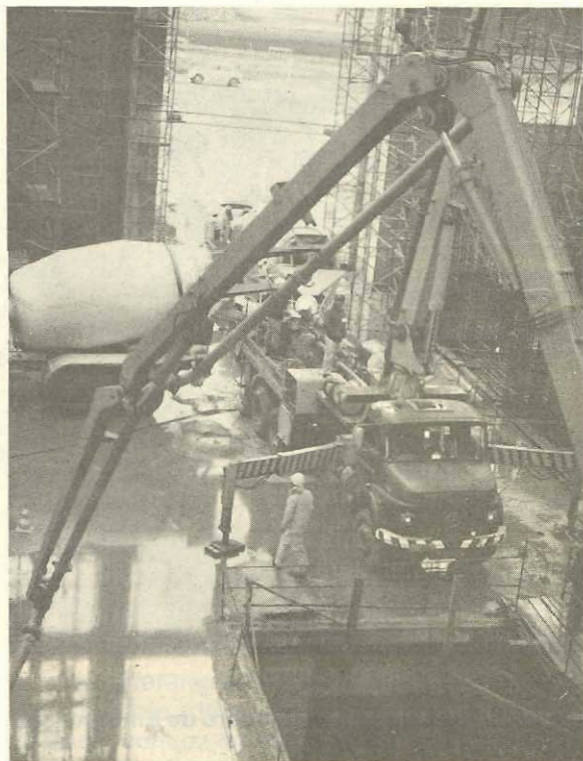


Figura 16.9 -Aplicação de concreto por bombas acopladas às alavancas móveis articuladas - Jacuí



Figura 16.10 - Concreto bombeável, bem argamassado - Pehuenche - Chile

16.6 . Concreto Fibroso.

Uma das medidas para minimizar os efeitos de abrasão e cavitação, além de otimizar a geometria da superfície, é aumentar a resistência da superfície. Uma das possibilidades é o uso de concreto fibroso.

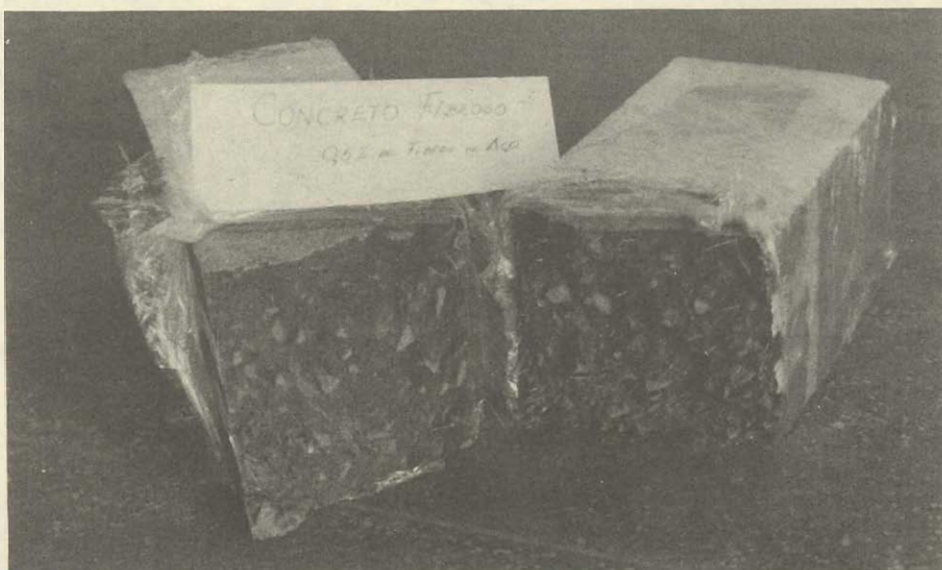


Figura 16.11 - Textura do concreto fibroso na superfície de ruptura dos corpos de prova - Itaipu.

O concreto fibroso é um concreto obtido pela adição de fibras ao concreto de características convencionais.

Um amplo estudo das propriedades de concreto fibroso foi efetuado, no Brasil, pelo laboratório de concreto da Itaipu Binacional em 1979 [16.5], com vistas a uma aplicação experimental e comparativa.

O modelo reduzido de estudos hidráulicos, do vertedouro de Itaipu, mostrou uma região de turbulência na parte de jusante do pilar da estrutura.

Para minimizar a ação de desgates da soleira, foi proposto aplicar o concreto fibroso em uma das calhas (o vertedouro de Itaipu possui três calhas), em uma área de aproximadamente 50 m^2 , a jusante de cada pilar.

A aplicação foi efetuada como uma alternativa a ser comparada com concreto convencional usado nas demais áreas.

Os estudos foram feitos com dois tipos de fibras, longas e curtas.

As fibras de aço longas ($L = 38 \text{ mm}$, $D = 0,4 \text{ mm}$ e $L/D = 95$) foram usadas durante a primeira fase dos estudos. A dosagem da mistura foi feita para concreto com agregado de dimensão máxima característica de 19 mm (adequado ao acabamento de superfícies de escoamento hidráulico), sendo que a adição das fibras longas foi feita lentamente, durante a "betonagem" do concreto, com a betoneira em movimento, com auxílio de uma malha de abertura 1 cm . Esse procedimento evitava a formação de bolas de Fibras. Observou-se com fibras com relação $L/D = 95$ obtém-se mistura homogênea com teor máximo de fibras de $1,0\%$ (em volume sólido de concreto).

Esse tipo de fibras (longas com $L/D = 95$) requer um concreto superargamassado.

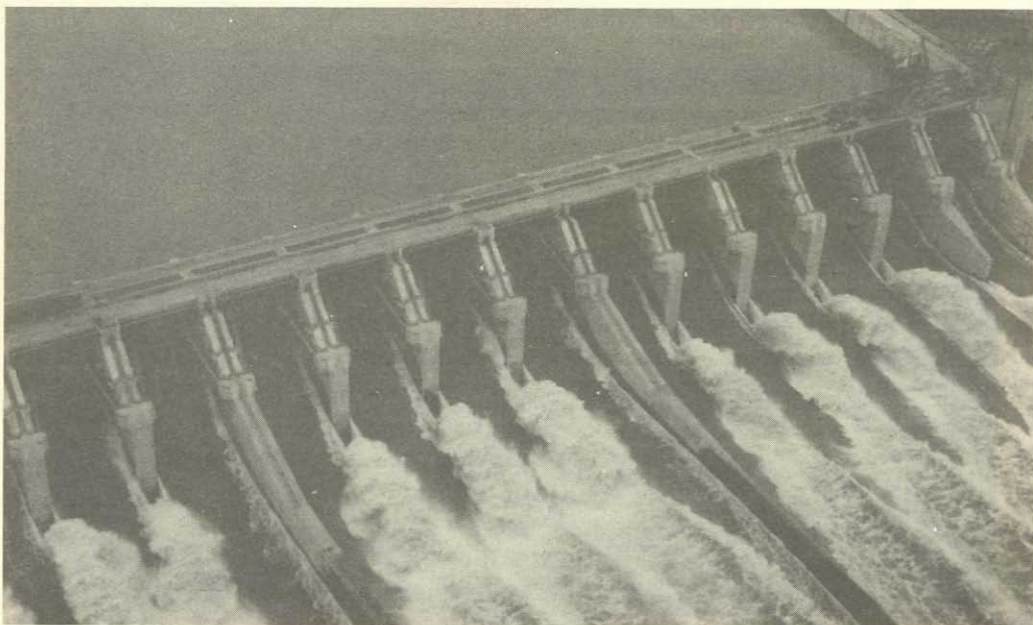


Figura 16.12 - Vista das calhas do vertedouro de Itaipu, e a turbulência à jusante dos pilares. Na região da calha esquerda, foi aplicado concreto fibroso

As fibras de aço-curtas ($L = 25 \text{ mm}$, $D = 0,4 \text{ mm}$ e $L/D = 62,5$) foram usadas na segunda fase dos estudos, atingindo-se teores de 2,0% de fibras. Ambas as fibras produzidas no Brasil apresentavam Resistência a Ruptura por Tração de 140 kgf/mm^2 .

O concreto fibroso com fibras curtas ($L/D = 62,5$) tem um desempenho superior quando comparado com o concreto com fibras longas ($L/D = 95$), como mostra a Figura 16.13.

A capacidade de alongamento do concreto fibroso apresenta-se nitidamente superior à dos concretos convencionais, sendo essa a propriedade marcante do concreto fibroso.

A aplicação foi efetuada como uma alternativa a ser comparada com concreto convencional usado nas demais áreas. A inspeção periódica permitirá avaliar comparativamente o comportamento desses tipos de concretos.

16.7. Concreto Compactado a Rolo Vibratório - CCR

O conceito do concreto compactado a Rolo, provavelmente teve origem nas conferências de Asilomar - Califórnia - EUA., em março de 1970 [16.6]. Nessas conferências foram apresentados trabalhos comentando a aplicação dos equipamentos de enrocamento nas construções em concreto e reportando alguns ensaios efetuados.

No Brasil, sabe-se da aplicação do CCR na obra de São Simão por volta de setembro/outubro, 1977 [16.7] para enchimento das aberturas de desvio da tomada Baixa.

Em 1976 foi feita uma aplicação do concreto rolado na construção de contrapiso de almoxarifados no canteiro de obra de Itaipu.

Em abril/maio de 1978 houve outra aplicação de CCR na obra de Itaipu, para enchimento de uma rampa de acesso (as fundações da estrutura de desvio). O volume utilizado foi de aproximadamente 26.000 m^3 [16.8].

A partir de 1979 estudos e aterros-modelo foram executados em Tucuruí, com vistas a eventual aplicação em estruturas na obra da barragem de Tucuruí [16.9].

Em abril/1982 o CCR foi aplicado pela primeira vez, no Brasil, em construção de estrutura permanente, em parte de cabeça demontante das eclusas de Tucuruí (ver Figuras 16.14 e 16.15).

O concreto compactado a rolo vibratório é um concreto "seco", que é consolidado por vibração externa através de rolo vibratório. Difere do concreto convencional principalmente devido à consistência. Para que possa ser consolidado, o CCR deve ser suficientemente seco para suportar o peso do equipamento de vibração.

Além dos ensaios normais de rotina para caracterização dos materiais componentes do concreto, são executados ensaios para verificar a homogeneidade e características das misturas.

A trabalhabilidade desse tipo de concreto não pode ser medida através do método usual de abatimento do tronco de cone (Slump), pois o mesmo não possui trabalhabilidade, e o adensamento através de vibradores de imersão não é adequado para concretos "no slump", para controle de resistência nos moldes cilíndricos convencionais, nem para determinação do teor de ar incorporado.

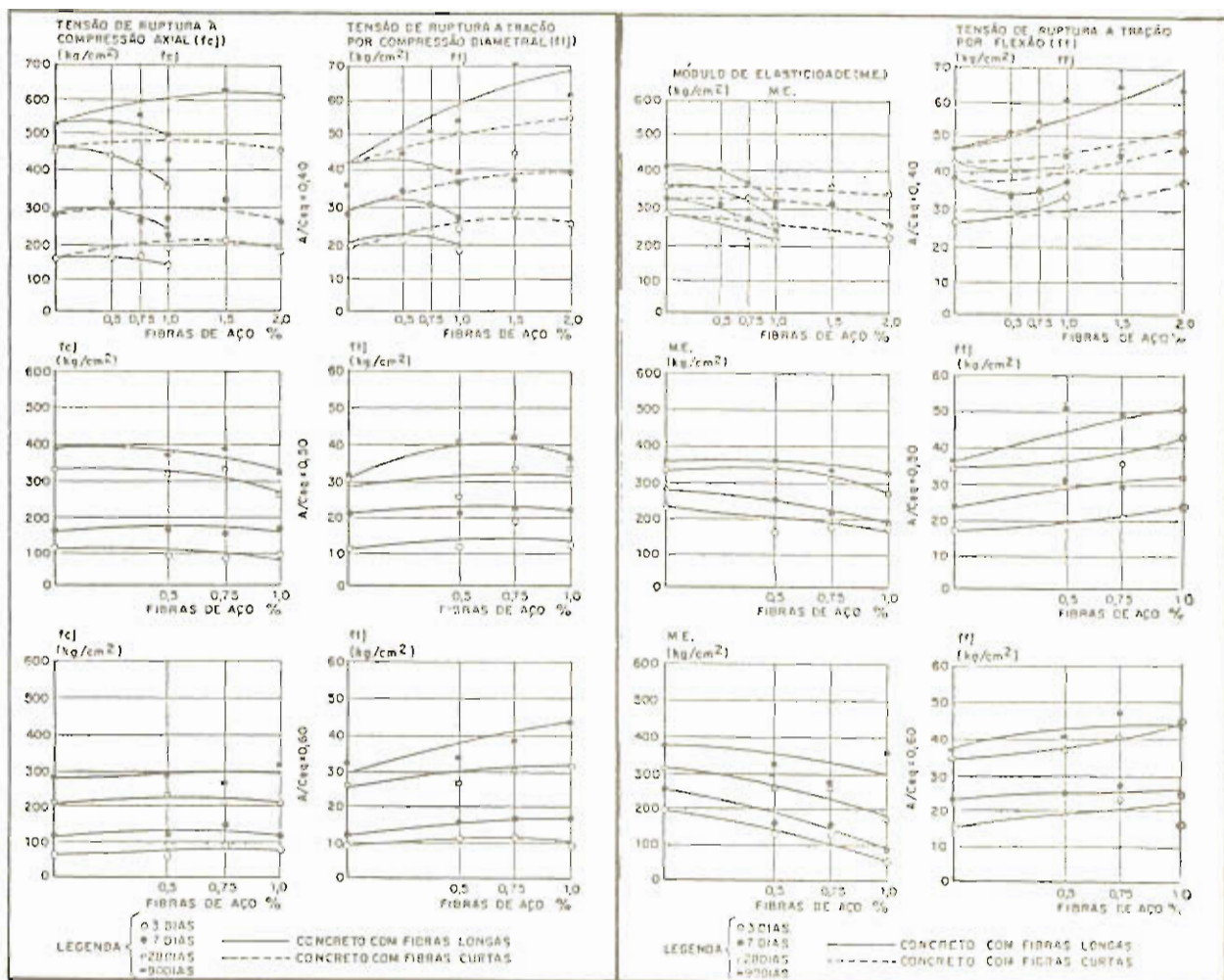


Figura 16.13 - Valores de ensaios com concretos com e sem fibras [16.5].



Figura 16.14 - Aplicação do concreto adensado com rolo vibratório, em estruturas permanentes, pela primeira vez no Brasil - Abril 1982 - Eclusas de Tucuruí - Eletronorte



Figura 16.15 - Adensamento do concreto, pela ação do rolo vibratório liso-Tucuruí.

Para a moldagem de corpos de provas D 15 x 30 cm, pode ser utilizado o aparelho Vebe como mesa vibratória, sendo o adensamento auxiliado por um peso adicional, colocado sobre a mistura.

Os valores alcançados para módulo de elasticidade do CCR (ao redor de 300.000 kgf/cm²) são da mesma ordem de grandeza do concreto convencional. A resistência à tração por compressão diametral apresenta-se da mesma ordem em relação aos concretos convencionais (em torno de 1/10 da resistência à compressão).

A construção de obras de grande porte, principalmente hidrelétricas, tem levado os tecnólogos à pesquisa de materiais e processos de construção que permitam o lançamento de grandes volumes de concreto em curtos espaços de tempo.

São, porém, notórias as limitações de volumes e velocidades de aplicação de grandes massas de concreto, em função, principalmente, dos problemas decorrentes das reações exotérmicas de hidratação do cimento.

A fim de minimizar ou contornar os efeitos desse fenômeno, pesquisas foram feitas para desenvolvimento de materiais, tais como cimentos de baixo calor de hidratação, uso de agregados de grande bitola, com intuito de diminuir o consumo de cimento, uso de material pozolânico, bem como técnicas de pré e pós-resfriamento de concreto. A partir do início dos anos 70 foi dada grande atenção às pesquisas e algumas aplicações de uma nova técnica de proporcionamento de misturas, de tal forma a adaptar o processo executivo de construção de barragens de enrocamento e terra à construção de obras de concreto.

A este conjunto (proporcionamento e lançamento) chamou-se de "Concreto Adensado com Rolo Vibratório" - Roller Compacted Concrete - "Rollcrete" - "CCR" - "RCC" ou "Concreto Rolado".

Esta técnica, onde é usada uma mistura sem abatimento, com aspecto arenoso, permite um lançamento contínuo e pode possibilitar economia de tempo e custo na construção de barragens de concreto.

As referências bibliográficas [16.10] [16.11] [16.12] [16.13] [16.14] [16.15] [16.16] fornecem amplos detalhes técnicos sobre a técnica do concreto rolado, bem como materiais usados, proporcionamento e das propriedades.

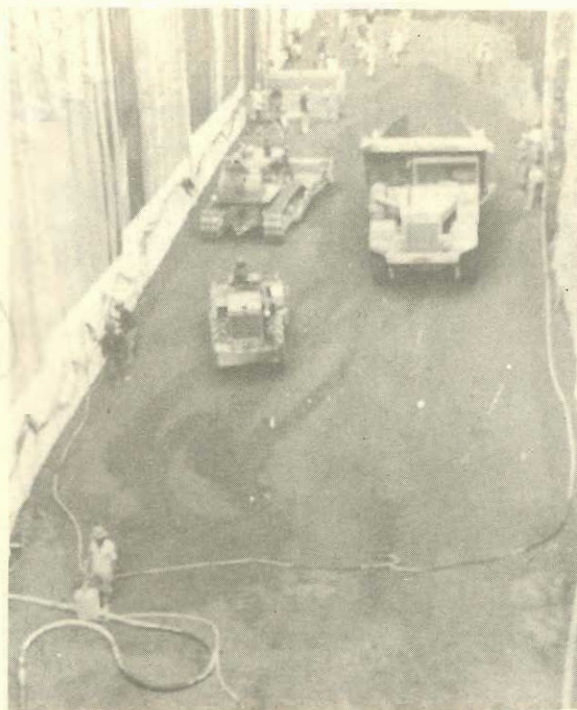


Figura 16.16 - Parte da rampa de acesso desde o leito do Canal de Desvio (El. 83,00) até a fundação (El. 63,00) da estrutura de Controle de Desvio de Itaipú, onde se aplicou, 26.000 m³ de concreto rolado, em 1978



Figura 16.17 - Basculamento do CCR, na construção da Barragem de Capanda - Angola



Figura 16.18 - Espalhamento e compactação do CCR, nos blocos da cabeça da Eclusa - Tucuruí

16.8. Concreto com Agregado Pré-Colocado

O concreto com agregado pré-colocado é obtido através da injeção de argamassa nos vazios de uma massa compactada de agregados graúdos limpos e graduados. Antes da colocação na fôrma, o agregado deve ser lavado e peneirado para remover as frações finas. À medida que a argamassa é injetada nas fôrmas, ela desloca a água e enche os vazios, produzindo um concreto denso e com um alto conteúdo de agregado. O concreto agregado pré-colocado é especialmente adaptado para concretagens submersas (Figura 16.19) e para reparos em concretos. Outras aplicações que este tipo de concreto têm sido utilizado é em pilares de pontes, barragens, reator atômico etc.



Figura 16.19 - Concretagem submersa com agregado pré-colocado para fixação de ancoradouro (Duque D'Alba) de porto - Obra Água Vermelha [16.17]

Embora o concreto com agregado pré-colocado tenha nas primeiras idades uma evolução da resistência menor que o concreto convencional, contendo agregado com D Máx. de 38 mm, aos 90 dias a resistência é aproximadamente a mesma. Com relação à retração por secagem, tem-se que, concretos com agregados pré-colocado, com dimensão máxima característica de 38 mm, e submetidos a uma cura adequada, apresentam retração por secagem variando entre 200×10^{-6} a 400×10^{-6} , enquanto no concreto convencional, com a mesma dimensão máxima, a retração varia entre 400×10^{-6} a 600×10^{-6} .

O módulo de elasticidade do concreto com agregado pré-colocado é superior ao concreto convencional. Este tipo de concreto apresenta boa aderência ao concreto velho.

A argamassa deve consistir de areia, com a mesma granulometria para concreto, cimento e água, misturados a altas velocidades, atingindo uma consistência adequada. Alternativamente, as argamassas podem ser compostas de areia fina, cimento Portland, material pozzolânico e aditivos para aumentar a fluidez. Em alguns casos, aditivos expansores são aplicados. O cimento pode ser qualquer um que atenda aos requisitos da NBR-5732, NBR-5735, NBR-5736 da ABNT.

O agregado graúdo deve apresentar características dentro dos limites especificados para o concreto convencional. Tanto o agregado britado pode ser aplicado, como aquele proveniente de cascalheiras de leito do rio. Dá-se preferência para este último devido a sua forma arredondada.

Para economia é desejável manter o conteúdo de vazios do agregado o mais baixo possível. Este valor varia, normalmente, entre 38 e 48 por cento.

A dimensão máxima característica do agregado depende do tipo de construção e da granulometria da areia. As Figuras 16.20 e 16.21 mostram os limites e granulometrias típicas [16.18]. Quando se utiliza areia com granulometria igual a do concreto convencional, deve-se limitar a dimensão mínima do agregado em 38 mm. Quando se utiliza areia fina, indicada na Figura 16.20, a dimensão mínima deve ser limitada em 12,5 mm.

TAMANHO DA PENEIRA	PORCENTAGEM PASSANDO	
	GRADUAÇÃO 1 PARA AGREGADO GRAÚDO COM TAMANHO MÍNIMO DE 12,5 mm	GRADUAÇÃO 2 PARA AGREGADO GRAÚDO COM TAMANHO MÍNIMO DE 38 mm
AGREGADO GRAÚDO		
1 1/2 pol. (38,1 mm)	95 - 100	0 - 5
1 pol. (25,4 mm)	40 - 80	-
3/4 pol. (19,0 mm)	20 - 45	-
1/2 pol. (12,7 mm)	0 - 10	-
3/8 pol. (9,51 mm)	0 - 2	-
AGREGADO MIÚDO		
3/16 pol. (4,8 mm)	-	100
Nº 08 (2,38 mm)	100	95 - 100
Nº 16 (1,19 mm)	95 - 100	80 - 90
Nº 30 (0,595mm)	55 - 80	55 - 70
Nº 50 (0,297mm)	30 - 55	25 - 50
Nº 100 (0,149mm)	10 - 30	5 - 30
Nº 200 (0,075mm)	0 - 10	0 - 10
MÓDULO DE FINURA	1,30 - 2,10	1,60 - 2,25

Figura 16.20 - Limite de granulometria para agregados miúdo e graúdo de uso em concreto, com agregado pré-colocado

GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO PORCENTAGEM ACUMULADA PASSANDO NA PENEIRA						
Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100	FUNDO	MÓDULO DE FINURA
100	97	67	31	10	0	1,95
100	98	72	34	11	0	1,85
100	96	56	36	20	0	1,92
100	94	93	53	15	0	1,47

GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO PORCENTAGEM ACUMULADA PASSANDO NA PENEIRA (POLEGADA)								
6	4 1/2	3	13/4	11/2	7/8	3/4	5/8	1/2
			100	97	45	9	2	1
		100		62		4	2	1
	100	78		40		10	2	1
100		67		40		6	2	1
		100	44		10			1(*)

Figura 16.21 - Granulometria típica do agregado para concreto com agregado pré-colocado. Granulometria utilizada em serviços na obra de Água Vermelha

Na obra de Água Vermelha utilizou-se este tipo de concreto para uma concretagem submersa, para fixação dos ancoradouros, do porto de descarga de agregados (Figura 16.19). A granulometria da areia utilizada (Figura 16.21) foi limitada pelo equipamento de injeção, e a do agregado graúdo foi assim adotada devido as frações menores da brita serem bastante lamelares, o que dificultava a injeção, conforme observado nos testes simulados Figura 16.22, [16.17].

A areia deve atender os mesmos requisitos de qualidade exigidos para o concreto convencional, podendo ser britada ou natural, dando preferência para a última devido sua forma arredondada.

Materiais pozolânicos têm sido utilizados para reduzir a exudação, melhorar as características de bombeabilidade e reduzir a segregação. Redutores de água e retardadores de pega são normalmente adicionados na mistura da argamassa para melhorar suas características de injetabilidade. Utiliza-se também expansores, como o pó de alumínio, para se obter preenchimento dos vazios dos agregados.

A argamassa deve ser proporcionada de forma que escoe livremente através dos vazios do agregado, preenchendo-os, e dê ao concreto as características previstas no projeto [16.18]. Comumente, são empregadas argamassas com proporção, em peso, de cimento:areia, variando entre 1:1 a 1:2, embora misturas mais pobres, 1:3, tenham sido empregadas. Misturas pobres devem ser preparadas em equipamentos especiais de alta velocidade de mistura. Estas misturas, com uma areia com módulo de finura de 2,75,

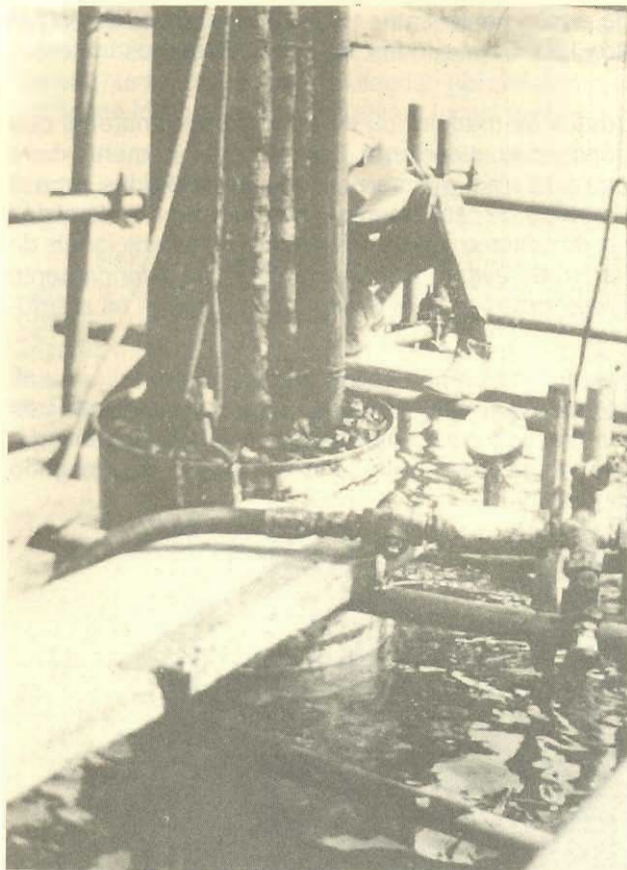


Figura 16.22 - Ensaio simulado de concreto com agregado pré-colocado, para uso em ancoradouros (tipo Duque D'Alba) - Obra Água Vermelha.

a relação água/cimento deve ser de aproximadamente 0,90. Com proporções cimento: areia, menores, a relação A/C é menor e a resistência do concreto aumenta.

Os requisitos de resistência e injetabilidade limitam a quantidade de areia a ser utilizada. Para os concreto estruturais normais, deve ser utilizada a proporção de 1:1 (cimento + pozolana: areia, em peso). A proporção em peso cimento: material pozolânico, utilizada em várias obras, varia de 1:1 até 9:1, sendo 2:1 empregada com maior frequência. No serviço de Água Vermelha, devido às limitações do equipamento de injeção, foi utilizada uma proporção em peso de aglomerantes para areia de 1,25:0,625 (com 4:1 - em peso - de cimento para o material pozolânico) e a relação água/(cimento + pozolana) igual a 0,50, com a introdução de 0,25% de pó de alumínio em relação ao peso de cimento.

A consistência pode ser medida através de vários métodos. Um método bastante utilizado é o recomendado pelo U.S. Army, Corps of Engineers, designação CRD-C 79. Neste método é utilizado um cone com um orifício na parte inferior; este cone é preenchido com um determinado volume de argamassa, e em seguida é permitido seu escoamento por gravidade, medindo-se o tempo necessário para o escoamento de toda a argamassa do cone.

Recomenda-se um tempo de escoamento entre 18 e 22 segundos. Em Água Vermelha este tempo foi fixado entre 10 a 14 segundos, devido a limitações impostas pelo sistema de injeção.

As fôrmas podem ser construídas de madeira ou de aço ou outro material que também sejam adequados para o concreto convencional. Para dimensionamento deve ser levado em consideração pressões laterais maiores do que as adotadas para o concreto convencional, devido ao método de lançamento. Deve-se tomar, além dos cuidados recomendados para fôrmas do concreto convencional, cuidados adicionais de modo a vedar todas as aberturas, a fim de evitar vazamentos. Durante o lançamento deve-se ficar atento quanto a possíveis vazamentos e vedar imediatamente as aberturas, pelo lado de fora.

Este sistema é constituído pela tubulação de injeção propriamente dita e pelos tubos que ficam inseridos na massa de agregado, (Figura 16.23), possuindo três funções: transportar e injetar a argamassa dentro do agregado previamente colocado, serve como um meio de medir a elevação da argamassa dentro da massa de agregado e funciona com um escape para a água e ar.

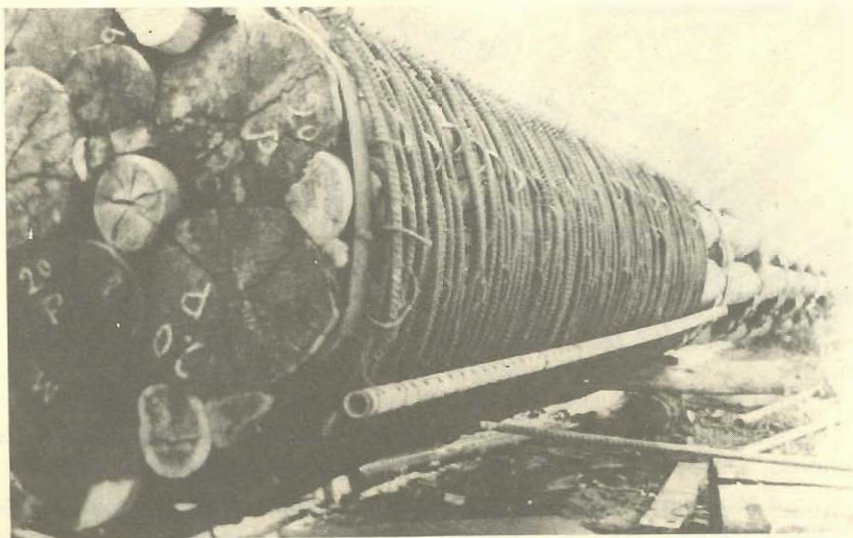


Figura 16.23 - Sistema de tubulação utilizado nos ancoradouros na obra de Água Vermelha-[16.17]

Para que se obtenha sucesso na injeção este sistema deve ser bem projetado e planejado. A tubulação de injeção deve ter um comprimento mínimo possível; o sistema mais simples e mais seguro é constituído de um tubo apenas, devendo possuir um retorno para o tanque de agitação. O diâmetro do tubo deve ser tal que a velocidade de injeção de argamassa varie entre 0,6 a 1,2 m/s, ou numa razão de bombeamento de $0,03 \text{ m}^3/\text{min}$, através de um tubo de 25 mm. A tubulação que fica inserida na massa de agregado pode ser removida durante a injeção ou ficar na massa. Neste último caso, a injeção é feita enfiando o tubo de injeção, que deve ser flexível, dentro da tubulação previamente colocada. Esta tubulação deve ter diâmetro pouco maior que a tubulação de injeção e ser perfurada (diâmetro de 50 mm com furos de 20 mm, distribuídos em direções perpendiculares tem se mostrado adequado). No processo de retirada destes

tubos durante a injeção, que é o mais usado, normalmente, utiliza-se tubos com diâmetro de 20 a 25 mm, ou mais, em caso de concreto massa. Devem ser utilizadas conexões de engate rápido. Estas tubulações normalmente são verticais, podendo ser utilizadas posições inclinadas para se atingir locais particularmente difíceis.

Para planejamento da distribuição da tubulação é adotado um talude argamassa de 1:4 em lançamento a seco e 1:6 para o submerso, sendo que a distância entre tubos varia de 1,0 a 3,5 m, e normalmente são utilizadas malhas de 1,5 a 2,0 m.

Para controle de nível da argamassa durante a injeção, deve-se prever tubos perfurados previamente. Dependendo do tipo de serviço deve-se prever tubos de controle de nível entre 4 a 10 tubos de injeção. A determinação do nível é feita introduzindo-se uma linha com peso na ponta, de tal forma que ele afunde na água e flutue na argamassa. Em Água Vermelha foi utilizado como "peso", um corpo de prova cilíndrico de 5 x 10 cm, feito com uma argamassa de densidade intermediária entre a água e a argamassa em uso (ver Figura 16.24).

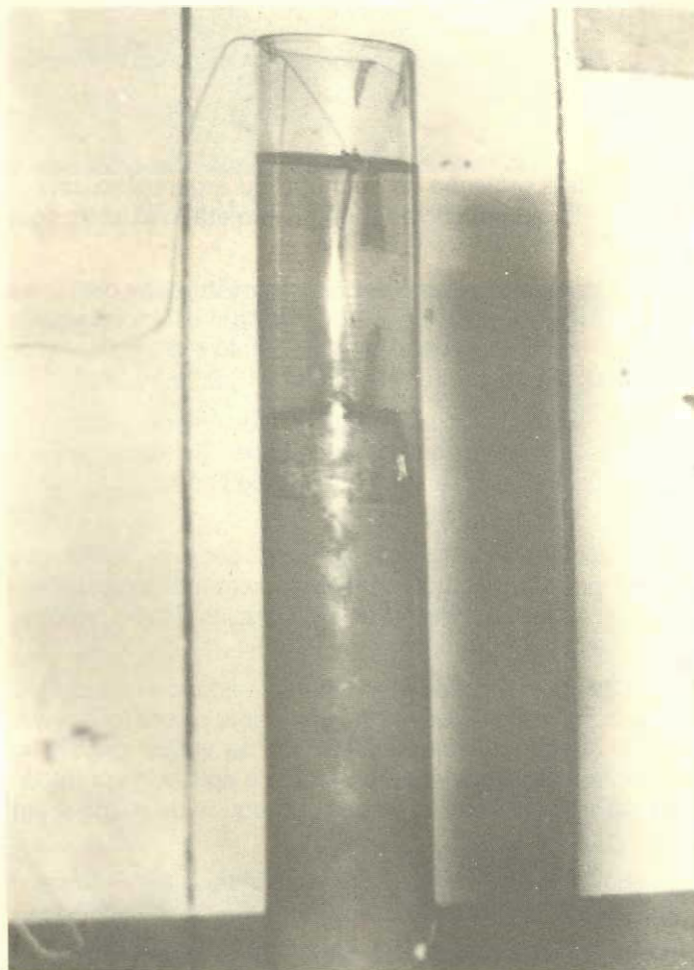


Figura 16.24 - Medidor de nível - [16.17]

Para lançamento do agregado deve-se preparar as fundações, ou juntas de concretagem, seguindo as mesmas recomendações indicadas para o concreto convencional. Durante o lançamento deve-se evitar a segregação ou quebra dos agregados, utilizando-se para isso sistemas e alturas adequadas.

A bomba de injeção deve ser tal que garanta uma injeção contínua. Deve-se, a cada turno, fazer uma manutenção e limpeza das tubulações, a fim de evitar entupimento. Deve-se, também, ter uma bomba de reserva, para substituição imediata.

As bombas devem ser equipadas com manômetros a fim de verificar se alguma anormalidade está ocorrendo nas tubulações.

Basicamente, a injeção deve iniciar no ponto mais baixo da fôrma e continuar até que o lançamento seja completado. Inicialmente, o tubo é colocado a uma distância de 15 cm do fundo da fôrma. A extremidade do tubo de injeção deve ficar imersa na argamassa 30 cm e subindo gradativamente, à medida que a injeção avança. O nível da argamassa deve ser mantido horizontalizado, evitando-se grandes taludes, o que pode propiciar a segregação da areia. Deve-se prever, também, adequada ventilação e escape para água.

A cura deste tipo de concreto deve ser feita de acordo com as mesmas recomendações indicadas para o concreto convencional.

16.9. Concreto Projetado

O concreto projetado é obtido pela projeção de concreto ou argamassa contra superfícies, através de ar comprimido. Para produção de concreto projetado existem dois processos:

- Processo de mistura seca no qual os materiais são misturados com uma umidade suficiente para evitar pó. Em seguida esta mistura é forçada através da tubulação do equipamento de lançamento e a água adicionada no bico de saída da mangueira (ver Figuras 16.25 e 16.26).
- Processo de mistura úmida no qual a água é adicionada durante a mistura dos materiais. Essa mistura é forçada através da tubulação e o ar é injetado no bico de saída, para aumentar a velocidade.

Quando o agregado graúdo é utilizado no processo de mistura seca, normalmente adiciona-se um aditivo acelerador de pega na mistura, para ajudar a manter o agregado na massa de concreto. O acelerador também produz altas resistências iniciais, necessárias em revestimento de túneis.

Com o acelerador de pega, ele adere à superfícies úmidas, vedando infiltrações de água, encontradas algumas vezes nas escavações de túneis. Tanto o concreto como a argamassa podem ser aplicados diretamente nas superfícies de vários materiais, independentemente da fôrma ou inclinação. O concreto projetado é aplicado em reparos, como cobertura protetora de paredes, estruturas de aço ou taludes de rocha e em peças finas.

A superfície a receber a cobertura com concreto projetado deve estar limpa e removido os materiais soltos, óleos, pó e outros tipos de contaminações. O concreto projetado deve ser aplicado o mais breve possível após o tratamento da superfície.



Figura 16.25 - Argamassa projetada para proteção de talude de rocha
- Serviço em execução - Obra de Rosana



Figura 16.26 - Argamassa projetada para proteção de talude de rocha
- Serviço acabado - (Ver Figura 16.25) - Obra de Rosana

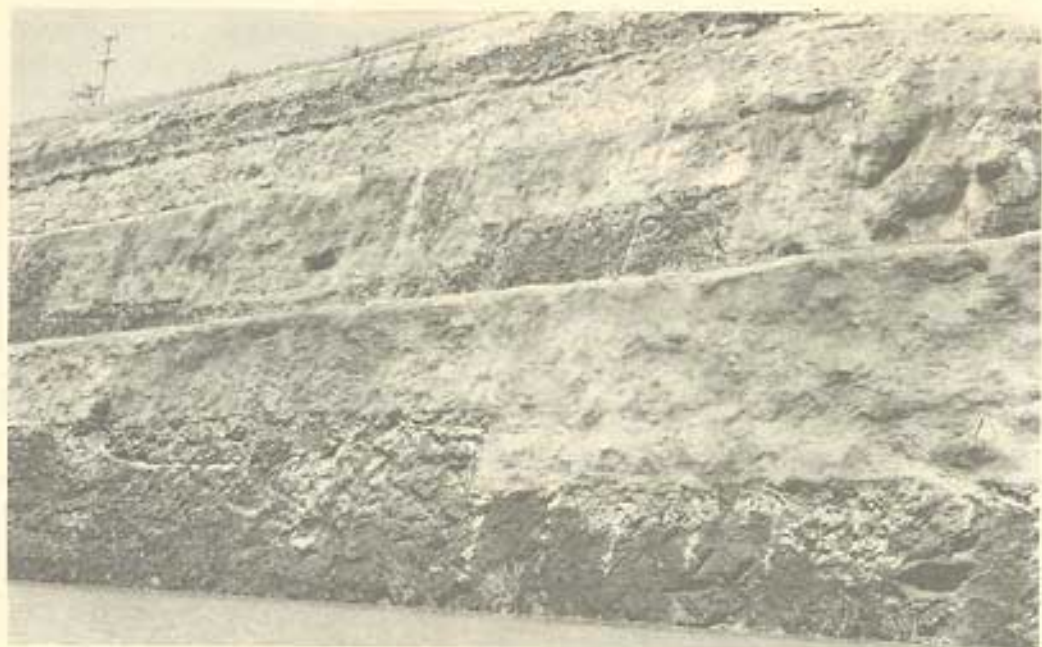


Figura 16.27 - Concreto projetado aplicado como proteção definitiva
- Canal Pereira Barreto - CESP



Figura 16.28 - Concreto projetado aplicado como proteção definitiva
- Canal Pereira Barreto - CESP

A areia para o concreto projetado deve ser bem graduada, resistente e atender as recomendações de granulometria indicada para a areia do concreto. Em concreto projetado com agregado graúdo, a quantidade de areia passando na peneira nº 100 pode ser aumentada, caso seja necessário aumentar a plasticidade e aderência, desde que os requisitos de resistência e qualidade sejam atendidos.

Em argamassa projetada produzida sem agregado graúdo e com areia mais fina que a do concreto, a superfície será mais lisa, e a reflexão (ricochete) será menor. Entretanto, neste caso, o concreto tem maior retração por secagem, bem como a tendência de entupimento da máquina será maior.

A areia, para utilização em concreto projetado, deve ter uma umidade entre 3 a 6% para uma eficiente operação do equipamento de aplicação.

Uma parte da mistura do concreto projetado é refletida na superfície, devido ao impacto. Este material que desagrega é conhecido como reflexão. A reflexão varia de 20 a 30%, dependendo da inclinação da superfície. A quantidade de reflexão tem uma tendência a aumentar com o aumento de velocidade de aplicação e com a redução da quantidade de água na mistura.

Em concreto projetado com agregado graúdo, a utilização de aditivo acelerador é quase que indispensável, caso contrário pouco material ficará aderido à superfície.

Embora a quantidade de reflexão diminua com o aumento da água, seu conteúdo deve ser limitado, pois uma mistura muito úmida pode causar o descolamento de concreto da superfície. A mistura ótima contém um pouco menos de água, que causa o descolamento, e apenas uma quantidade de cimento suficiente para proporcionar a relação água/cimento desejada. Normalmente utiliza-se 1 parte de cimento para 4,5 partes de areia, mais agregado graúdo. A relação água/cimento máxima, normalmente utilizada, sem ocorrer o descolamento, está em torno de 0,57 para superfícies inclinadas e 0,54 para tetos.

No caso de concreto com agregado graúdo a dosagem é estabelecida através de ensaios em painéis. Embora a relação de 1:4,5 seja a normalmente adotada, ela pode ser modificada para atender os requisitos de resistência. A proporção de areia para o agregado graúdo varia entre 0,55 a 0,60% em peso. Para obtenção de um concreto projetado de boa qualidade é essencial que os materiais sejam misturados, especialmente no caso de agregado graúdo e da utilização de aditivos aceleradores. O período de mistura deve ser de no mínimo 1,5 minutos, e o misturador deve ser mantido sempre limpo. As misturas devem ser aplicadas imediatamente após o proporcionamento. Caso este tempo superar uma hora, ela deve ser rejeitada. Aceleradores de pega devem ser misturados imediatamente antes da mistura ser colocada no equipamento de lançamento.

O equipamento mais utilizado para aplicação de argamassa é o do processo de mistura seca. Neste processo a mistura é colocada em uma câmara e o concreto é projetado, por meio de ar comprimido, através de uma tubulação até o bico de saída, onde a água é adicionada.

A projeção deve ser feita perpendicularmente à superfície, e o bico deve estar a aproximadamente 1 m da superfície.

A velocidade dos materiais na saída do bico depende das dimensões deste. Para bicos de 31,75 mm, a velocidade média deve ser de 145 m/s. Para acabamento de cantos, velocidades menores são mais adequadas.

Em superfícies verticais, ou tetos, para coberturas maiores de que 2,5 cm, devem ser lançadas várias camadas, a fim de evitar o descolamento. No caso de lançamento próximo da horizontal, a espessura mínima pode ser de 0,9 cm. Para evitar descolamento da camada anterior, deve-se aguardar entre 30 minutos a 1 hora para aplicação de novas camadas. No caso de utilização de aditivo acelerador, este tempo pode ser reduzido. A superfície deve estar isenta de material refletido no momento da aplicação.

O sucesso do lançamento depende em grande parte dos cuidados e da experiência dos operadores do bico e do equipamento.

Quando ocorrer ventania, o lançamento deve ser suspenso ou protegido.

O concreto projetado pode ser acabado com desempenadeira ou colher de pedreiro, da mesma forma que o concreto convencional, sem prejuízo de suas propriedades.

Para ganhar resistência, o concreto projetado deve receber uma cura adequada. Em locais onde o concreto projetado servirá apenas como proteção, a cura pode ser mínima, mas quando faz parte estrutural da construção a cura deve ser eficiente, principalmente para ambiente com menos que 85% de umidade relativa, e deve perdurar por três dias, especialmente quando ficar exposto ao sol.

A maneira mais eficiente de controle da resistência é através da extração de corpos de prova do local da estrutura. Por causa das dificuldades da extração no local, outro método também aceito é a extração de corpos de prova em painéis moldados, tal qual é executado o serviço real (Figura 16.29).

Estes corpos de prova podem ser cilíndricos ou cúbicos, devendo neste último caso a resistência obtida ser corrigida.

16.10. Concreto Leve

São considerados como concretos leves aqueles que possuem uma massa específica, aparente, menor que 1.850 kg/m³. Este tipo de concreto, quando comparado com o concreto de peso convencional, apresenta vantagens e desvantagens. As vantagens são as economias no aço estrutural e reduções nas dimensões das peças e fundações devido à redução da carga, e uma resistência melhor ao fogo e maior isolamento térmica e acústica.

As desvantagens incluem um maior custo, necessidade de maiores cuidados no lançamento, maior porosidade e maior retração por secagem.

Os concretos leves são obtidos usando-se: agregados leves; aglomerantes especiais (concreto celular) e combinações dos processos.

Segundo a massa específica aparente os concretos leves são classificados em [16.19]:

- Concreto leve de baixa massa específica aparente.
- Concreto leve de moderada resistência.
- Concreto leve estrutural.

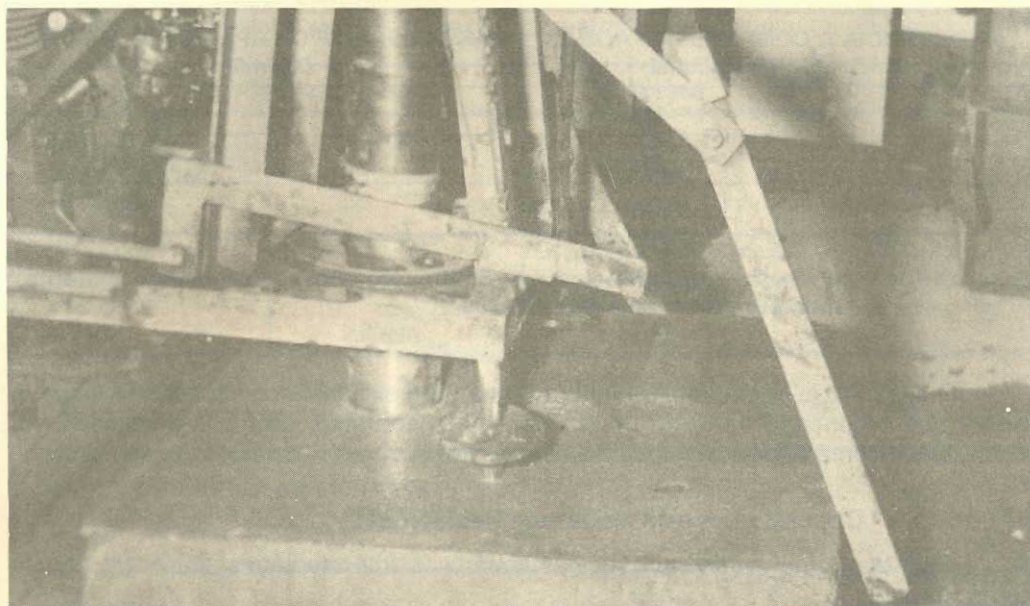


Figura 16.29 - Extração de corpos de prova cilíndricos de painéis de concreto projetado

*** Concreto leve de baixa massa específica aparente.**

Estes concretos normalmente são aplicados como material isolante. A capacidade de isolamento térmica é maior para massa específica aparente inferior a 800 kg/m^3 . A resistência deste tipo de concreto varia entre 7 a 70 kgf/cm^2 .

O concreto de baixa massa específica aparente é obtido por dois processos:

- Usando agregados leves, tais como perlita, vermiculita etc. Estes materiais são padronizados por instituições internacionais. Outro material também utilizado é o isopor, produzido em pequenas esferas (1 a 3 mm).
- Usando aglomerantes especiais misturados com certos compostos de alumínio, ou outro agente, capaz de formar bolhas de ar na estrutura do concreto.

*** Concreto Leve Estrutural**

É considerado como concreto leve estrutural quando a massa específica aparente está em torno de 1.400 a 1.850 kg/m^3 . Normalmente são utilizados como agregados, argila expandida, cinzas volantes em forma de bolinhas, escórias de alto-forno etc. Cada um destes materiais necessita de tratamento para que adquira estrutura celular. Estes materiais devem atender as exigências da EB-230 (ABNT). Segundo a EB-230 (51), este tipo de concreto deve apresentar resistência à compressão mínima, correspondentemente à massa específica aparente, conforme indicado na Figura 16.30.

Muitos destes agregados leves são capazes de produzir concretos com resistência de até 350 kgf/cm^2 .

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, MÍNIMA Kgf/cm ²	MASSA ESPECÍFICA APARENTE MÁXIMA (Kg/m ³)
280	1.840
210	1.760
140	1.680

Figura 16.30 - Correlação entre resistência à compressão e massa específica aparente - Concreto estrutural ABNT- EB-230

O concreto leve estrutural, embora tenha uma eficiência como isolante térmico, menor que o concreto de baixa massa específica aparente, devido a densidade ser maior, possui uma eficiência substancialmente maior que o concreto de peso normal.

* Concreto Leve de Moderada Resistência

Este tipo de concreto possui características intermediárias entre os citados anteriormente.

A densidade varia entre 800 a 1.400 kg/m³, e a resistência situa-se entre 70 a 140 kgf/cm².

A argila expandida é o agregado leve mais difundido no Brasil, e portanto são comentadas a seguir algumas práticas adotadas e características deste tipo de agregado e do concreto obtido com esse material.

Existem certos tipos de argila que, devido a sua composição química, quando calcinados entre 1.100 a 1.400°C, dando como produto um material com estrutura porosa e, portanto, de baixa densidade.

A calcinação da argila é feita em fornos rotativos inclinados ou em grelha fixa. No primeiro processo, o material cru é britado em dimensões adequadas ou são feitas bolinhas (pelotas) antes da calcinação. Geralmente a forma de pelotas fornece, após a calcinação, um produto aproximadamente esférico e com a superfície mais impermeável que o material cru britado. O segundo processo pode apresentar, após a calcinação, partes de argila crua que devem ser calcinados novamente.

Após a calcinação, o material é britado e resfriado, resultando um produto vesicular e de alta absorção [16.21].

A argila expandida é normalmente fabricada em duas faixas granulométricas. A seguir apresenta-se, ilustrativamente, as características de um deste tipo de material disponível no mercado.

- Tipo 1305 - que corresponde a uma granulometria entre 5 a 13 mm. Geralmente este tipo possui uma forma irregular e superfície porosa.
- Tipo 2013 -que corresponde a uma granulometria entre 13 e 20 mm. Geralmente este tipo possui uma superfície mais impermeável e sua forma é praticamente esférica.

As características médias deste tipo de material são as indicadas na Figura 16.31

PROPRIEDADE		TIPO 1305	TIPO 2013
GRANULOMETRIA (%) RETIDA NA PENEIRA	19,0 mm	-	1
	12,7 mm	-	89
	9,5 mm	5	7
	4,8 mm	85	3
	2,4 mm	10	-
MASSA ESPECÍFICA APARENTE NO ESTADO SECO SOLTO - Kg/m³		553	586
MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA NO ESTADO SATURADO SUPERFÍCIE SECA - Kg/m³		1150	1160
ABSORÇÃO		13,5	11,4

Figura 16.31 - Características do agregado leve obtido de argila expandida

O material tipo 1305 se enquadra na graduação 8 especificada pela EB-230, enquanto o tipo 2013 está próximo da graduação 5.

Além destas características são exigidos pela EB-230 (ABNT) os seguintes ensaios:

- Impurezas orgânicas - determinado pelo ensaio colorimétrico NBR - 7220 (ABNT).
- Torrões em argila - a quantidade máxima permitida é de 2% NBR - 7218 (ABNT).
- Perdas ao fogo - inferior a 5% NBR-5740 (ABNT).
- Mancharmento ASTM - C 330 - Seção 7 (h).

Ainda segundo a EB -230, o concreto feito com estes tipos de agregados deve obedecer aos requisitos de resistência à compressão e massa específica aparente, indicada na Figura 16.30, e mais as seguintes limitações:

- Retração por secagem - deve ser de no máximo 0,10%, quando determinada pelo método indicado no item 4.2.3 da EB - 230 (ABNT).
- Pipocamento - conforme método indicado no item 4.2.4 da EB 230 (ABNT).
- Durabilidade - exigido na ausência de dados comprovados sobre a durabilidade do concreto e determinado através do método de ensaio de congelamento e degelo, conforme indicado no item 4.2.5 da EB - 230 (ABNT).

As dosagens e misturas do concreto com argila expandida podem ser feitas de maneira semelhante ao concreto de peso normal. Entretanto, há algumas diferenças que devem ser consideradas para que se obtenha um produto acabado de alta qualidade. O peso e a densidade dos agregados leves são bastante diferentes e devem ser considerados criteriosamente no cálculo da dosagem. Estas propriedades influenciam também no proporcionamento das misturas durante a produção do concreto e devem ser cuidadosamente controladas.

Para uma mesma trabalhabilidade, o concreto leve apresenta um abatimento no cone igual a dois terços do concreto de peso normal. É recomendada a incorporação de ar em torno de 6 a 8%, dependendo da superfície do agregado.

Devido a grande diferença entre as massas específicas dos materiais, estes concretos necessitam de uma quantidade de areia natural maior que o concreto de peso normal, a fim de se minimizar a segregação.

Preferencialmente, os agregados leves devem ser umedecidos antes da mistura, para se evitar variações na água de mistura, devido a alta absorção e das variações que estes tipos de agregados podem apresentar durante sua utilização. No caso de não ser possível a saturação do agregado, antes da betonada, recomenda-se o seguinte procedimento para mistura.

- Colocar todo agregado leve na betoneira.
- Adicionar 80% da água de mistura mais a água de absorção.
- Acionar a betoneira no mínimo de 2 minutos (este tempo deve ser verificado para cada tipo de agregado).
- Adicionar o agregado miúdo (caso seja utilizado areia de peso normal).
- Adicionar o cimento.
- Adicionar o restante da água.
- Acionar a betoneira até a mistura tornar-se homogênea.

As características das dosagens e do concreto são apresentadas, na Figura 16.32. Nota-se que a resistência à compressão varia entre 18,1 a 31,7 kgf/m², enquanto a massa específica aparente é de 1.800 kg/m³, aproximadamente.

Para o controle da produção do concreto leve, além dos ensaios normais de trabalhabilidade, ar incorporado e umidade dos agregados, há a necessidade de se controlar a massa específica do agregado leve, pois normalmente é observada uma grande variação nesta propriedade e conseqüentemente há um desproporcionamento da mistura com prejuízos para a qualidade do concreto fresco e endurecido. Apesar de esta prática ser bastante eficiente, ela apresenta o inconveniente de ser muito demorada, devido a frequência do ensaio ser grande em função da variação da massa específica do material. Isto principalmente em centrais de concreto de grande produção. Há um sistema alternativo para esse inconveniente chamado - método rápido - [16.22]. É a utilização de um silo-balança, adaptável à central de concreto e com um volume previamente calibrado. O princípio básico deste sistema é o de se manter o volume sólido do agregado (considerando-se os vazios intrínsecos do agregado como sólido) dentro da mistura. O volume do silo-balança pode ser determinado enchendo-o com agregado e obtendo o peso do material (A). Em seguida determina-se a massa específica do agregado solto (B), através de um recipiente de volume conhecido. O volume do silo (C)

é obtido dividindo-se A por B. Conhecendo-se o volume da betonada (D) e o volume solto do material por metro cúbico de concreto (E), o volume solto do material na betonada (F) é $D \times E$. Este volume (F) deve ser mantido independentemente do peso. Para tanto, faz-se uma primeira pesagem com o silo-balança cheio (G). Este peso corresponde ao volume do silo-balança cheio, ou seja, igual a "C". Para se completar a dosagem e manter o volume "F" da betonada, deve-se fazer uma nova pesagem correspondente a um volume (H) igual a $F - C$. O peso da nova pesagem (I) é determinado pela expressão:

$$I = \frac{G \times H}{C}$$

Tem-se desta forma completado o peso do agregado na betonada, mantendo-se o volume sólido. Recomenda-se, periodicamente, fazer a calibração do silo-balança.

CARACTERÍSTICAS		MISTURA 1	MISTURA 2	MISTURA 3
RELAÇÃO A/C		0,40	0,50	0,60
ABATIMENTO - cm		4 ±	4 ±	4 ±
AR INCORPORADO - %		4 ±	4 ±	4 ±
CIMENTO kg/m ³		324	259	216
ÁGUA kg/m ³		129	129	129
AREIA		796	852	887
AGREGADO 1305 kg/m ³ (SSS) *		172	172	172
AGREGADO 2013 kg/m ³		323	323	323
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL - kgf/m ²	7	266	200	131
	28	317	246	181
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO SIMPLES POR COMPRESSÃO DIAMETRAL - kgf/cm ²	7	27	24	14
	28	27	24	22
MÓDULO DE ELASTICIDADE - kgf/cm ²	2	207.000	182.000	166.000
	28	257.000	222.000	185.000
MASSA ESPECÍFICA APARENTE kg/m ³	CALCULADA A PARTIR DO TRAÇO	1.740	1.740	1.730
	MEDIDA NO CONCRETO FRESCO	1.760	1.840	1.830
	MEDIDA NO CONCRETO ENDURECIDO	1.750	1.750	1.860

(*) SATURADA SUPERFÍCIE SECA

Figura 16.32- Características do concreto leve com argila expandida [16.21]

Outras características normalmente controladas são: a resistência a compressão e a massa específica do concreto endurecido.

Os procedimentos para execução dos ensaios são semelhantes ao concreto de peso normal, fazendo-se restrição apenas a determinação do ar incorporado pelo método da pressão, o qual pode apresentar resultados falsos devido a estrutura porosa do agregado. Para esta determinação recomenda-se o método volumétrico.

Recomenda-se que os agregados sejam umedecidos antes da betonagem, por causa da grande absorção do mesmo, o que pode influir nas características do concreto fresco, bem como no concreto endurecido, e aumentar a segregação, dificultando a vibração do concreto.

Devido a grande diferença entre a massa específica dos materiais constituintes do concreto, o lançamento e a vibração devem ser executados com cuidados especiais, para se evitar a segregação e separação dos componentes. A utilização de agregado saturado minimiza estes efeitos. Com respeito à cura, devem ser obedecidos os mesmos procedimentos estabelecidos para o concreto de peso normal.

16.11. Cura a Vapor

Para atender a grande reutilização de fôrmas decorrente de elevada produção de peças pré-moldadas, é comum optar pelo uso de "cura a vapor".

O concreto curado a vapor é um concreto submetido a "cura" em vapor de água a determinada pressão. A temperatura geralmente é estabelecida entre 40°C e 200°C, aproximadamente.

O principal objetivo da "cura" a vapor é acelerar o desenvolvimento da resistência de tal maneira que as fôrmas possam ser retiradas e reutilizadas em curtos intervalos e as peças moldadas possam ser usadas ou estocadas com baixas idades. Significa abreviar o período de hidratação, pelo aumento da temperatura, mantendo-se o conceito de maturidade.

A "cura" a vapor pode ser feita basicamente por dois processos:

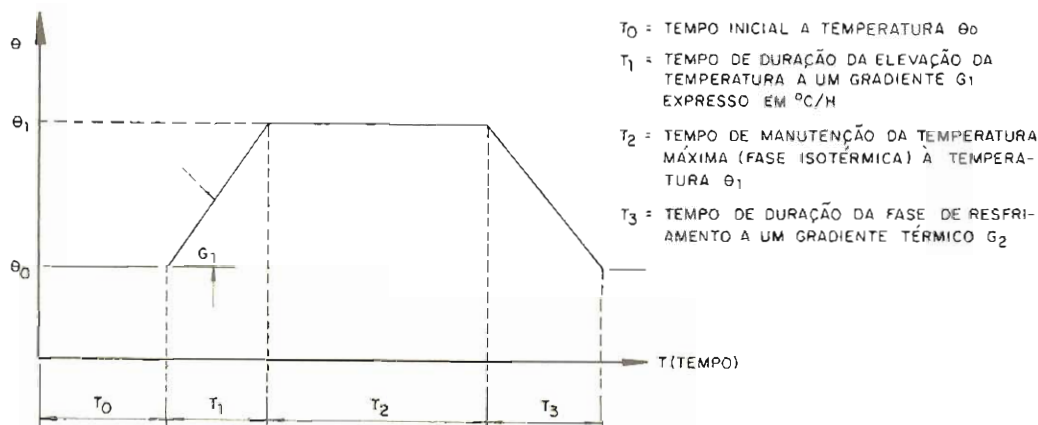
- Alta pressão.
- Baixa pressão.

A "cura" a vapor a alta pressão (autoclave) é a "cura" a atmosfera saturada de vapor, a temperaturas superiores à de ebulição da água e a pressões superiores à atmosférica. Esse tipo de "cura" somente é empregada para peças pré-moldadas de dimensões reduzidas.

"Cura" a vapor à baixa pressão ou à pressão atmosférica é a cura a pressão normal, atmosférica, a temperaturas inferiores a 100°C. É o processo mais utilizado. O vapor d'água é o método mais eficiente e econômico de produzir calor e umidade para a "cura" a vapor, garantindo ao concreto o ambiente necessário para a hidratação a determinada temperatura.

O "ciclo" - sequência de períodos de "cura" - pode incluir os seguintes períodos (ver Figura 16.33):

- Fase inicial T_0 - Período correspondente entre a fabricação e a aplicação do vapor. Tem duração normal entre 2 e 5 horas, dependendo do "tempo de pega" da mistura e do método de moldagem.
- Fase de elevação da temperatura T_1 - É o período durante o qual a temperatura do produto se eleva à velocidade controlada desde a temperatura $\theta_0^\circ\text{C}$ até o valor desejado $\theta_1^\circ\text{C}$. O valor de G_1 normalmente situa-se entre 10 e 20 $^\circ\text{C}/\text{h}$.
- Fase de Manutenção da Temperatura Máxima (θ_1) T_2 - corresponde ao período durante a qual a temperatura é mantida constante em seu valor máximo estabelecido (θ_1).
- Durante o período a resistência do concreto se eleva. O tempo T_2 normalmente se situa entre 8 a 10 horas.
- Fase de resfriamento T_3 - É o período decorrido para resfriamento da peça desde a temperatura $\theta_1^\circ\text{C}$ até a temperatura ambiente, ou a $\theta_0^\circ\text{C}$. Admite-se o gradiente de resfriamento G_2 igual ao de elevação G_1 , sendo então $T_1 = T_2$. É tomado cuidado, na fase de resfriamento, para que o ambiente seja mantido úmido, a fim de não ocorrer retração por secagem e eventuais fissuras.
- Maturidade - Entende-se que o concreto atingiu a maturidade " y " = $^\circ\text{C}$. H quando esteve submetido durante " t " horas à temperatura de " $^\circ\text{C}$ " tal que " y " = ($t \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$). O conceito de maturidade é expresso pela Lei de Saul e outras - que correlaciona a evolução de resistência e o produto - período de tempo temperatura da condição de cura, ou seja, o concreto de mesma maturidade tem aproximadamente a mesma resistência, qualquer que seja a combinação de tempo e temperatura empregado até aquela maturidade. Esse conceito tem melhor uniformidade de valores quando analisados a baixas idades.



CICLO TÉRMICO TEÓRICO PARA A CURA A VAPOR

Figura 16.33 - Ciclo térmico teórico para a cura a vapor

16.12. Concreto Aparente

O concreto, ao ser utilizado em estruturas como material final de acabamento, além de projeto mais cuidadoso, exige especificações e processos construtivos adequados.

Por se destinar à exposição permanente, principalmente aos intemperismos, requer o concreto aparente cuidados especiais, a fim de que se obtenha bons resultados técnicos quanto à sua capacidade estrutural, mas também seja aproveitada a vocação plástica e estética do material.

A inspeção tem, portanto, como meta garantir que as etapas de obra estejam em conformidade com o projeto e as especificações, e sejam utilizados materiais, processos construtivos e mão-de-obra adequados para que a obra não venha a necessitar de correções *a posteriori*, nem sempre possíveis de serem feitas a custos razoáveis.

O inspetor, entretanto, deverá ter suficiente experiência técnico-prática e completa familiarização relativa ao projeto, suas especificações e as particularidades relacionadas com os pontos críticos da técnica construtiva empregada na produção de concreto.

Nas atribuições da função de inspetor de concreto aparente evidencia-se que deverão, para cada obra, ser estabelecidos enfoques prioridades.

É importante, entretanto, salientar que o inspetor não pode considerar satisfatório que somente se execute com bom padrão de qualidade aquelas atividades desenvolvidas diretamente sob as suas vistas e/ou adotar a norma de deixar fazer para depois quebrar.

Cabe-lhe, como responsabilidade maior, se antecipar e disciplinar as suas múltiplas atividades, de modo a estabelecer sistema de trabalho que resulte em rendimento a ser creditado à qualidade da obra.

O inspetor deverá ter sólidos conhecimentos do material concreto, da prática de construção, fôrmas e equipamentos, para que um trabalho de integração com o projetista conduza à especificação mais adequada e detalhes executivos claros (ver Capítulo 3).

As causas que provocam anomalias em estruturas de concreto aparente, na sua maioria, são de caráter aleatório, mas, com grande frequência, elas ocorrem por falta de inspeção e pode ser comum o emprego de processo construtivo pouco rigoroso e sem os cuidados particulares requeridos para as estruturas de concreto aparente.

Com o objetivo de exemplificar alguns pontos que a inspeção deverá enfocar e que afetam a durabilidade do concreto aparente, podem ser destacados os seguintes itens:

16.12.1. Cobertura das Armaduras

A armadura do concreto para manter-se integral deverá ficar protegida da ação de fluidos agressivos, sendo a espessura de cobertura fator de destaque. Considera-se uma proteção adequada quando a mesma envolve as barras da armadura com concreto estanque e o cimento utilizado possua suficiente potencial alcalino que favoreça a passivação das barras.

Para efeito de orientação, são consideradas satisfatórias as recomendações do CEB e/ou NB.1/78, que estabelecem para superfície lisa as seguintes espessuras de cobrimento de concreto:

Contato com intemperismos e/ou meio agressivo (CEB/74):

- 2 vezes o valor do diâmetro das barras com responsabilidade estrutural.
- 1,5 vezes o $DM_{\text{máx}}$ do agregado graúdo empregado.
- Não ser inferior a 3 cm, quando exposto a intemperismos ou fluidos agressivos.

Para concreto protegido de fluidos agressivos a intemperismos, estes valores podem ser reduzidos em até 50%.

A NB.1/78 estabelece os valores de:

- 2,0 cm para interior de edifícios.
- 2,5 cm ao ar livre.
- 3,0 cm em contato com o solo.
- 4,0 cm para contato com meio fortemente agressivo.

Para as superfícies destinadas a apicoamento, os valores indicados para as mesmas condições de exposição deverão ser acrescidos de 1,5 cm para granulação áspera e 0,5 cm para grão fino.

Examinando a orientação das superfícies verticais na região da obra, observa-se que aquelas voltadas para os quadrantes de ventos dominantes e/ou tempestuosos são as que ficarão mais expostas a efeitos eólicos e a pressão das águas das chuvas. Se associar a este detalhe a ação corrosiva pela proximidade de elementos poluentes, verifica-se que estas superfícies deverão receber maiores cuidados quanto à proteção das armaduras. Com apoio nestas considerações, a planta de fôrmas deverá prever uma espessura adequada para superfícies expostas a estes poluentes, enquanto demais superfícies poderão ser executadas com até 50% de redução da espessura do concreto de cobertura.

A garantia da cobertura uniforme será obtida através de espaçadores de argamassa (traço 1:3), dando-se preferência à fôrma de calota esférica para os mesmos.

Observa-se também que, em alguns casos, o alinhamento dos espaçadores e a sua proximidade ocasionam regiões com possibilidade de apresentar fissuras. Para impedir estas deformações, deve ser evitada a concentração em linha reta dos referidos espaçadores.

É importante destacar que acentuadas espessuras de cobertura em locais em que se concentram tensões, principalmente de tração, as fibras mais solicitadas poderão sofrer fissuras; estas deformações eliminam a estanqueidade do concreto; a contribuição do calculista é importante, para considerar alternativas em termos de compensação na seção e posição da armadura destas regiões, com modificação da bitola das barras ou introdução de armadura de pele.

A espessura da cobertura de proteção da armadura deve ser considerada a partir da parte externa dos estribos.

16.12.2. Contraflexas

As deformações instantâneas e/ou lentas que normalmente ocorrem nas estruturas de concreto nos balanços e grandes vãos livres devem ser motivo de cuidadoso exame quanto à eventuais flexas. Para combatê-las, devem ser previstas contraflexas no projeto executivo da estrutura. Como regra geral, balanço maior que 2,5 m e vãos superiores a 7,00 m devem, a critério do projetista, ser examinados quanto às consequências da presença de flexas.

16.12.3. Esbeltez das Peças Estruturais

Sempre que o projeto o permita, devem ser dimensionadas peças que apresentem equilíbrio dimensional e sem acentuadas variações de seção.

No caso do projeto apresentar alta densidade de armadura, o inspetor deverá examinar com o projetista alternativas técnico-práticas que favoreçam a concretagem. Para reduzir os problemas de travamento e retenção de agregados em função das dimensões das peças, pode-se limitar o $DM_{\text{máx}}$ a:

$$DM_{\text{máx}} = a/5 \quad \text{ou} \quad DM_{\text{máx}} = e/3 \quad \text{onde}$$

a = Menor dimensão entre as faces internas opostas de uma fôrma.

e = Espessura de lajes.

16.12.4. Densidade da Armadura

Quando a estrutura apresentar armadura muito concentrada, deve ser desenvolvida alternativa para a técnica de lançamento, de modo que evite o peneiramento e/ou retenção do concreto no seu lançamento.

O espaçamento entre as barras da armadura condiciona a escolha da bitola máxima do agregado graúdo do concreto; como referência, é recomendável atender a relação:

$$DM_{\text{máx}} = 3c/4 \quad DM_{\text{máx}} = d/1,5$$

c - Distância mínima entre barras da armadura.

d - Espessura do cobrimento das barras.

16.12.5. Juntas de Concretagem

Sempre que necessário, a planta de fôrma deve indicar o plano de corte, para eventuais ou programadas paralisações de concretagem. Nestes casos, deve ser previsto detalhe executivo da referida junta, sendo recomendável confiná-la, dispondo o topo da junta vertical, ou em degrau, eliminando-se as desagradáveis consequências das juntas inclinadas obras.

As especificações devem ainda prever os cuidados a serem considerados com a retomada da concretagem, de tal modo que o concreto lançado pressione a superfície do topo da junta do concreto endurecido.

16.12.6. Reaproveitamento de Fôrmas

A inspeção para liberação de fôrmas destinadas a reaproveitamento deve ser rigorosa. As peças de madeira geralmente sofrem deformações que impedem um correto ajuste nas juntas e emendas, provocando deformações na superfície do concreto.

Não deve ser utilizado o intercalamento num mesmo nível horizontal de peças de madeira nova com fôrmas já utilizadas; a diferença de absorção da água do concreto entre partes das fôrmas provoca irregularidades na superfície do concreto, causando manchas e pontuações brancas.

As fôrmas metálicas devem ser isentas de focos de corrosão.

16.12.7. Conferência Dimensional das Fôrmas

Para evitar erros que possam comprometer a peça estrutural, não só quanto à sua estabilidade mas também quanto à durabilidade, as plantas de fôrmas devem ser conferidas com apoio da memória de cálculo.

16.12.8. Prumo, Nível e Dimensões

As fôrmas para concreto aparente devem sofrer cuidadosa inspeção de prumos e níveis com o apoio de instrumentos adequados, para evitar erros que exijam cortes ou enchimentos corretivos.

A checagem deve ser feita na ocasião da liberação para a concretagem e no máximo 12 horas antes de seu início.

As tolerâncias de prumo, nível e dimensões são mais rigorosas que as adotadas para as estruturas de concreto com acabamento de revestimento.

16.12.9. Estanqueidade

Não devem ser toleradas emendas que formem juntas abertas e que possam provocar a fuga de nata, responsável pelo efeito de filtro que ocasiona pontos suscetíveis de desencadear corrosão da armadura da estrutura.

16.12.10. Limpeza

O inspetor não deve permitir que seja lançado o concreto nas fôrmas sem que se proceda a uma adequada limpeza.

Quando as barras da armadura são montadas *"in situ"*, grande quantidade de pontas de arame de amarração se localizam no fundo da fôrma; para retirá-las, é conveniente a passagem de uma barra imantada, pois nem sempre é suficiente a limpeza com lavagem ou aplicação de ar comprimido.

16.12.11. Escoramento e Rigidez

O concreto aparente não admite acentuados empenos das fôrmas nem deformações provocadas por defeitos de escoramento.

Em muitos casos, é necessária a execução de peça-piloto para um perfeito dimensionamento e ajustar os tensores de rigidez em função das dimensões da forma

do material empregado, peso, altura de camadas e temperatura do concreto acrescidos da energia de adensamento.

16.12.12. Lançamento do Concreto

O concreto deve ser cuidadosamente transportado e lançado sem que sofra desagregações.

Providências devem ser tomadas para que seja evitado o efeito de ricochete dos agregados de maior diâmetro com a superfície das fôrmas ou das camadas endurecidas do concreto.

16.12.13. Retirada das Fôrmas

O projeto de fôrmas deve prever a desmoldagem, sem que seja necessária a aplicação de ponto de apoio na superfície do concreto.

Para evitar manchas desagradáveis, a retirada das fôrmas deve ser executada para uma mesma idade do concreto; as superfícies deformadas com maior idade apresenta cor mais escura.

16.12.14. Energia de Adensamento

O emprego de vibradores para adensar o concreto deve ser motivo de especificação e posterior inspeção, para verificar a eficiência dos mesmos.

De modo geral, a frequência para os mesmos deve estar 8.000 e 12.000 VPM e amplitude 0,06 a 0,13 cm, e o raio de ação de aproximadamente 30 cm.

A técnica de aplicação do vibrador deve ser motivo de orientação específica a ser fornecida aos operadores, onde, além do uso correto do mesmo, deverão ser dadas instruções quanto à maneira de emprego nos pontos críticos da peça estrutural.

16.12.15. Cura do Concreto

A cura deve ser motivo de cuidadoso programa.

O rigor do processo de cura de superfícies verticais deve considerar o quadrante de orientação da mesma.

As superfícies de concreto, normalmente, orientadas para quadrante mais isolados, estão expostas a maior aquecimento do que as superfícies protegidas. O tempo de cura é função do tipo de cimento utilizado e da exposição aos intemperismos.

16.12.16. Dosagem dos Concretos

Um concreto corretamente dosado e ajustado experimentalmente pode, de forma geral, ser empregado na execução de estruturas aparentes; entretanto, para reduzir os problemas de segregação, é importante que os traços sejam dosados, considerando as suas propriedades reológicas quanto a:

- Estabilidade - exsudação e segregação.
- Mobilidade - viscosidade, coesão e ângulo de atrito interno.
- Compacidade - densidade.

Os agregados assumem, por esta razão, apreciável importância na trabalhabilidade do concreto e o teor de finos, material que passa na peneira 0,3 mm, somado ao

consumo de cimento, deve ser suficiente para, juntamente com a areia, constituir uma matriz de argamassa capaz de impedir segregação de agregados graúdos e de água.

16.12.17. Controle de Informações

O controle de informações desenvolvido por um serviço de inspeção requer do inspetor treinamento adequado e uma longa prática. Deve ser levado em consideração que o inspetor usualmente só percebe um acerto conjunto de defeitos que vão restringindo a sua percepção à medida que as tarefas se tornam repetitivas e monótonas.

Com o objetivo de evitar a dispersão de informações, é recomendável que para cada etapa de serviço o Inspetor elabore itens de checagem, que devem ser desenvolvidos e dimensionados para cada obra ou serviço, considerando para cada um a ênfase necessária e compatível com o grau de qualidade que se pretenda obter.

17. MÉTODOS DE ENSAIOS PADRONIZADOS

Neste capítulo são apresentadas as referências dos vários métodos de ensaio citados no texto, incluindo as seguintes entidades ou laboratórios:

ABNT - NBR-Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR.

ASTM - American Society for Testing and Materials.

CRD - Corps of Engineers - U.S.Army.

LCEC - Laboratório Central de Engenharia Civil - CESP.

17.1. Cimentos Portland Comum

ENSAIOS FÍSICOS	MÉTODO DE ENSAIO
Retido a peneira nº 200.....	NBR - 5732 (ABNT).
Superfície específica Blaine.....	NBR - 5732 (ABNT).
Massa específica do cimento	NBR - 6476 (ABNT).
Consistência normal da pasta de cimento.....	NBR - 5732 (ABNT).
Tempo de pega (início e fim)	NBR - 5732 (ABNT).
Expansão da pasta de cimento (autoclave).....	ASTM-C-151.
Resistência à compressão da argamassa.....	NBR - 5732 (ABNT).
Calor de hidratação aos 7 e 28 dias.....	NBR - 5732 (ABNT).

ENSAIOS QUÍMICOS	MÉTODO DE ENSAIO
Resíduo insolúvel	NBR - 5744 (ABNT).
Perda ao fogo.....	NBR - 5743 (ABNT).
Óxido de magnésio.....	NBR - 5749 (ABNT).
Trióxido de enxofre (SO ₃)	NBR - 5745 (ABNT).
Silicato tricálcico (C ₃ S)	ASTM-C-150.
Aluminato tricálcico (C ₃ A)	ASTM-C-150.
Álcalis-equivalentes-(Na ₂ O + 0,658 K ₂ O).....	NBR - 5747 (ABNT).
Cal livre	NBR - 5748 (ABNT).

17.2. Cimento Portland Pozolânico

ENSAIOS FÍSICOS

MÉTODO DE ENSAIO

Retido a peneira nº 325.....	ASTM-C-430.
Superfície específica Blaine.....	NBR - 7224 (ABNT).
Massa específica do cimento	NBR - 6474 (ABNT).
Expansão em autoclave.....	ASTM-C-151.
Consistência normal da pasta de cimento.....	NBR - 5732 (ABNT).
Tempo de pega (início e fim)	NBR - 5732 (ABNT).
Resistência à compressão da argamassa.....	NBR - 5732 (ABNT).
Calor de hidratação aos 7 e 28 dias.....	CRD C-229.
Retração por secagem	ASTM-C-157.
Aumento da retração por secagem.....	ASTM-C-157.
Reatividade com álcalis	
Expansão da argamassa aos 14 dias	ASTM-C-441.
Água requerida em relação ao controle	ASTM-C-109.

17.3. Materiais Pozolânicos

ENSAIOS FÍSICOS

MÉTODO DE ENSAIO

Retido na peneira nº 325.....	ASTM-C-430.
Superfície específica Blaine.....	NBR - 7224 (ABNT).
Atividade pozolânica com cimento Portland	ASTM-C-311.
Atividade pozolânica com cal	ASTM-C-595.
Água requerida em relação ao controle	ASTM-C-109.
Expansão (ou retração) em autoclave	ASTM-C-151.
Aumento de contração devido à secagem	ASTM-C-157.
Reatividade com álcalis do cimento	
Expansão da argamassa	ASTM-C-227.
Redução da expansão da argamassa aos 14 dias	ASTM-C-441.
Variação da superfície específica em relação à média das amostras ensaiadas	ASTM-C-204.
Variação da massa específica em relação à média das amostras ensaiadas	ASTM-C-188.

17.4. Agregados

ENSAIOS FÍSICOS

MÉTODO DE ENSAIO

Composição granulométrica dos agregados	NBR - 7217 (ABNT).
Materiais mais finos que a peneira nº 200 (pulverulento)	NBR - 7219 (ABNT).
Matéria orgânica do agregado miúdo pelo método colorimétrico	NBR - 7220 (ABNT).
Teor de torrões em argila	NBR - 7218 (ABNT).
Massa específica e absorção de agregados	ASTM-C-127 e C-128.
Agregado graúdo	NBR - 9937 (ABNT).
Agregado miúdo	NBR - 9776 (ABNT).
Absorção	NBR - 9777 (ABNT).
Qualidade da areia	NBR - 7221 (ABNT).
Abrasão do agregado graúdo-Los Angeles	NBR - 6465 (ABNT).
Partículas leves e friáveis	NBR - 9936 (ABNT).
Forma do grão do agregado graúdo	NBR - 7809 (ABNT).
Coefficiente de expansão térmica	CDR-C-125.
Sanidade do agregado através de imersão no etileno glicol	CDR-C-148 ou MCA-12 (CESP).
Sanidade do agregado através de ciclagem água x estufa (ciclagem artificial)	MCA-13 (CESP).
Sanidade do agregado através de ciclagem natural	MCA-14 (CESP).
Reatividade potencial álcalis-agregado	
Método das barras de argamassa	NBR - 9773 (ABNT).
Método químico	NBR - 9774 (ABNT).
Sanidade de agregado através de imersão no sulfato de sódio ou magnésio	ASTM-C-88.
Análise petrográfica	CDR-C-127.
Procedimentos para amostragem de agregados	NBR - 7216 (ABNT).

17.5. Água

ENSAIOS

MÉTODO DE ENSAIO

Anidrido carbônico livre (mg/ de CO ₂)	MCM-27 (CESP).
Alcalinidade (carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos).....	MCM-27 (CESP).
Dureza.....	MCM-27 (CESP).
pH	MCM-27 (CESP).
Oxigênio consumido	MCM-27 (CESP).
Cloretos	MCM-27 (CESP).
Sulfatos.....	MCM-27 (CESP).
Ferro.....	MCM-27 (CESP).
Resíduo a 110°C	MCM-27 (CESP).
Resíduo fixo	MCM-27 (CESP).
Silica	MCM-27 (CESP).
Alumínio.....	MCM-27 (CESP).
Cálcio	MCM-27 (CESP).
Magnésio.....	MCM-27 (CESP).
Sódio	Fotometria.
Potássio	Fotometria.
Avaliação da qualidade da água de mistura na resistência à compressão	CDR-C-406.

17.6. Aditivos para Concreto

ENSAIOS FÍSICOS

MÉTODO DE ENSAIO

Incorporador de ar	ASTM-C-494.
Redutor de água.....	ASTM-C-233.
Retardador de pega.....	ASTM-C-233.
Retardador de pega e redutor de água.....	ASTM-C-233.
Acelerador de pega	ASTM-C-260.
Redutor de água e acelerador de pega.....	ASTM-C-260.

17.7. Aços

ENSAIOS FÍSICOS

MÉTODO DE ENSAIO

Determinação das propriedades mecânicas à tração de materiais metálicos	NBR - 6152 (ABNT).
Ensaio de determinação da capacidade ao dobramento de produtos metálicos	NBR - 6153 (ABNT).
Coefficiente de aderência de aços para concreto armado	NBR - 7477 (ABNT).

17.8. Dispositivos de Vedação

ENSAIOS FÍSICOS

MÉTODO DE ENSAIO

Durabilidade de elastômeros através de imersão em óleo	NBR - 8804 (ABNT).
Tração e alongamento de elastômeros	NBR - 8804 (ABNT).
Dureza de elastômeros	NBR - 8804 (ABNT).
Preparação dos corpos de prova	NBR - 8804 (ABNT).
Envelhecimento acelerado de elastômeros em estufa	NBR - 8804 (ABNT).
Deformação de elastômeros por compressão sob deflexão constante	NBR - 8804 (ABNT).

17.9. Emendas de Barras de Aço

ENSAIOS

MÉTODO DE ENSAIO

Verificação de emendas metálicas de barras para concreto armado	MB-857(ABNT).
Qualificação de processos de emendas e de eficiência de operado	MB-262(ABNT).

17.10. Concreto

ENSAIOS FÍSICOS

MÉTODO DE ENSAIO

Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova	NBR - 5738 (ABNT).
Trabalhabilidade do concreto	MB - 258 (ABNT).
Resistência à compressão axial	NBR - 5739 (ABNT).
Ar incorporado de uma mistura de concreto	ASTM-C-231.
Tempo de pega de mistura de concreto por resistência a penetração	NBR - 9832 (ABNT).
Permeabilidade do concreto (qualitativo)	MCC - 06 (CESP).
Permeabilidade do concreto (quantitativo)	CRD-C-48.
Módulo de deformação estático e coeficiente de Poisson	NBR - 8522 (ABNT).
Resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de concreto	NBR - 7222(ABNT).
Fluência do concreto	NBR - 8224 (ABNT).
Capacidade de deformação-carregamento rápido	ASTM - C-78 e MCC-16 (CESP).
Capacidade de deformação-carregamento lento	MCC - 17 (CESP).
Elevação adiabática de temperatura do concreto	CRD-C-38.
Coefficiente de dilatação térmica do concreto	CRD-C-39.
Condutibilidade térmica do concreto	CDR-C-36.
Calor específico do concreto	MCC - 21 (CESP).
Difusibilidade do concreto	CRD-C-37.

18. UNIDADES/CONVERSÕES E GLOSSÁRIO

18.1. Unidades e Conversões

18.1.1. Unidades

Aceleração	m/s^2 (sistema internacional)
Aceleração angular	rad/s^2
Velocidade angular	rad/s
Área	m^2
Concentração (substância)	mol/m^2
Densidade de corrente	A/m^2
Densidade (massa)	kg/m^3
Entropia	$\text{J /}^\circ\text{K}$ (Joule por Kelvin)
Capacidade calorífica	$\text{J /}^\circ\text{K}$
Momento de força	$\text{N} \cdot \text{m}$
Permeabilidade	H/m (Henry/m)
Calor específico	$\text{J/kg } ^\circ\text{K}$
Condutividade térmica	$\text{W/(M} \cdot ^\circ\text{K)}$
Velocidade	m/s
Viscosidade dinâmica	$\text{Pa} \cdot \text{s}$
Viscosidade cinemática	m^2/s

18.1.2. Conversões

De	Para	Multiplicar por
----	------	-----------------

Comprimento		
pé	metro (m)	0,3048
polegada	centímetro (cm)	2,54
jarda	metro (m)	0,9144
milha	quilômetro (km)	1,609

Área		
pé quadrado	m^2	0,0929
polegada quadrada	cm^2	6,4516
jarda quadrada	m^2	0,8361

De	Para	Multiplicar por
----	------	-----------------

Volume		
pé cúbico	m ³	0,02832
galão (americano)	m ³	0,003785
galão (imperial)	m ³	0,004546
onça líquida (americana)	cm ³	29,57
polegada cúbica	m ³	1,638706 x 10 ⁻⁵
jarda cúbica	m ³	0,7646

Força		
kilograma/força	N (Newton)	9,807
kip (1.000 libras força)	kgf	453,6
kip	N	444,8
libra força	kgf	0,4536
libra força	N	4,448

Pressão ou tensão (força por área)		
kgf/m ²	N/m ²	9,807
ksi(kip/polegada ²)	kgf/cm ²	70,31
libra força/pe ²	kgf/m ²	4,883
libra força/pe ²	N/m ²	47,88
psi (libra/polegada ²)	kgf/cm ²	0,07031
psi (libra/polegada ²)	N/m ²	6895
kgf/cm ²	Pascal-Pa	9,807 x 10 ⁴
ksi	Pa	6,895 x 10 ⁶
psi	Pa	6,895 x 10 ³

Massa		
onça (avdp)	g	28,35
libra (massa)	kg	0,4536
t (tonelada métrica)	kg	1000
t (curta= 2.000 libras)	kg	907,2

De	Para	Multiplicar por
----	------	-----------------

Massa por Volume		
libra/pé ³	kg/m ³	16,02
libra/d ³	kg/m ³	0,5933
libra/galão (americano)	kg/m ³	119,8
libra/galão (canadense)	kg/m ³	99,78
libra/polegada ³	kg/m ³	27,68 x 10 ³

Graus (Temperatura)		
°C (Centígrado)	°K (Kelvin)	°K = °C + 273,15
°F (Fahrenheit)	°K	°K = (°F + 459,67) / 1,8
°F	°C	°C = (°F - 32) / 1,8

Outras		
ATM (atmosfera-760 mmHg)	Pa	1,013 x 10 ⁵
BTU	J (Joule)	1,053 x 10 ³
BTU/H (condutividade elétrica)	W (Watt)	2,926 x 10 ⁻¹
Caloria	J	4,18
Centipoise	Pa . S	1,000 x 10 ⁻³
Centistokes	m ² /s	1,000 x 10 ⁻⁶
HP	W	7,46 x 10 ²
Polegada de Hg	Pa	3,386 x 10 ³
Polegada de água	Pa	2,491 x 10 ²

18.2 Glossário e Índice Remissivo

A

Ábaco - O instrumento para efetuar operações algébricas, elementares; nomograma.

Abatimento (slump) - A medida de consistência de uma mistura fresca de concreto, argamassa, igual ao abaixamento (assentamento) de um corpo de prova moldado, medido com precisão de 5mm, imediatamente após a retirada do molde tronco cônico.

Abertura - Tamanho nominal da distância entre os fios da malha de uma peneira.

Abóbada - Cobertura encurvada.

Abrasão - Processo mecânico de desgaste de superfícies causado pelo material sólido transportado pelas correntes marítimas e ondas (abrasão marinha), pelos rios (abrasão fluvial), pelas geleiras (abrasão glacial) e pelo vento (abrasão eólica).

Abrasão Los Angeles - Ver ensaio de Abrasão Los Angeles.

Abrasivo - Material que produz desgaste por choque ou atrito. Os mais utilizados na indústria são: diamante, quartzo, sílex, granada.

Abscissa - Em um sistema cartesiano a coordenada referente ao eixo dos "XX".

Absorção - O processo através do qual um líquido penetra e tende a preencher os poros permeáveis de um corpo sólido poroso; o aumento de peso de um corpo sólido poroso, decorrente da penetração de um líquido em seus poros permeáveis.

Acabamento - A última ação que se aplica em uma concretagem após a compactação; textura da superfície; tratamento aplicado a uma superfície da argamassa ou do concreto fresco, recém-colocado, para dar o aspecto desejado.

Acabamento com agregado exposto - O acabamento decorativo de concretos arquitetônicos, obtido pela remoção, normalmente após o endurecimento do concreto, de camada superficial de argamassa, expondo o agregado graúdo.

Acabamento com colher - Acabamento liso, dado pela colher.

Acabamento com desempenadeira - O acabamento da superfície de concreto caracterizado pela textura obtida com desempenadeira.

Acabamento com escova - A textura da superfície obtida pela passagem de escova (ou vassoura) sobre o concreto fresco.

Acamamento - Plano que se separa as camadas das rochas sedimentares estratificadas.

Aceleração - O aumento na velocidade ou na razão de variação, especialmente no apressamento de endurecimento, pega ou evolução da resistência do concreto.

Acelerador - A substância que, adicionada ao concreto, argamassa ou calda, acelera a velocidade de hidratação de cimentos hidráulicos, diminuindo o tempo de pega ou aumentando a velocidade de endurecimento da evolução de resistência, ou ambos (ver Aceleração).

Acepilhar - Brunimento; polir com limas finas.

Acessórios - Aqueles itens usados para auxiliar na construção de fôrmas, cimbramentos e escoramentos.

Acetato - O sal ou ester do ácido acético.

Acetato de Polivinila - Resina termoplástica, normalmente usada para emulsões ou agentes dispersores, caracterizando-se pela flexibilidade, estabilidade, estabilidade à ação da luz, a transparência aos raios ultravioleta, alta resistência dielétrica, dureza, tenacidade, alto grau de polimerização, podendo ser usada para pintura no concreto.

Acetileno - O hidrocarboneto não saturado gasoso, incolor - C_2H_2 .

Ácida (rocha) - Rocha ígnea que contém teor de sílica superior a 65%. A sílica pode estar livre ou combinada sob a forma de silicatos. Tem como característica cor clara e presença de quartzo. Ex.: Granito.

Acidez - A propriedade que tem certas substâncias de liberar íons hidrogênio, quando em solução.

Ácido - Substância que em solução aquosa é capaz de liberar íons hidrogênio; substância capaz de ceder prótons.

Aço de alta resistência - Aço com elevada resistência ao escoamento (f_y). No caso de aço para armadura, $f_y > 300$ MPa, e baixo teor de carbono ($< 0,25\%$).

Acomodação - Fenômeno que se verifica com a plastificação de elementos de uma estrutura sob a ação sucessiva de solicitações diversas e que faz com que a estrutura passe, sob a ação dessas mesmas solicitações, a deformar-se elasticamente.

Acuracidade - Exatidão de uma operação, propriedade de uma medida de uma grandeza física que foi obtida por instrumentos e processos isentos de erros sistemáticos.

Adamelito - Rocha plutônica, ácida, que difere dos granodioritos por conter mais feldspato alcalino.

Adensamento - Ver compactação.

Aderência - A ligação ou fixação do concreto ou argamassa à armadura ou a outra superfície contra a qual é colocado; inclui o atrito devido à retração e o cisalhamento longitudinal no concreto causado pelas saliências da armadura; a ligação da pasta de cimento com o agregado.

Aderência à flexão - Em concreto protendido, a tensão entre o concreto e os cabos resultante da aplicação da carga externa.

Adesão química - Ligação, ou aderência, entre materiais resultante da coesão ou adesão desenvolvida por reação química.

Adesivo - O grupo de substâncias usadas para unir materiais similares ou não, como, por exemplo, nos serviços de concreto, o uso de resinas epoxídicas.

Adiabática - A condição na qual o calor não entra e não sai do sistema.

Adição - O material que é moído ou misturado, em quantidade limitada, ao cimento hidráulico durante sua fabricação, como mistura durante o processamento para auxiliar o beneficiamento ou manuseio, ou como uma mistura para modificar propriedades do produto.

Aditivo - O termo frequentemente usado como sinônimo para materiais outros, que não água, agregados ou cimento hidráulico, usados como um componente do concreto ou argamassa e adicionados ao mesmo, durante ou imediatamente antes da mistura.

Adsorção - A fixação das moléculas de uma substância na superfície de outra substância.

Afanito - Rocha de granulação muito fina, na qual os constituintes individuais não são distinguíveis à vista desarmada.

Aferir - Conferir medidas com os respectivos padrões.

Afloramento - Qualquer exposição de rochas ou solos na superfície da terra. Podem ser naturais (escarpas, lajeados) ou artificiais (em superfícies de escavação).

Afwillite - Um mineral com composição $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ que ocorre de modo natural na África do Sul, Irlanda do Norte e Califórnia, e artificialmente em algumas misturas de cimento Portland hidratado.

Agente (aditivo) de cura - Endurecedor, catalisador, protetor contra perda de umidade.

Agente (aditivo) incorporador de ar - O aditivo para argamassa ou concreto que possibilita a incorporação de ar durante a mistura e normalmente aumenta a trabalhabilidade e a resistência ao gelo-degelo.

Agitação - O processo de manter o concreto misturado em movimento suave, suficiente para evitar a segregação ou a perda de plasticidade; a mistura mecânica ou homogeneização de caldas ou argamassa fluidas.

Agitador - O dispositivo de agitação usado para manter a plasticidade ou evitar a segregação do concreto recém-misturado. Peça do equipamento de injeção acoplado entre o misturador e a bomba injetora, que impede a sedimentação dos produtos sólidos das caldas de cimento.

Aglomerção - Formação de uma bola ou massa.

Aglutinante - Materiais ligantes, como cimentos, produtos de cimento ou cal, ou materiais silicosos reativos; os tipos de cimentos e condições de cura comandam os vários tipos de

ligantes; materiais tais como asfalto, resinas e outros que se constituam na matriz de concretos, argamassas e caldas.

Agregado - Material granular, tal como areia, cascalho, pedra britada e escória de alto-forno, usado com meio aglomerante para construir o concreto ou argamassa.

Agregado descontinuo - Agregado com granulometria descontínua, onde ocorre a falta de uma ou mais frações intermediárias.

Agregado graúdo - Agregado retido na peneira de nº 4 (abertura 4,8 mm).

Agregado leve - O agregado de baixa massa específica, como por exemplo a argila expandida, a perlita, a vermiculita ou a escória, usado para produzir o concreto leve.

Agregado miúdo - Agregado passante pela peneira nº 4 (4,8 mm) e predominantemente retido na peneira nº 200 (0,075 mm).

Agregado pesado - O agregado de elevada massa específica, como por exemplo a magnetita, o ferro ou aço, usado para produzir o concreto pesado.

Agregado reativo - Agregado contendo substâncias capazes de reagir quimicamente com os produtos de solução ou hidratação do cimento Portland no concreto ou argamassa, sob condições normais de exposição, resultando em alguns casos em expansões nocivas ou fissuras..

Agregado refratário - Materiais que possuem propriedades refratárias e que, aglutinados, formando uma massa conglomerada, constituem um corpo refratário.

Água adsorvida - A água mantida na superfície de um material por meio de forças eletroquímicas e com propriedades, nas mesmas condições de pressão e temperatura, substancialmente diferentes daquelas da água absorvida ou quimicamente combinada (ver Adsorção).

Água agressiva - Água que contém determinados íons capazes de provocar a corrosão do concreto. Os principais íons são: do oxigênio, sulfatos, cloretos, gás carbônico, de magnésio e amônia.

Água capilar - Água retida por tensão superficial nos poros capilares, formando uma película contínua em torno das partículas.

Água misturada - A água misturada fresca de concreto, argamassa, excluindo-se a água de absorção dos agregados.

Água salobra - Água suavemente salinizada com teor de sais maior da água doce e menor que da água do mar.

Agulha de Vicat - A agulha padronizada para determinar a pega de cimentos hidráulicos.

Agulha de Gilmore - O dispositivo usado para determinar o tempo de pega de cimentos hidráulicos.

Álcali-cálcica - Rocha ígnea, onde os plagioclásios são predominantes em relação aos feldspatos alcalinos.

Alcalina (rocha) - Rocha ígnea onde os feldspatos alcalinos são predominantes em relação aos plagioclásios, constituindo uma fração superior a 2/3 do feldspato total. Quimicamente, o conteúdo em $K_2O + Na_2O$ excede ao da sílica ou da alumina e tem como característica a presença de feldspatóides. Ex.: Nefelina-sienito.

Alcalis - Sais de metais alcalinos, principalmente sódio e potássio, sendo normalmente expressos na análise química através dos óxidos de $Na_2O + K_2O$.

Álcool - O composto orgânico que contém pelo menos uma hidroxila ligada diretamente a um átomo de carbono.

Alíquota - Parte de uma amostra utilizada para ensaio.

Alita - O nome usado por Tornebohm (1897) para identificar o silicato tricálcico, incluindo pequenas quantidades de MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e outros óxidos; um dos principais constituintes do Cimento Portland. A fórmula de constituição é $3CaO \cdot SiO_2$, ou abreviadamente, C_3S .

Aloctone - Rochas que foram transportadas a grandes distâncias do seu local original de deposição por algum processo tectônico, geralmente relacionado a grandes falhas de empurrão ou a dobramentos recumbentes.

- Alongâmetro** - O alongâmetro é um extensômetro mecânico que não possui dispositivo fixo de ligação à estrutura cuja deformação se pretende medir. A ligação é efetuada pelo operador quando executa a leitura, apoiando-o em bases especiais chumbadas à estrutura. É geralmente usado para medir deslocamento de juntas de contração em barragens de concreto, onde suas bases são instaladas em pontos acessíveis da intersecção das juntas com as superfícies das galerias.
- Alongada (forma do agregado)** - Partículas do agregado que possuem a relação do comprimento para a largura, de um prisma retangular circunscrito, maior que um valor especificado.
- Alteração de rocha** - Nome genérico dado à rocha com seus constituintes minerais modificados e transformados pela ação de agentes externos. De acordo com o grau de intensidade dessa modificação tem-se: rocha sã ou pouco alterada, rocha medianamente alterada, rocha muito alterada, rocha extremamente alterada ou decomposta.
- Alterabilidade** - Facilidade relativa que uma rocha possui em decompor ou alterar seus constituintes. Depende das características internas (microfissuras, porosidade, planos de fraqueza intrínseca etc.), da sua composição e da intensidade e tempo de duração dos agentes externos naturais e artificiais.
- Alto-forno** - Instalação destinada a reduzir o minério de ferro, transformando-o em ferro-gusa.
- Alumina** - Óxido de alumínio (Al_2O_3).
- Aluminato tricálcico** - Composto possuindo a formulação $3CaO \cdot Al_2O_3$, abreviadamente C_3A .
- Aluvião** - Designação genérica que engloba os depósitos de cascalhos, areias, siltes e argilas de deposição atual, de origem fluvial, lacustre, fluviolacustre, marinha, fluviomarinha, podendo ser formados nas planícies de inundação, nos leques aluviais de sopé de montanhas e de escarpas, bem como nas planícies costeiras. O termo não é aplicado a sedimentos subaquosos depositados em fundo de mar ou lagos, ou depósitos mal selecionados transportados por glaciares.
- Alvenaria** - Construção composta por blocos unitários de pequenas dimensões de modo a serem manuseados por uma só pessoa e constituída por pedras, blocos cerâmicos, blocos de concreto, tijolos, vidros, adobe e normalmente executada *in situ*, ligados ou não por argamassa.
- Amálgama** - Mistura de elementos formando um todo; liga de mercúrio.
- Ambiente úmido (de cura)** - O ambiente de cura existente em uma câmara úmida, caracterizado pela elevada umidade que é obtida pela nebulização (atomização) de água fresca. A aplicação de névoa úmida sobre o concreto, argamassa, pasta.
- Amígdalas** - Vesículas que foram preenchidas posteriormente com minerais formados a partir de soluções aquosas. Constituem-se de agregados minerais de forma arredondada com estrutura concêntrica.
- Amigdaloidal** - Massa rochosa que contém vesículas disseminadas e preenchidas com materiais de composição diferente à da matriz. Ex.: Basalto amigdaloidal.
- Amoníaco** - O gás incolor, solúvel em água, sintetizado a partir do nitrogênio e do hidrogênio (NH_3).
- Amorfo** - Mineral que não apresenta estrutura cristalina, ou cujo arranjo interno é tão irregular que não apresenta forma externa característica.
- Amostra** - Porção, fragmento ou unidade de um produto natural ou fabricado, utilizado para determinar sua natureza, qualidade ou tipo.
- Amostra composta (amostra média)** - Amostra obtida pela mistura de duas ou mais amostras individuais do material.
- Ampére** - A unidade de medida de intensidade de corrente elétrica no sistema internacional.
- Amplitude** - A máxima diferença entre a média e um valor individual.
- Análise** - A decomposição de um todo em suas parte constituintes.
- Análise granulométrica** - Determinação das proporções de quantidade de partículas existentes em um material granular, pela separação por peneiras de diferentes aberturas.
- Análise Térmica Diferencial (ATD)** - Indicação da reação pelo registro, através de termopares, das variações de temperatura da amostra em ensaio comparada com uma amostra conhecida, de controle, que é aquecida uniforme e simultaneamente.

Ancoragem - No concreto protendido é o sistema que fixa o elemento tensor (fio, cordoalha ou cabo) em certa posição, de modo a manter sob tensão. No concreto pré-moldado é o sistema de fixação das peças à estrutura. Na armadura é a região que transfere as tensões de aderência que se desenvolvem.

Ancoragem da fôrma - Dispositivo usado para manter a estrutura da fôrma até que o concreto alcance resistência adequada; o dispositivo normalmente é ancorado (embutido) no concreto durante o lançamento da camada subjacente.

Ancoragem externa - O comprimento de armadura, ou ancoragem mecânica, ou gancho, ou combinação destes, além do ponto de tensão nominal zero, na armadura do concreto moldado *in situ*. O dispositivo mecânico para transferir forças da protensão ao concreto de uma peça protendida.

Ancoragem mecânica - Qualquer dispositivo mecânico capaz de transmitir os esforços da armadura sem danificar o concreto.

Ancoragem tratada - O dispositivo de ancoragem que sofreu tratamento para garantir o efeito de ancoragem.

Andaime - A estrutura temporária usada para suportar fôrmas, passarelas ou a combinações destes; utilizada em construções.

Andesita - Mineral triclinico do grupo dos feldspatos; rocha efusiva, porfírica ou felsítica.

Andesito - Rocha ígnea extrusiva, de composição mineralógica equivalente ao diorito, possuindo, no entanto, granulação fina.

Anfibolito - Rocha metamórfica, xistosa, de granulação média a grossa, composta principalmente de hornblenda e plagioclásio. Produto de metamorfismo regional de grau médio a alto.

Anidrita - O mineral sulfato de cálcio anidro (CaSO_4); gesso no qual a água de cristalização é retirada por aquecimento ao redor de 160°C ; a anidrita natural é menos reativa que a obtida pela calcinação do gesso.

Anisotropia - Propriedade de um corpo não possuir isotropia.

Ánodo - O eletrodo positivo.

Anticlinal - Forma adquirida pela dobra quando as camadas mais jovens estão mais afastadas do centro de encurvamento. Em anticlinais simples as camadas tendem a mergulhar na mesma direção.

Antimônio - Elemento atômico com aspecto metálico branco azulado.

Aparelho de Blaine - Permeabilímetro de ar para a medida da área superficial de materiais finos, tais como cimento ou outros.

Aparelho de Vicat - O dispositivo de penetração usado para ensaiar cimentos hidráulicos e materiais similares.

Apatita - Mineral acessório de quase todas as rochas ígneas; ocorre também em rochas metamórficas, veios e outros depósitos minerais.

Apiloamento - A operação de compactar o concreto fresco recém-lançado, pelo uso de um soquete.

Ar aprisionado - Os vazios de ar no concreto, que não foram incorporados propositalmente e que são significativamente maiores (diâmetro maior de 1 mm), e menos úteis do que aqueles decorrentes pela incorporação de ar.

Ar incorporado - Bolhas microscópicas de ar, aproximadamente esféricas, intencionalmente incorporadas, normalmente pelo uso de um aditivo, ao concreto ou à argamassa durante a mistura; com diâmetros entre 10 e 1000 μm (micrômetros).

Aranha - Peça metálica utilizada para fixação e orientação dos extensômetros para concreto, na instalação de rosetas de extensômetros. É constituída por uma peça central, da qual partem hastes metálicas às quais são rosqueados os extensômetros, os quais são assim impedidos de se movimentar durante a concretagem da camada que os envolve.

Aranha (Shebolt) - Acessório utilizado para fixação de fôrmas e esticadores.

Arcózio - Rocha sedimentar detrítica constituída por fragmentos arenosos, com predominância de quartzo, rica em feldspato (mais de 25%) e pequena fração argilosa.

- Ardósia** - Rocha metamórfica de baixo grau de metamorfismo. Possui granulação fina, xistosidade tabular perfeita, mas sem segregação de faixas mineralógicas. Produto de metamorfismo regional de argilitos, siltitos e outros sedimentos clássicos de granulação fina. É uma rocha fortemente laminada.
- Área de aderência** - A área da interface entre dois elementos, através da qual a ligação se desenvolve ou pode se desenvolver, como ocorre entre o concreto e as barras da armadura.
- Área específica** - Também designada, inadequadamente, superfície específica. A área superficial de partículas, ou de vazios de ar, contidas em uma massa ou volume unitários de um material.
- Areia** - Sedimento clástico inconsolidado, composto essencialmente de grãos de dimensões entre 0,06 e 2,00 mm (Wentworth). Os grãos freqüentemente são de quartzo, podendo também ser de outros minerais.
- Areia angulosa** - Areia grossa que contém partículas angulosas.
- Areia Ottawa** - Areia de sílica produzida pelo processamento de material obtido por dragagem de depósitos próximos a Ottawa, Illinois, EUA, e composta quase que totalmente por grãos arredondados de quartzo quase puro; usada nos ensaios padronizados pelo A.S.T.M. (ver também areia padrão).
- Areia do IPT** - Ver areia normal.
- Areia fina** - Areia cujas dimensões dos grãos estão compreendidas entre 0,05 e 0,42 mm pela classificação da ABNT e entre 0,06 e 0,20 mm pela classificação do MIT- Massachusetts Institute of Technology.
- Areia grossa** - Areia cujas dimensões dos grãos estão compreendidas entre 2,00 e 4,80 mm, pela classificação da ABNT e entre 0,60 e 2,00 mm pela classificação do MIT- Massachusetts Institute of Technology.
- Areia média** - Areia cujas dimensões dos grãos estão compreendidas entre 0,42 e 2,00 mm, pela classificação da ABNT e entre 0,2 e 0,6 mm pela classificação do MIT- Massachusetts Institute of Technology.
- Areia normal** - É o material quartzoso extraído do rio Tietê, na região do Município de São Paulo, em direção à nascente, produzido e fornecido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo e que satisfaz a determinadas condições.
- Areia padrão** - No Brasil, a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas -, classifica como areia normal (ver também areia normal). No padrão do A.S.T.M. - American Society for Testing and Materials -, é a areia Ottawa graduada acuradamente entre as peneiras de nº 30 (600 µm) e nº 100 (150 µm).
- Arenito** - Rocha sedimentar detrítica, composta essencialmente por grãos de areia com diâmetro entre 0,60 e 2,00 mm ligados entre si por um cimento. O tipo de cimento é que dá as propriedades de resistência, podendo ser argiloso, calcífero, silicoso, ferruginoso etc.
- Arenoso** - Composto principalmente por areia.
- Argamassa** - A mistura de pasta de cimento e agregado miúdo; no concreto fresco é o material que ocupa os vazios entre as partículas do agregado graúdo; nas edificações a argamassa pode ser constituída por cimento, cal (e possivelmente outros aditivos), água, para dar plasticidade e trabalhabilidade desejada.
- Argamassa armada** - Ver ferro-cimento.
- Argamassa de epóxi** - A mistura de resina de epóxi, catalizador e agregado miúdo.
- Argamassa para injeção** - A argamassa utilizada para injeção.
- Argamassa seca** - Argamassa contendo baixo teor de água, aplicada e compactada por apiloamento.
- Argamassada** - Mistura que contém mais areia que o necessário para dar adequada trabalhabilidade e satisfazer as condições de acabamento.
- Argila** - Material mineral natural contendo propriedades plásticas e composto por partículas muito finas, normalmente considerado como a fração de solo com dimensões menores de 2 mm, e essencialmente constituído por silicatos de alumínio hidratados ou ocasionalmente silicatos de magnésio hidratados.

Argilito - Rocha sedimentar detrítica constituída essencialmente por partículas argilosas. Distingue-se de folhetos e ardósias por não se partir paralelamente à estratificação e não possuir clivagem ardosiana.

Argiloso - Composto principalmente por argila.

Armadura - Barras, fios, cordoalhas, chapas, que ficam embutidas no concreto de tal modo que a armadura e o concreto trabalhem conjuntamente para resistir a esforços.

Armadura auxiliar - Nas peças protendidas, a armadura suplementar àquela destinada aos esforços da protensão.

Armadura para controle de fissuração - A armadura, nas construções em concreto armado, projetada para limitar a abertura das fissuras a certo valor e redistribuí-las uniformemente em fissuras de menor abertura.

Armadura de pele - Armadura constituída geralmente de barras de pequeno diâmetro, cuja finalidade é evitar o aparecimento de fissuras superficiais em faces laterais de peças de grande altura.

Armadura para temperatura - Armadura projetada para atender às tensões decorrentes das variações de temperaturas. Tem função de redistribuir fissuras e modificar o panorama das aberturas.

Armadura principal - Armadura de aço projetada para resistir às tensões decorrentes das cargas e momentos de projeto, ao contrário da armadura destinada a suportar tensões secundárias.

Armadura transversal - Armadura colocada em plano normal ao principal eixo da peça.

Articulação (perfeita) - Sistema que realiza uma ligação exterior ou interior de uma barra e que permite, sem esforços, o deslocamento angular relativo dos elementos.

Aspergir - Borrifar ou respingar líquidos sobre materiais.

Assentamento - O abaixamento ou penetração de partículas sólidas em argamassas e concretos frescos, logo após o lançamento e antes da pega.

Ataque por sulfato - Reação química ou física (ou ambas) entre os sulfatos, normalmente encontrados em solos ou águas de infiltração, e o concreto ou argamassa, principalmente com hidratos de cálcio-aluminatos, da pasta de cimento, causando deterioração.

Augen - Mineral lenticular ou arredondado maior que os minerais da massa da rocha, comumente presente em gnaisses, podendo ser porfiroblástico ou porfiroclástico.

Auscultação - Auscultação é o conjunto de métodos de observação do comportamento de uma determinada obra de engenharia, com o objetivo de controlar as suas condições de segurança, comprovar a validade das hipóteses e dos métodos de cálculo.

Autoclave - O recipiente pressurizado, onde pode se estabelecer um ambiente de vapor e pressão elevada; usado na cura de produtos de concreto e ensaios de cimentos hidráulicos.

Autógeno - Que gera a si mesmo.

B

Bacalhau - Tipo de emenda de barras de aço em armadura constituída pela deposição de material de eletrodo em talas metálicas (tarugos de barras de aço) ou outros pedaços de chapas de aço utilizados como cobre-juntas.

Balde corretor - O mesmo que câmara atensorial (vide)

Ball-test - O ensaio para determinar a consistência do concreto fresco, pela medida da profundidade de penetração de uma peça metálica cilíndrica com ponta hemisférica.

Barita - O mineral sulfato de Bário (BaSO_4) usado, puro ou não, como agregado para concreto de elevada massa específica.

Barras com alta aderência - Ver barras com rugosidade.

- Barras com rugosidades** - Barras de armadura, com superfícies com mossas ou saliências, produzidas durante a fabricação, com a finalidade de propiciar a melhor aderência ao concreto que envolve a armadura.
- Basalto** - Rocha vulcânica, básica, composta principalmente de plagioclásio cálcico clonopiroxênio numa massa fundamental vítrea ou finamente granulada. A textura pode ser maciça, vesicular ou amidalóide.
- Básica** - Rocha ígnea, cujo teor em sílica varia de 45 a 52%. Os minerais máficos são predominantes na matriz.
- Bassanita** - O sulfato de cálcio hemi-hidratado ($2\text{CaSO}_4\text{H}_2\text{O}$).
- Belita** - A designação usada por Tornebohm (1897) para identificar uma forma dos constituintes do clínker de cimento Portland, atualmente conhecido por silicato dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{C}_2\text{S}$).
- Bentonita** - A argila composta fundamentalmente por minerais do grupo das montmorilonitas e que se caracteriza por elevada absorção e grande variação de volume quando da secagem ou molhagem.
- Betonada** - A quantidade de argamassa ou concreto misturado a cada vez (ver Mistura).
- Betoneira** - Ver Misturador.
- Betume** - Mistura asfáltica constituída de hidrocarbonetos naturais utilizada em impermeabilizações de superfícies. A mistura líquida, sólida ou semi-sólida de hidrocarbonetos, solúvel em solventes orgânicos, natural ou obtida em processo de destilação.
- Biotita** - Mineral máfico, do grupo das micas, que ocorre em rochas ígneas (especialmente ácidas) e metamórficas (gnaisses e xistos).
- Blindagem biológica** - Blindagem usada para reduzir ou absorver as radiações nucleares, tais como as de partículas de Neutron, Próton, Alfa, Raios Beta e Gama; a blindagem é formada fundamentalmente pela densidade do concreto, exceto no caso das radiações de Neutron quando se empregam componentes de alguns elementos leves (hidrogênio e boro, por exemplo).
- Bloco** - O espaço entre fôrmas, preenchido por concreto.
- Bloco de ensaio (corpo de prova)** - Amostra de material para ser submetida a ensaios mecânicos destinados a medição das suas propriedades e possuindo geometria adequada ao tipo de ensaio a realizar.
- Bola de Kelly (Kelly-Ball)** - O aparelho usado para indicar a consistência do concreto fresco, consistindo de um cilindro de 150 mm de diâmetro com uma ponta hemisférica e um pegador, pesando 14 kg e uma guia que serve para orientar o movimento e como referência para a medida da profundidade de penetração.
- Bolsão de areia** - Região do concreto ou argamassa contendo areia sem cimento.
- Bomba de ar comprimido (Air-Lift)** - Equipamento para bombeamento de lama ou pó através do uso de ar comprimido.
- Bomba de concreto** - O equipamento que pressiona o concreto, em direção ao local de lançamento, através de uma tubulação.
- Bomba de injeção (bomba injetora)** - Equipamento de injeção destinado a impelir a calda através de tubulações até os vazios do maciço.
- Borboleta** - Figura utilizada em grandes construções para indicar ponto de referência de nivelamento.
- Borda** - A extremidade de uma superfície.
- Borrachudo** - Designação usada para referir-se a um material que, por não apresentar um proporcionamento adequado, não permite atingir uma compactação desejada, apresentando-se como massa deformável.
- Breccia (brecha)** - Rocha formada pela cimentação de fragmentos angulosos de rochas antigas.
- Briquete** - O corpo de prova moldado com argamassa, tendo extremidades alargadas e a parte central reduzida, com uma seção transversal com área conhecida, usado para determinação da resistência à tração.
- Bríta** - Material resultante do britamento (fragmentação) de pedras.

Brita corrida - Agregado britado artificialmente e que não tenha sido classificado por qualquer sistema de peneiramento.

Britamento (britagem) - Fragmentação mecânica de uma rocha, industrialmente realizada em britadores, com o objetivo de reduzir as dimensões.

Brownmillerita - O composto ternário originalmente conhecido como o que ocorre no Cimento Portland e no cimento aluminoso; atualmente usado para referir-se a uma série de soluções sólidas entre $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (\text{C}_2\text{F})$ e $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (\text{C}_2\text{A})$.

Brucita - O mineral tendo o composto hidróxido de magnésio e uma determinada estrutura cristalina.

Brunidores - Materiais usados para agilizar o processo de uma superfície.

Bujão - A bucha com que se tapa buracos.

C

Cabeça - A região frontal de um avanço de concretagem; cabeça de concretagem.

Cabine de instrumentação - Pequena construção de concreto ou alvenaria, utilizada para centralizar a leitura da instrumentação de auscultação em barragens de concreto, terra ou de enrocamento.

Cabo (condutor) - Denominação genérica dos elementos de ligação entre os instrumentos e os aparelhos de medida ou leitura. Os cabos podem ser elétricos, hidráulicos, pneumáticos etc.

Cabo (tensor) - Elemento tensor, tal como fio, barra, haste ou cordoalha, usado para produzir tensões, no concreto protendido.

Caçamba - Recipiente, possuindo comporta e sistema de carga e descarga, utilizado para transporte e colocação de concreto.

Cadeia clinométrica - É constituída pela associação em série de várias bases de clinômetro ao longo de galerias transversais de barragem de concreto.

Cadeia defletométrica - Dispositivo constituído pela associação de vários defletômetros em série ao longo de um furo de sondagem. É utilizado quando se pretende observar movimentos transversais ao furo de sondagem, a várias profundidades.

Cadeia extensométrica - Designação que recebe a associação de vários extensômetros em série ao longo da superfície de uma estrutura cujas deformações se pretende medir.

Caidado - Revestido com cal.

Caixa seletora - Aparelho que reúne os cabos elétricos de vários instrumentos em uma central de leitura e que ao ser conectado ao aparelho de leitura permite, através da simples operação de girar um botão, a leitura rápida dos vários instrumentos.

Cal -Especificamente o óxido de cálcio (CaO), branco, cristalino, e também a designação geral das várias formas químicas e físicas da cal virgem, cal hidratada e cal hidráulica hidratada.

Calhidráulica hidratada - O aglomerante hidratado seco, obtido pela calcinação de calcário contendo sílica e alumínio, a temperatura da fusão incipiente, de modo a formar óxido de cálcio disponível somente para permitir a hidratação e ao mesmo tempo liberar silicatos de cálcio suficientes para dar ao material, em pó, propriedades hidráulicas.

Cal hidratada - Hidróxido de cálcio; um pó seco obtido pelo tratamento da cal-viva (cal virgem) com água.

Cal livre - Óxido de cálcio (CaO), do clinker ou do cimento, que ainda não se combinou com SiO_2 , Al_2O_3 ou Fe_2O_3 durante o processo de cozimento, devido, geralmente, à queima insuficiente, ou moagem insuficiente dos materiais crus, ou pela presença de inibidores.

Cal virgem (cal-viva) - Óxido de cálcio (CaO).

Calcário - Rocha de origem básica sedimentar. Quanto ao processo de formação pode ser classificado em: a) calcário de origem química: precipitação inorgânica de carbonato

de cálcio ou solubilizações posteriores (ex.: caliche, estalactites etc.); b) calcário organogênico: proveniente de organismos animais ou vegetais cujos esqueletos foram acumulados e parcialmente sedimentados (ex.: chalk, calcário coralígeno etc.); c) calcário clástico: originado a partir de detritos de rochas calcárias ressedimentadas (ex.: margas, calcários brechados etc.); d) calcário cristalino: massa calcária de qualquer origem, que por processos diagenéticos ou por reprecipitação sofreram recristalização, gerando cristais visíveis de calcita; e) calcário metamórfico: as estruturas originais da rocha foram reformadas. **Petr.** - Rocha sedimentar de origem química, orgânica clástica, constituída predominantemente de carbonato de cálcio, em especial, calcita. Estando associadas à calcita outras substâncias em porcentagens mais ou menos elevadas, a rocha denomina-se: calcário dolomítico, calcário magnesiano, calcário betuminoso, calcário silicoso etc.

Calcedonia - Variedades de sílica microcristalina transparente ou translúcida.

Calcinar - Alterar a composição, de um estado físico pelo aquecimento, abaixo da temperatura de fusão; transformar o carbonato de cálcio, a uma temperatura elevada, em óxido de cálcio para obter a cal.

Cálcio - O elemento metálico branco-prateado, do grupo dos minerais alcalino terrosos, e que ocorre somente combinado com outros elementos.

Calcita - O mineral contendo carbonato de cálcio (CaCO_3) e uma estrutura cristalina específica; o principal constituinte dos calcários e mármore; usado como principal constituinte na produção de Cimento Portland.

Calda - A mistura de material aglutinante e água, dosada para produzir uma consistência compatível com o sistema de aplicação, sem segregação dos constituintes; mistura de outros constituintes, mas de consistência semelhante.

Calda Binghamiana - Calda cujo comportamento é compatível a um fluido de Bingham, ou seja, fluido cujo escoamento só pode ser iniciado a partir de um certo valor de esforço atuante, denominado limite de escoamento, que representa uma certa coesão do fluido. Tal valor é expresso pela fórmula de Bingham:

$$F = f_o + U (dv/dz)$$

F = força aplicada

f_o = limite de escoamento

U = viscosidade plástica

dv/dz = gradiente de velocidade.

As caldas de cimento recém-preparadas são caldas Binghamianas.

Calda coloidal - A calda que possui uma coesão, ou habilidade induzida artificialmente, de modo a manter partículas sólidas dispersas em suspensão.

Calda de epóxi - A mistura de resina de epóxi e catalisador.

Calda estável - Calda cujo fator de sedimentação é muito baixo ou nulo. As caldas de cimento são normalmente consideradas estáveis.

Calda instável - Calda com alto fator de sedimentação. Cargas de cimento com alta relação água/cimento são normalmente consideradas instáveis.

Calda Newtoniana - Calda que se comporta com um fluido Newtoniano, ou seja, em regime laminar apresenta um gradiente de velocidade proporcional ao esforço atuante. A água é um fluido Newtoniano. Certas caldas preparadas com monômeros orgânicos (acrilamidas, fenoplastos etc.) são caldas Newtonianas.

Calibração - A calibração consiste geralmente em uma operação de aferição do instrumento, realizada em laboratório, onde submete-se o aparelho a variações conhecidas da grandeza medida, associando-se em uma curva de calibração os valores reais com os valores indicados pelo instrumento.

Calibrar - Aferir.

Cálibre - Instrumento usado para calibrar.

Caliche - Cascalho, areia e resíduos desérticos cimentados por carbonato de cálcio, nitrato de sódio ou outros sais.

Calor de dissolução - O calor desenvolvido pela solução de material por um solvente.

- Calor de hidratação** - O calor desenvolvido por reações químicas com água, como aquelas que ocorrem durante a pega e o endurecimento de Cimento Portland. É a diferença entre o calor de dissolução do cimento seco e aquele do cimento parcialmente hidratado.
- Calor específico** - A quantidade de calor necessária a cada unidade de massa para elevar unitariamente a temperatura, em uma certa variação de temperatura.
- Caloria** - Quantidade de calor necessária para elevar de 14,5°C a 15,5°C a temperatura de uma grama de água e que é igual a 4,18 joules.
- Calorímetro** - Aparelho para medir a liberação de calor durante uma reação química como, por exemplo, a hidratação do cimento.
- Camada** - O concreto colocado entre duas sucessivas juntas horizontais de construção; normalmente constituída de várias subcamadas.
- Câmara atensorial** - Recipiente utilizado para isolar, no interior de uma estrutura de concreto, um cilindro de concreto do estado de tensões circunjacentes. É constituído por um recipiente metálico com a forma de um vaso cilíndrico, no qual o fundo e as paredes são formados por duas chapas metálicas delgadas entre as quais é deixado um vazio. Dessa forma o extensômetro corretor, que é instalado em seu interior, fica sujeito apenas às deformações provocadas por variações de temperatura, de umidade ou pelas variações volumétricas autógenas.
- Câmara de cura a vapor** - A câmara ou recipiente para efetuar a cura a vapor.
- Câmara úmida** - O compartimento onde a atmosfera é mantida a uma temperatura padrão (normalmente 23,0 +/- 1,7°C) e a uma umidade relativa de no mínimo 98%, com a intenção de sazonalização de corpos de prova de argamassa, pasta ou concreto; o ambiente deve ser mantido nas condições padronizadas.
- Caminhão betoneira** - Caminhão possuindo uma betoneira (misturador) montada sobre o chassi, capaz de misturar e transportar adequadamente o concreto.
- Campo de leitura** - Campo de leitura de um instrumento vem a ser o intervalo compreendido entre as leituras mínima e máxima desse instrumento, sem que o mesmo seja submetido a nenhuma alteração.
- Capacidade de exsudação** - A relação do volume de água liberada pela exsudação e o volume de pasta ou argamassa.
- Capreamento** - A superfície plana e lisa obtida pela aplicação de material adequado sobre as superfícies de apoio dos corpos de prova, de modo a assegurar a distribuição uniforme de carga durante o ensaio.
- Capilaridade** - O movimento de um líquido nos interstícios de um material, pela ação da tensão superficial.
- Carbonatação** - A reação entre o dióxido de carbono e um hidróxido ou um óxido para formar um carbonato; nos concreto, argamassas e pasta de cimento, é a reação com os compostos de cálcio, produzindo o carbonato de cálcio.
- Carbonato** - Diz-se dos minérios secundários caracterizados pela estrutura aniônica fundamental: CO_3 Exemplo: calcita (CaCO_3), dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$, aragonita (CaCO_3), siderita (Fe_3CO_3), magnesita (MgCO_3).
- Carboneto de silício** - Produto artificial (SiC), que sob forma granular pode ser adicionado na superfície de concreto para aumentar a resistência ao desgaste, ou discos de corte (ver também Corte com disco).
- Carga** - Esforço externo devido à ação da gravidade.
- Carga acidental** - Carga que se considera não atuando permanentemente.
- Carga de fissuração** - A carga que dá origem a uma tensão de tração, superior à resistência à tração do concreto em uma peça.
- Carga de flambagem** - Carga sob a qual flamba a estrutura ou uma de suas peças.
- Carga de ruptura** - Carga sob a qual se rompe a estrutura ou uma de suas peças.
- Carga limite de deformação** - Carga sob a qual a estrutura ou uma de suas peças atinge o limite de deformação que lhe é prescrito.
- Carga limite de deformação** - Carga sob a qual a estrutura ou uma de suas peças atinge o limite de fissuração que lhe é prescrito.

- Carga móvel** - Carga acidental que se desloca relativamente à estrutura em que atua, conservando a posição relativa dos esforços que a compõem.
- Carga permanente** - Carga que se considera aplicada permanentemente.
- Carote** - Ver Testemunho.
- Cascalho** - Depósito natural de fragmentos de rochas arredondados e inconsolidados. Consiste predominantemente de partículas maiores que areia. Material granular, predominantemente retido na peneira de malha nº 4 (4,8 mm), resultante de um processo de desintegração e/ou abrasão.
- Cascalho britado** - O produto resultante de britagem artificial de cascalho com um número mínimo especificado de fragmentos, tendo uma ou mais faces resultantes da britagem.
- Cataclástica (textura)** - Textura de rochas caracterizada pela aparência fendida dos constituintes, onde o esmagamento e fragmentação dos cristais resultaram de movimentos pós-consolidação. Se a granulação e o cisalhamento dos cristais são extremos, denomina-se milonítica.
- Catalisador** - A substância que inicia uma reação química e dá condições para que a mesma prossiga dentro de certas condições, o que não ocorreria na sua ausência.
- Caulinita** - A rocha, normalmente branca, constituída fundamentalmente de argilas do grupo da caulinita, compostas por silicatos de alumínio hidratado, de baixo teor de ferro, usado como matéria-prima na produção de cimento branco.
- Célita** - Designação usada por Tornebohm para identificar o cálcio alumino-ferrita (C_2AF) que compõe o Cimento Portland.
- Célula de carga** - Instrumento empregado para verificar o comportamento da carga atuante. É constituído geralmente por um cilindro metálico de alta resistência, em cujo interior se aloja um transdutor que transforma a deformação em impulso elétrico.
- Célula de carga para tirante** - Instrumento empregado para o controle da carga de protensão em tirantes e chumbadores.
- Célula pneumática de recalque** - Instrumento destinado à medição de recalques, constituído por uma célula dotada de um transdutor pneumático, que transforma a grandeza do recalque em pressão pneumática. Aplica-se a medição de recalque em aterro e fundações.
- Célula de pressão** - Instrumento utilizado para observação de pressões em estruturas de concreto, solo ou enrocamento. Consiste geralmente em uma almofada plana metálica, que fica alojada no interior do concreto, solo ou enrocamento, cujo princípio de funcionamento pode ser elétrico (resistência variável ou corda vibrante), pneumático ou hidráulico.
- Célula de pressão hidráulico-pneumática** - Esta célula apresenta os mesmos dispositivos constituintes da célula de pressão total hidráulica (vide), sendo que a pressão atuante sobre o diafragma da válvula é transmitida hidráulicamente, enquanto a pressão aplicada do outro lado para equilibrá-la, o é pneumaticamente.
- Célula de pressão total de corda vibrante** - Instrumento utilizado para medição de pressão em maciços. A pressão ao atuar sobre uma almofada plana provoca, através de um sistema hidráulico, a deflexão de um diafragma. Esta deflexão é medida por um transdutor de corda vibrante que permite, através de uma calibração prévia do instrumento, determinar a pressão que está atuando sobre a almofada.
- Célula de pressão total hidráulica** - Instrumento utilizado para medição de pressão em maciços. A pressão, ao atuar sobre a almofada plana, provoca o fechamento de uma válvula que interrompe o fluxo de óleo entre os tubos de entrada ou saída. Eleva-se, então, lentamente a pressão na tubulação de entrada, até que esta, ao igualar a pressão que atua sobre a almofada plana, abre a válvula que provoca o fluxo pela tubulação de saída. A leitura da pressão é fornecida por manômetro conectado à tubulação de entrada.
- Central de concreto** - A instalação com equipamentos, incluindo dosadores, misturadores, para produzir argamassas ou concreto.
- Central de leitura** - Local onde são reunidos os cabos de vários instrumentos (instalados nas proximidades), para facilitar a sua leitura. Na central de leitura localizam-se geralmente

as caixas seletoras e os equipamentos de leitura. Estas localizam-se, por sua vez, em recessos ou nichos situados nas galerias de acesso ou de drenagem.

Central misturadora de concreto - O misturador estacionário, de onde o concreto fresco, misturado, é transportado para a obra.

Chata - (Fôrma do agregado). Partícula do agregado que possui a relação da largura para a espessura de um prisma retangular circunscrito, maior que um valor especificado.

Chata e alongada - Ver **Chata** e ver **Alongada**.

Chaveta - O recesso ou ranhura em uma camada ou lançamento de concreto que, preenchido por concreto na próxima camada, proporciona resistência ao cisalhamento na junta formada.

Chert - Rocha silicosa de granulação muito fina, caracterizada pela dureza e fratura conchoidal; é composta por sílica na forma de calcedônia, quartzo microcristalino ou opala, ou combinações destes.

Chert opalino - Chert composto integral ou principalmente por opala.

Chicana - Sistema de degraus, colocados na vertical, porém não em um mesmo plano, para dificultar a queda livre de materiais, de modo a minimizar a segregação e a quebra de partes do material.

Choque térmico - A exposição do material ou corpo, como o concreto parcialmente endurecido, à variação rápida de temperatura, que pode ter um efeito danoso.

Chumbador - Em construção diz-se do dispositivo de fixação de peças no concreto, argamassas ou alvenaria; antigamente o chumbamento se executava pela aplicação de chumbo derretido (chumbado) em orifícios previamente abertos.

Chute - Rampa, tubo ou calha, para conduzir concreto, argamassa, calda, agregado, e outro material possível de fluir livremente, desde um ponto mais alto até um ponto inferior.

Ciclo - Série de fenômenos que se sucedem em uma ordem pré-estabelecida.

Ciclo de cura a vapor - O período de tempo entre o início do período de elevação da temperatura e o término do período de resfriamento (abaixamento da temperatura); e também a sequência de períodos de exposição estabelecida em um ciclo.

Ciclo de mistura - O tempo gasto para completar um ciclo de mistura, ou seja o intervalo de tempo entre duas repetições sucessivas de uma mesma operação (como sucessivas descargas do misturador).

Ciclo em autoclave - O intervalo de tempo entre o início do período da elevação de temperatura e o fim do alívio da pressão; e também o programa de condições de tempo e temperatura, pressão, no período que constitui o ciclo.

Cilindro sensível - Aparelho utilizado para determinação do estado de tensão natural de maciços, a partir de furos de sondagem. É constituído basicamente por um cilindro de resina, no interior do qual se alojam três rosetas de extensômetros elétricos de resistência, um cabo elétrico e um aparelho de leitura.

Cilindros curados *in situ* - Corpos de provas cilíndricos curados em condições mais próximas possíveis das do concreto da estrutura, com a finalidade de indicar a época da retirada de fôrmas; ou de carregamentos adicionais; ou para liberar o uso da estrutura.

Cimbramento - A estrutura temporária usada para suportar fôrmas.

Cimento - Substância em pó utilizada como aglomerante para ligar certos materiais e que umedecida se usa em estado plástico.

Cimento a granel - O cimento que é transportado e armazenado solto; em lugar de sacos, normalmente são usados recipientes especiais.

Cimento aluminoso - Cimento de alto teor de alumina, que se obtém pelo aquecimento até a fusão completa de uma mistura íntima de bauxita e carbonato de cálcio.

Cimento Portland de escória de alto-forno - Cimento hidráulico constituído essencialmente de uma moagem íntima de clínquer de Cimento Portland e escória granulada de alto-forno ou uma mistura uniforme de Cimento Portland e escória de alto-forno moída, dentro de proporções determinadas.

Cimento Portland pozolânico - Cimento hidráulico constituído essencialmente de uma mistura íntima e uniforme de Cimento Portland ou Cimento Portland de escória de alto-forno e

material pozolânico, produzido pela moagem conjunta de clínquer de Cimento Portland e material pozolânico; ou pela mistura de Cimento Portland ou Cimento Portland de escória de alto-forno e material pozolânico fino; ou a combinação desses produtos na moagem, ou misturados dentro de proporções determinadas.

Cimento resistente aos sulfatos - Cimento Portland com baixo teor de (C_3A), de modo a reduzir a suscetibilidade do concreto ao ataque de sulfatos dissolvidos em água ou solos.

Cimento supersulfatado - Cimento hidráulico produzido pela moagem conjunta de uma mistura granulada de alto-forno, sulfato de cálcio e pequenas quantidades de cal, cimento, clínquer de cimento; designado desta forma por possuir um teor equivalente de sulfato, acima do teor de Cimento Portland de escória de alto-forno.

Cinza volante - O resíduo, muito fino, da combustão do carvão pulverizado.

Círculo de Mohr - Representação gráfica das tensões atuando em todos os planos, passando por um ponto de uma massa, num sistema de coordenadas em que as abscissas são as tensões normais e as ordenadas são as tensões de cisalhamento.

Cisalhamento - Força interna tangencial ao plano de atuação.

Clástica - Textura de rochas sedimentares compostas por fragmentos quebrados de rochas ou minerais preexistentes, isolados ou ligados entre si por cimento.

Clástico - Sedimento formado de fragmento de rochas preexistentes. Distinguem-se: macroclásticos (psefitos e psamitos) e microclásticos (pelitos). Os psefitos constituem-se de grãos maiores que os de areia, os psamitos de grãos de tamanho dos de areia e os pelitos de grãos de tamanho dos de silte e argila.

Clinômetro - Aparelho destinado à observação de deslocamentos angulares (rotações) em estruturas de concreto e maciços rochosos.

Clinômetro magnético - Instrumento utilizado em prospecção magnetométrica para medir a inclinação do campo magnético total e, assim, fornecer dados sobre anomalias magnetométricas.

Clínquer - Produto parcialmente fundido em forno e que é moído para produzir o cimento.

Cloreto - Qualquer sal derivado do ácido clorídrico.

Cloreto de cálcio - O sólido cristalino $CaCl_2$; usado como um agente para secagem, como um acelerador no concreto, como descongelante químico.

Cloreto de polivinila (PVC) - Resina sintética preparada pela polimerização de cloretos vinílicos, usada para fabricação de veda-juntas não metálicos para concreto.

Clorídrico - Ácido (HCl).

Clorita - Mineral secundário formado às expensas de silicatos de alumínio, ferro e magnésio. Pode-se encontrar em qualquer rocha constituída por minerais ferromagnesianos primários em vias de alteração (principalmente do tipo hidrotermal).

Cloro - Elemento químico do grupo ns halogênios, utilizado no tratamento de água.

Cobrimento - Em concreto armado, a mínima distância entre a superfície da armadura e a superfície do concreto.

Coeficiente de Darcy - Valor numérico que expressa o coeficiente de permeabilidade.

Coeficiente de dilatação térmica linear - Alongamento correspondente a um aumento unitário de temperatura (ver também Coeficiente de expansão térmica).

Coeficiente de expansão térmica - Variação do volume unitário por volume unitário por grau (centígrado) de variação de temperatura; para um material isotrópico o coeficiente de expansão térmica é o coeficiente linear de expansão térmica (variação do comprimento unitário pelo comprimento unitário por grau de variação de temperatura).

Coeficiente de permeabilidade - A velocidade ou razão de passagem de água, em fluxo laminar, através de uma seção unitária, de um meio poroso, sob um gradiente hidráulico unitário dentro de condições padronizadas de temperatura, normalmente $20^{\circ}C$.

Coeficiente de Poisson - Constante de Lamé que, no elemento de um corpo em estado simples de tensão, é definida pelo quociente, com o sinal trocado, do alongamento principal mínimo pelo alongamento principal máximo. É a relação da deformação transversal para a correspondente deformação longitudinal axial resultante da ação de uma tensão axial uniformemente distribuída, atuando abaixo do limite de proporcionalidade do

material; os valores comumente obtidos estão próximos de 0,2 para o concreto e de 0,25 para vários metais.

Coeficiente de segurança - Coeficiente pelo qual ou se multiplicam as solicitações a fim de efetuar-se o cálculo da estrutura em regime de ruína, ou se dividem as tensões de ruptura ou escoamento do material a fim de fazer-se o cálculo da estrutura em regime elástico.

Coeficiente de variação - É o desvio-padrão expresso como porcentagem da média. (ver também Desvio-padrão).

Coeficiente de viscosidade - Quociente da tensão tangencial pela derivada da distorção correspondente, em relação ao tempo.

Coesão - Resistência de um material aos esforços de cisalhamento verificados ao longo de uma superfície interior que não esteja submetida a pressões normais, mobilizando as forças de tração entre as partículas que o constituem.

Colemanita - O mineral borato de cálcio hidratado ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), utilizado como agregado de elevada massa específica.

Colher - Ferramenta plana de aço, com cabo, usada em determinado estágio das operações de acabamento da superfície do concreto, ou para executar alvenarias.

Colimação - Processo geodésio utilizado para determinação dos deslocamentos horizontais de uma barragem. Consiste no estabelecimento de uma linha de visada fixa, a partir de estações de observação estabelecidas sobre as ombreiras, a partir da qual são determinados os deslocamentos de pontos da estrutura localizados ao longo da crista, das bermas ou de galerias interiores (barragem de concreto).

Colocação - Ver Lançamento.

Colóide - Substância que em condições de divisão impede a passagem por uma membrana semipermeável, constituída por partículas entre 10^{-5} e 10^{-7} cm de diâmetro.

Colorimétrico - Relativo à colorimetria; análise feita por comparação de cores.

Compactação - Processo pelo qual o volume de argamassa ou concreto fresco é reduzido ao menor espaço praticamente disponível, normalmente por vibração, centrifugação, apiloamento ou combinações destes procedimentos.

Combinação de agregados - O processo de misturar dois ou mais agregados para obtenção de determinadas características.

Composto de cura - O líquido que pode ser aplicado como proteção da superfície de concreto lançado de modo a retardar a perda de água ou no caso de compostos pigmentos, também refletir o calor, dando condição de o concreto desenvolver suas propriedades em ambiente favorável de temperatura e umidade.

Composto expansivo - O componente de um cimento expansivo responsável pela expansão; normalmente um dos vários compostos aluminatos de cálcio, anidros ou sulfoaluminatos e um sulfato, com ou sem cal livre (CaO). O agente composto expansivo pode ser produzidos separadamente e depois misturado (ou moído) junto com Cimento Portland normal e em outras ocasiões aquecido junto dos constituintes do Cimento Portland.

Compressão excêntrica - Estado de uma barra em que os esforços solicitantes são só momentos fletores e forças normais de compressão. Na prática é considerada como caso particular da flexão composta, com força cortante nula.

Compressão simples - Estado de uma barra os esforços solicitantes são só forças normais de compressão.

Comprimento de ancoragem - O comprimento embutido da armadura além da seção crítica.

Concretagem - Conjunto de operações que englobam o transporte, a colocação e a compactação (ver também Lançamento).

Concreto - Mistura em proporções fixadas em aglutinantes com água e agregados miúdo e graúdo, e eventualmente aditivos de modo a vir formar uma massa compacta, de consistência desejada e que endureça com o transcorrer do tempo.

Concreto aerado - Ver Concreto celular.

Concreto aluminoso - Concreto produzido com cimento aluminoso; usado quando se requer elevada resistência inicial ou resistência à corrosão, ou propriedades refratárias.

- Concreto armado** - Concreto possuindo uma armadura (protendida ou "frouxa") e projetada de modo que os dois materiais atuem conjuntamente para resistir a esforços externos.
- Concreto aparente** - (Ver Concreto exposto).
- Concreto asfáltico** - Mistura de ligante asfáltico e agregados.
- Concreto áspero** - Concreto com falta de finos, de difícil condição de acabamento.
- Concreto autotensionado** - O concreto, argamassa ou calda, com cimento expansivo no qual a expansão quando contida provoca tensões de compressão do material.
- Concreto bombeado** - Concreto que é transportado através de tubulações rígidas ou flexíveis por meio de bombeamento.
- Concreto celular** - Um produto leve constituído de Cimento Portland, cimento pozolânico, cal-pozolana ou pasta de sílica-cal, pasta contendo misturas destes ingredientes ou adição de agente formador de espuma, ou pela formação de gás antes do endurecimento da massa, tendo uma distribuição uniforme de vazios, ou uma estrutura celular semelhante à obtida por agentes químicos gasosos.
- Concreto ciclópico** - Concreto massa sendo que partículas de agregados graúdos de grandes dimensões (50 kg ou mais) são lançadas junto ao concreto recém-lançado.
- Concreto coloidal** - Mistura de agregados aglutinados por uma calda ou argamassa coloidal.
- Concreto com agregado pré-colocado** - Concreto produzido pela injeção de argamassa de Cimento Portland e, eventualmente, aditivos, por entre vazios de agregado graúdo previamente colocado entre as fôrmas.
- Concreto com cimento e polímero** - A mistura fresca de água, cimento hidráulico agregado e um monômero ou polímero, que se polimeriza no local.
- Concreto de alta resistência inicial** - Concreto capaz de atingir resistência específica a uma baixa idade, mais rapidamente que um concreto normal, pelo uso de cimento de alta resistência inicial ou de aditivos.
- Concreto de baixa densidade** - (concreto leve) - (concreto de baixa massa específica) - Concreto com massa específica (densidade - peso ou massa unitária) inferior a 800 kg/m³.
- Concreto de epóxi** - A mistura de resina de epóxi, catalisador e agregados miúdos e graúdos.
- Concreto a vácuo** - Concreto do qual se retira antes da pega, água e ar aprisionado, pela ação de um sistema de vácuo.
- Concreto de vermiculita** - Concreto produzido com agregados de vermiculita.
- Concreto denso** - Concreto com um mínimo de vazios.
- Concreto dental** - Mistura de cimento, areia e agregado graúdo (concreto magro) utilizado no preenchimento de pequenos bolsões e fendas e na regularização de taludes de rocha, no sentido de uniformizar a superfície de fundação de aterros ou outras estruturas.
- Concreto descontínuo** - Concreto produzido com agregado descontínuo.
- Concreto estrutural** - Concreto usado para suportar esforços ou fazer parte integrante da estrutura; concreto de determinada qualidade designada para fins estruturais; concreto usado somente como camada de proteção ou isolamento, não é considerado estrutural.
- Concreto exposto** - (aparente) - Concreto para fins arquitetônicos cujas fases são moldadas de modo a ter certa textura e acabamento, para permanecer à vista.
- Concreto fibroso** - Concreto contendo fibras distribuídas ao acaso.
- Concreto gordo** - Concreto muito argamassado e consistente.
- Concreto in situ** - Concreto aplicado no local desejado, fazendo parte de uma estrutura.
- Concreto leve** - Concreto de baixa densidade.
- Concreto magro** - (concreto pobre) - Concreto de baixo teor de aglomerante.
- Concreto monolítico** - Concreto moldado sem juntas, a não ser as de construção.
- Concreto massa** - Qualquer volume de concreto com dimensões o suficientemente grandes para exigir precauções, para reduzir a geração de calor devido a hidratação, reduzindo as variações de volume e minimizando a ocorrência de fissuras.

- Concreto normal (de densidade normal)** - (de densidade normal) - Concreto possuindo massa específica em torno de 2400 kg/m^3 , produzido com agregado de massa específica normal.
- Concreto pesado** - (concreto de elevada densidade - massa específica) - Concreto de elevada massa específica, normalmente obtido pelo emprego de agregado de elevada massa específica, usado especialmente para blindagem contra radiações.
- Concreto pobre** - Ver Concreto magro.
- Concreto polímero** - Concreto no qual o polímero orgânico é usado como ligante, também conhecido como concreto de resina. Expressão algumas vezes empregada incorretamente para designar concretos ou argamassas de cimento hidráulico, onde parte ou toda água de mistura foi substituída por um agente dispersor ou um termoplástico copolímero.
- Concreto pouco argamassado** - Concreto com proporção insuficiente de agregado miúdo para dar as adequadas propriedades da mistura fresca, principalmente trabalhabilidade e características de acabamento (ver também Concreto áspero).
- Concreto pré-moldado** - Concreto moldado em qualquer outro lugar que não o definitivo; contrário de Concreto *in situ*.
- Concreto projetado** - Concreto transportado e lançado pneumaticamente, sendo que a maior parte da água de mistura é adicionada no bico de projeção.
- Concreto protendido** - O concreto no qual tensões internas de magnitude e distribuição desejadas são aplicadas de modo a contrabalançar de modo planejado as tensões de tração decorrentes das solicitações de serviço.
- Concreto refratário** - Concreto possuindo propriedades refratárias e adequado para uso em temperaturas elevadas (geralmente entre 315°C e 1315°C), sendo que o agente aglutinante é o cimento hidráulico.
- Concreto resistente ao calor** - Qualquer concreto que não se deteriora quando exposto ao calor, deforma constante ou cíclica, a uma temperatura abaixo da qual se forma uma ligação cerâmica.
- Concreto rico** - Concreto com elevado teor de aglomerante.
- Concreto rolado** - (concreto adensado com rolo vibratório) - Concreto de cimento hidráulico, dosado de tal forma a não apresentar trabalhabilidade, medida pelo tronco de cone e que pode ser transportado, colocado e compactado por meio de equipamentos de construção de maciços de terra e rocha.
- Concreto sem finos** - Concreto contendo pouco ou nenhum agregado miúdo.
- Concreto simples** - Concreto não armado.
- Concreto tremie** - Concreto para ser aplicado de baixo d'água, pelo uso do "tremie".
- Concreto verde** - Concreto que já atingiu a pega, mas ainda não endureceu de maneira apreciável.
- Concreto vibrado** - Concreto compactado pela ação da vibração, durante o lançamento.
- Condutividade** - Capacidade de um material conduzir a corrente elétrica. Nos materiais isotrópicos, a condutividade é o inverso da resistividade.
- Condutividade térmica** - A propriedade de um corpo homogêneo medida pela relação do fluxo de calor (velocidade de passagem de calor por área unitária) em regime, para um gradiente de temperatura (diferença de temperatura por comprimento unitário de passagem de calor), na direção normal à área.
- Cone de abatimento** - (cone de slump) - O molde tronco-cônico com base de diâmetro 200 mm, topo com diâmetro 100 mm e altura de 300 mm, usado para moldar um corpo de prova de concreto fresco para o ensaio do abatimento.
- Cone de escoamento** - (cone de flow) - O dispositivo usado para a medida da consistência de caldas, onde um determinado volume de calda é escoado por um bico de dimensões padronizadas, sendo tempo de escoamento o indicador da consistência. No ensaio de pasta ou de argamassa é o molde usado para moldagem do corpo de prova para o ensaio de escoamento (mesa de flow).
- Confiabilidade (de leituras)** - Confiabilidade compreende a precisão das leituras sob condições normais de operação, junto com a habilidade de confirmar leituras erradas pela

comparação com um outro instrumento instalado em posição similar ou a habilidade de recalibrar ou confirmar a leitura zero *in situ*.

Conglomerado - Rocha sedimentar clástica, formada de fragmentos arredondados de diâmetro superior a 2 mm e interligados por um aglutinante qualquer.

Consistência - A relativa facilidade, mobilidade ou habilidade de uma mistura de argamassa ou concreto fresco em fluir; a medida usual da consistência do concreto é o abatimento pelo tronco de cone (Slump); da argamassa ou calda é o escoamento e da pasta de cimento é a resistência a penetração.

Consistência normal - A condição física da pasta de cimento determinada pela agulha de Vicat de acordo com ensaio padronizado; o grau de umidade (ou aspecto) apresentado pelo concreto argamassa ou calda quando a trabalhabilidade da mistura é considerada aceitável para os fins que se propõe.

Consistência plástica - Condição de uma mistura fresca de pasta argamassa ou concreto tal que as deformações são mantidas continuamente em todas as direções sem se desagregar; concreto com coesão, normalmente com abatimento entre 80 mm e 100 mm.

Consolidação - (concreto) - Ver Compactação.

Consolidação - (injeção) - O processo de injeção de calda de cimento, sob pressão em certos maciços (cascalho, rocha fraturada) para solidificação.

Constantes elásticas - Coeficientes a expressão analítica da lei de Hooke generalizada, ou quaisquer das suas combinações.

Contração - Deformação em que há diminuição de volume.

Contraforte - A estrutura projetada para suportar um muro ou edifício.

Coordinômetro - É o aparelho com o qual se determina a posição do fio do pêndulo, direto ou invertido, em relação à estrutura cujo deslocamento se está medindo.

Cordoalha - Elemento tensor, para proteção, constituído por fios de aço torcidos em torno de um fio central.

Correia transportadora - O equipamento para transporte de materiais; geralmente denominado esteira transportadora.

Corrida - Conjunto de operações no processo de fabricação de aços correspondente ao carregamento, fusão, refino e vazamento; fornada.

Corrosão - Desgastes, desintegração ou modificação química ou estrutural de um material, provocado pela ação química ou eletroquímica e espontânea de agentes do meio ambiente.

Corrosão por bactérias - A destruição de um material por processo químico pela ação de certas bactérias que podem produzir substâncias, tais como ácido hidrossulfúrico e sulfeto de amônia.

Corrosão sob tensão - A corrosão de um metal causada ou acelerada pela tensão.

Corte - (estruturas) - Estado de um trecho de barra em que são desprezíveis os esforços solicitantes que não sejam forças cortantes.

Corte - (concreto) - Tratamento das juntas horizontais de construção, para a remoção de todo o material superficial e as contaminações até a condição de limpeza e textura correspondente a da superfície de concreto recém-partido (rompido), fraturado.

Corte com disco - Operação de cortar o concreto endurecido usando disco de diamante ou de carboneto de silício.

Costura - Em serviços de concretagem, a operação de interligar subcamadas e/ou a "cabeça" (frente) de concreto, através do uso de vibradores de imersão.

Creep - Ver Fluência.

Cura - Ver Sazonamento.

Cura a vapor - A cura do concreto ou argamassa, sob vapor de água a determinada pressão e temperatura (normalmente entre 40°C e 215°C).

Cura adiabática - A manutenção das condições adiabáticas durante o período da cura do concreto ou da argamassa, evitando a troca de calor com o meio ambiente.

Cura em autoclave - A cura de produtos de concreto, ou cimento, em autoclave com temperatura geralmente entre 170°C e 215°C.

Curva de Fuller - A curva empírica para a graduação de um agregado; também conhecida por curva granulométrica ideal de Fuller-Thompson; a curva obtida pelo ajuste de uma parábola ou elipse à tangente em um ponto no qual a dimensão do agregado é um décimo da dimensão máxima.

Curva granulométrica - A representação gráfica das diversas porções de diferentes dimensões das partículas de um material, obtida pela locação das porcentagens individuais ou acumuladas do material que passa em cada peneira de uma série, em um gráfico.

D

Dacito - Rocha magmática extrusiva equivalente ao granodiorito. Contém plagioclásio, quartzo, ortoclásio ou sanidina e, em menor quantidade, piroxênio, antiólio ou biotita, podendo ocorrer sob a forma de fenocristais. A massa fundamental pode conter algum vidro.

Danos por cavitação - Cavidades que ocorrem no concreto pela implosão (colapso) de bolhas de vapor no fluxo de água, que se formam em áreas de baixa pressão e implodem quando entram nas regiões de alta pressão.

Defletômetro - Instrumento utilizado para a observação de deslocamentos.

Deflexão - A variação na posição ou forma de uma estrutura ou parte, devido ao efeito de cargas ou variações de volume, normalmente medida como variação linear de um plano estabelecido, em lugar da variação angular.

Deformação - Mudança de forma ou dimensões de um corpo por efeito de solicitações exteriores ou por ação do seu peso próprio.

Deformação contínua - Deformação devido à fluência, geralmente lenta.

Deformação elástica - Deformação proporcional à tensão e reversível. O corpo readquire as dimensões originais após a retirada dos esforços. Parcela da deformação que desaparece após a retirada da solicitação que a causou.

Deformação função do tempo - Efeitos combinados de variação autógena de volume, contração, fluência, expansão, retração e escoamento que ocorrem durante um período de tempo apreciável.

Deformação higrométrica - Deformação devido à variação de umidade.

Deformação lenta - Deformação que se processa no tempo, sem alteração da solicitação atuante.

Deformação linear - Variação do comprimento. Geralmente considera-se positiva quando há aumento de comprimento e negativa no caso contrário.

Deformação linear específica (alongamento) - Quociente da deformação linear de um segmento pelo comprimento inicial desse segmento. O alongamento é positivo se houver aumento do segmento e negativo caso contrário.

Deformação permanente - Deformação residual que se mantém no tempo.

Deformação plástica - Parcela da deformação que permanece sem alteração de volume, depois de retirada a solicitação que a causou.

Deformação residual - Deformação existente num dado instante, depois de retirada a solicitação.

Deformação superficial - Variação da área de uma superfície. Geralmente considera-se positiva quando há aumento de área e negativa caso contrário.

Deformação térmica - Deformação devido à variação de temperatura.

Deformímetro - O mesmo que extensômetro para concreto (vide).

Deletério - Que danifica, destrói.

Densidade (massa específica) - Relação entre massa e volume de um corpo.

- Densidade absoluta (massa específica absoluta)** - A relação entre a massa de um dado volume de material e a massa de água destilada correspondente ao mesmo volume e à mesma temperatura.
- Densidade aparente (massa específica aparente)** - A relação da massa, ao ar, de um dado volume a certa temperatura, para a massa também ao ar, de um igual volume de água destilada à mesma temperatura. Se o material for sólido, o volume corresponde ao da parte impermeável.
- Densímetro** - Instrumento que fornece a densidade de um líquido.
- Desempenadeira** - Ferramenta plana, de aço ou madeira, com um cabo, usada em determinado estágio das operações de acabamento da superfície do concreto.
- Desempenamento** - A operação para retirar o concreto em excesso, durante o acabamento do concreto, ou para nivelar a superfície; normalmente executado por desempenadeira (metálica ou de madeira) ou por máquina acabadora (ver também Sarrafeir).
- Desforma** - Ver desmoldagem.
- Desintegração** - Deterioração em pequenos fragmentos ou partículas, devido a alguma causa.
- Deslocamento (escorregamento da ancoragem)** - A perda de alongamento ou tensão do elemento tensor devida ao deslocamento da ancoragem ou escorregamento do elemento tensor.
- Desmoldagem** - Retirada da forma de corpos de concreto ou de peças previamente moldadas.
- Desvio padrão** - Medida de dispersão de um conjunto de valores expresso pela raiz quadrada da variância. É a raiz quadrada da média quadrática das diferenças entre valor médio e os valores individuais.
- Diagrama tensão-deformação** - Diagrama de coordenadas cartesianas ortogonais que representa, nas ordenadas, a tensão principal não nula e, nas abscissas, o alongamento principal correspondente, observados num corpo homogêneo e isotrópico, cujos pontos se acham todos no mesmo estado simples de tensão.
- Diâmetro máximo do agregado (DM_{áx.})** - Ver Tamanho máximo do agregado.
- Diatomíto** - Rocha sedimentar silicosa de origem orgânica (acaustobiólito), formada pelo acúmulo de carapaças ou algas diatomáceas. Apresenta, geralmente, cerca de 50% de porosidade.
- Dicálcio-silicato** - Ver Silicato dicálcico.
- Difração por raio "X"** - A difração de raios "X", pela passagem através de substâncias; o fenômeno usado para identificar substâncias pelo arranjo atômico.
- Dilatação** - Deformação de um corpo, ou de um elemento seu, cuja forma geométrica se mantém semelhante à forma primitiva. A dilatação é positiva se houver aumento de dimensões, e negativa (contração) no caso contrário.
- Dilatação térmica** - Dilatação devido à variação de temperatura.
- Diluyente** - A substância líquida ou sólida que se mistura a constituintes ativos de uma formulação, para aumentar ou diminuir a concentração.
- Dimensão máxima do agregado** - Ver Tamanho máximo do agregado.
- Dinamômetro** - Aparelho destinado à medição de forças por meio da deformação causada por estas sobre um sistema elástico. É constituído geralmente por mola ou por anel metálico, cuja deformação (diametral no caso do anel) é diretamente proporcional ao esforço que se deseja medir.
- Diodo** - Válvula eletrônica que contém somente dois eletrodos, o cátodo e a placa. Elemento semicondutor bipolar que permite a passagem de corrente somente em um sentido.
- Diorito** - Rocha plutônica, granular, praticamente sem quartzo, com plagioclásio intermediário e minerais ferromagnesianos, em especial hornblenda.
- Dique** - Construção sólida para represar águas correntes; em geologia é a massa rochosa de forma tabular discordante, que preenche uma fenda aberta que seccionou outra rocha préexistente.
- Dispersão** - Em estatística é a flutuação de uma variável aleatória de um conjunto de observações; variação do resultado de uma experiência que visa medir uma variável aleatória no

decorrer de uma seqüência de observações. Em ótica é a diferença entre os índices de refração de meios distintos.

Dispersante - O material que atua como defloculante ou dispersos sobre materiais muito finos, impedindo a aglutinação de partículas.

Distanciômetro eletro-óptico - Instrumento destinado à medição precisa de distâncias em geodésia. A determinação da distância é geralmente processada por um computador incorporado ao aparelho, que calcula a distância horizontal e a diferença de nível entre o distanciômetro e o ponto de medição. Utiliza, normalmente, um feixe de luz infravermelha, que é projetado sobre uma mira refletora especial fixada sobre a estrutura cujo deslocamento se pretende medir. A distância é calculada computando-se o tempo gasto entre a emissão e a recepção do feixe de luz pelo instrumento. Tem sido grande a aplicação na medição dos deslocamentos horizontais de barragens de concreto, nos processos de trilateração e de triangulateração.

Difusividade térmica - É a condutividade térmica dividida pelo produto do calor específico e a densidade (massa específica); é um índice que representa a facilidade com que o material troca calor.

Dolomita - Mineral que possui uma estrutura cristalina específica, constituído por carbonatos de cálcio e magnésio em quantidades (equivalente químico) de 54,27% e 45,74% em massa respectivamente; a rocha que contém dolomita como principal constituinte.

Dolomito - Rocha sedimentar constituída predominantemente de dolomita (carbonato de cálcio e magnésio).

Dosador - O recipiente usado para medir a massa ou volume dos constituintes da argamassa ou concreto.

Dosador automático - O dosador equipado com comportas e válvulas, que são operadas automaticamente ao se dar início ao ciclo de dosagem, para a dosagem e descarga de cada material. O sistema possui travas que impedem a recarga antes de os dosadores serem descarregados, das comportas serem fechadas e que as comportas não sejam abertas antes de se atingir o valor da dosagem.

Dosador manual - O dosador equipado com comportas e válvulas, operadas manualmente, com ou sem auxílio de sistema pneumático, hidráulico ou elétrico. A acuracidade da dosagem depende das condições de observação do operador.

Dosador semi-automático - O dosador equipado com comportas e válvulas que são operadas manualmente para a dosagem do material e que automaticamente se fecham ao atingir o valor indicado.

Dosar - Ver Proporcionar.

Drenagem - A coleta e retirada de água de uma área.

Dúctil - Que possui ductilidade (ver Ductilidade).

Ductilidade - Propriedade dos materiais que apresentam grandes deformações antes de se romperem.

Dunito - Rocha ígnea ultramáfica composta quase que exclusivamente de olivina.

Durabilidade - A capacidade do material de resistir às intempéries, ataque, abrasão e outras condições durante a vida útil.

Dureza - Resistência que o material oferece ao esforço exercido na sua superfície sob determinadas condições padronizadas; propriedade característica de águas naturais, relativas ao seu maior ou menor teor em sais carbonatados.

Dureza da água - Propriedade da água devido à presença de bicarbonatos, cloratos e sulfatos de cálcio e magnésio. Águas de elevada dureza podem produzir incrustações pela precipitação de crostas de CaCO_3 em condutos e impedir a formação de espuma de sabões. É usualmente expressa em mg/l de CaCO_3 equivalente.

E

- Ebonite** - Substância dura e negra obtida pela vulcanização de borracha, com excesso de enxofre.
- Ebulição** - Vaporização de um líquido sob pressão igual a sua pressão vapor.
- Eficiência** - Ver Rendimento.
- Eficiência do misturador** - A capacidade do misturador em produzir uma mistura homogênea dentro de certo período; a homogeneidade é determinada pelo ensaio para avaliar a diferença relativa das propriedades de amostras coletadas de diferentes porções da mistura recém-produzida.
- Eflorescência** - O depósito de sais, normalmente branco, formado na superfície, sendo que a substância emergiu em solução do concreto ou argamassa e depositou-se por evaporação. (Nata) - A camada de material fraco pouco resistente às intempéries contendo cimento e finos do agregado, carregado pela água de exsudação até a superfície do concreto fresco, cuja quantidade geralmente aumenta pelo excesso de acabamento, vibração ou manuseio do concreto.
- Eixos principais de inércia** - Duas retas ortogonais, passantes por um dado, em relação as quais é nulo o momento centrífugo da seção. Os momentos de inércia a elas referentes são o maior e o menor de todos os relativos a retas passantes pelo mesmo ponto.
- Elastômero** - Polímero com propriedades físicas semelhantes às da borracha.
- Elasticidade** - Propriedade de um corpo recuperar a sua forma primitiva quando deixa de atuar a solicitação que produziu a sua deformação.
- Elasticidade instantânea** - Elasticidade em que a recuperação da forma inicial do corpo se faz logo que cessa de atuar a solicitação.
- Elasticidade perfeita** - Elasticidade que se caracteriza pela existência de uma relação linear e homogênea entre as componentes do estado de tensão e as componentes a deformação.
- Elasticidade retardada** - Elasticidade em que a recuperação da forma inicial do corpo não se faz logo que cessa de atuar a solicitação.
- Eletrólise** - A produção de variações químicas pela passagem da corrente de uma fonte.
- Elevação de temperatura** - O aumento da temperatura causada pelo calor ou pela geração interna de calor, tal como a decorrente da hidratação do cimento no concreto.
- Emenda** - A união, ou ligação, de uma barra de armadura a outra através de transpasse, solda, dispositivos mecânicos ou outro sistema.
- Emenda por solda de topo** - A emenda de barras através da soldagem dos topos.
- Emenda por transpasse** - A união da armadura feita pela sobreposição das extremidades das barras.
- Emulsão** - Sistema físico-químico que contém duas fases, uma das quais, a fase dispersa, está extremamente subdividida e imersa na outra, a fase dispersora.
- Enchimento de junta** - Material compressível usado para preencher uma junta, de modo a impedir a infiltração de detritos e dar suporte para o selante.
- Encruamento** - Fenômeno de aumento da tensão limite de elasticidade de um material, como efeito de aplicação de uma deformação plástica a frio.
- Endotérmico** - Reação em que há ganho de calor.
- Energia de distorção** - Energia despendida para efetivar a distorção pura dos elementos de um corpo.
- Energia de dilatação** - Energia despendida para efetivar a dilatação dos elementos de um corpo.
- Engenharia** - Arte de aplicar conhecimentos científicos e empíricos e certas habilitações específicas à criação de estruturas; dispositivos e processos que se utilizam para converter recursos naturais em formas adequadas ao atendimento das necessidades humanas.
- Ensaio** - A tentativa, exame, observação ou avaliação usada como meio para medir a característica física ou química do material ou de uma estrutura ou peça.

- Ensaio brasileiro** - Ver Ensaio de tração por compressão diametral.
- Ensaio de abrasão Los Angeles** - Ensaio para avaliar a resistência à abrasão de agregados para concretos.
- Ensaio de Blaine** - O método para determinação da finura do cimento ou de outro material fino através do permeabilímetro de ar.
- Ensaio de compressão** - Ensaio executado em corpo de prova de argamassa ou concreto para determinar a resistência à compressão.
- Ensaio de remoldagem** - O ensaio para avaliar o trabalho necessário para remoldagem do concreto fresco.
- Ensaio diametral** - Ver Ensaio de tração por compressão diametral.
- Ensaio Lobo Carneiro** - Ver Ensaio de tração por compressão diametral.
- Ensaio de tração por compressão diametral** - O ensaio para determinar a resistência à tração onde um corpo de prova cilíndrico é carregado por compressão diametral ao longo de uma geratriz toda, até a ruptura.
- Ensaio triaxial** - Ensaio através do qual um corpo de prova é submetido à cargas transversal e axial, simultaneamente.
- Ensilar** - Armazenar.
- Entalpia** - Função termodinâmica de estado, igual à soma da energia interna com o produto da pressão pelo volume do sistema; calor de fusão.
- Enxofre** - Elemento químico não metálico, cristalino, amarelo, com odor característico.
- Epóxi** - Material caracterizado, quimicamente, por possuir oxigênio ligado externamente à estrutura molecular dos compostos.
- Equação** - Qualquer igualdade entre entidades matemáticas que só é satisfeita para alguns valores dos respectivos domínios.
- Erosão** - Trabalho mecânico de desgaste realizado pelas águas correntes ou pelo vento. A desintegração progressiva de um sólido pela ação, abrasiva ou de cativação, de gases, fluidos ou sólidos em movimento.
- Erro** - Em física, corresponde a qualquer medida de flutuação ou da incerteza associada a uma medição.
- Esclerômetro** - Aparelho utilizado para avaliar superficialmente a propriedade do concreto ou de maciços rochosos. A leitura no esclerômetro apresenta geralmente uma correlação com a resistência à compressão simples do material.
- Escoamento** - Maneira de fluir um material; deformação rápida e irreversível de um corpo sem aumento apreciável da tensão que a causa.
- Escoar** - Fazer correr (fluir) lentamente um líquido.
- Escoramento** - Disposição de conjunto de escoras para arrimar (suportar) fôrmas a receber concreto. Ver também Cimbramento.
- Escória** - Resíduo silicoso que tem forma na redução de minerais metálicos.
- Escória de alto-forno** - O produto não metálico, constituído essencialmente de silicatos e aluminossilicatos de cálcio ou outros materiais básicos, que se desenvolvem em condições de fusão, simultaneamente com ferro no alto forno.
- Esforço** - Designação genérica que abrange as noções de força (força concentrada, força distribuída sobre linha, força de superfície, força de massa), momento e tensão.
- Esforço externo** - Esforço proveniente do meio exterior, que atua sobre uma estrutura.
- Esforço externo ativo** - Esforço externo que é aplicado à estrutura, inclusive o que provém de aceleração da sua massa.
- Esforço externo reativo** - Esforço externo com que reagem os apoios da estruturas. São as reações de apoio.
- Esforço interno** - Esforço que se manifesta entre os elementos adjacentes de um corpo. São as tensões e suas resultantes.
- Esforço intrínseco** - Esforço interno em um corpo não sujeito à solitação.

- Espalhador de concreto** - O equipamento utilizado para espalhar o concreto em camadas uniformes.
- Espectrofotometria** - Conjunto de métodos e técnicas de medidas da intensidade de radiação luminosa em função do comprimento de onda, um espectro de emissão ou de absorção.
- Espectroscopia a infravermelho** - O uso do espectrofotômetro para determinar a absorção do espectro infravermelho (comprimento da onda de 2.5 a 28 μm) de materiais; usado para determinação e identificação de materiais orgânicos.
- Estabilidade** - Estabilidade caracteriza a variação com o tempo, da tolerância dentro da qual qualquer medida de variável, dada por um determinado instrumento, se correlaciona com o valor atual da variação. Permanência de valores de uma variável dentro de determinados limites.
- Estaca de concreto** - Elementos de fundação em concreto armado e/ou protendido que pode ser moldada *in situ* ou, quando pré-moldada, cravada no solo, com auxílio de equipamento adequado.
- Estação de observação** - Tipo de marco utilizado para instalação do teodolito, taquímetro ou nível de precisão, nos processos geodésicos de instrumentação.
- Estado de cisalhamento simples** - Estado duplo de tensão em que as tensões principais têm soma nula.
- Estado de compressão simples** - Estado simples de tensão principal não nula é de compressão.
- Estado de tração simples** - Estado simples de tensão em que a tensão principal não nula é de tração.
- Estado duplo de tensão** - Estado de tensão num ponto de um corpo que se supõe só poder ser solicitado segundo direções jazentes em um mesmo plano.
- Estado nulo de tensão** - Estado de tensão em que são nulas todas as tensões.
- Estado simples de tensão** - Estado triplo ou duplo de tensão em que só uma das tensões principais não é nula.
- Estado de tensão** - Estado de tensão num ponto de um corpo capaz de ser solicitado em todas as direções.
- Estado uniforme de compressão** - Estado uniforme de tensão em que as tensões são de compressão.
- Estado uniforme de tensão** - Estado duplo de tensão cujas tensões principais são iguais.
- Estado uniforme de tração** - Estado uniforme de tensão em que as tensões são de tração.
- Estalactite** - Precipitado, mineral, alongado em que se forma pela deposição de cima para baixo e evaporação de água, em superfície de rocha ou concreto.
- Estalagmite** - Precipitado, mineral, alongado em que se forma pela deposição de baixo para cima e evaporação de água, em superfície de rocha ou concreto e normalmente de forma cônica.
- Estanqueidade** - Condição requerida para que uma estrutura seja impermeável.
- Estatística** - Parte da matemática em que se investigam os processos de obtenção, organização e análise de dados sobre um conjunto de informações e os métodos de tirar conclusões e fazer previsões com base nesses dados.
- Estático** - Relativo ao equilíbrio dos corpos sob a ação de forças.
- Estearato de cálcio** - O produto da reação da cal e ácido esteárico, usado como um agente para repelir a água no concreto.
- Estratificação** - Disposição em camadas.
- Estratificada** - Rocha cujos componentes se dispõem em estratos ou camadas devido a diferenças de textura, cor, resistência, composição etc.; é uma característica das rochas sedimentares e também de algumas metamórficas.
- Estrato** - Cada uma das camadas das rochas estratificadas.
- Estríbo** - A armadura usada para resistir tensões diagonais e/ou cisalhantes em um elemento estrutural. Barra de aço dobrada em ângulo reto usada para manter a armação em sua posição.

- Estrutura** - O conjunto das partes de uma construção que se destina a resistir a cargas.
- Estufa** - Ver Forno.
- Estuque** - Pasta de cimento usada para revestimentos e ornamentos.
- Etanol** - Álcool.
- Éter** - Classe de composto orgânico cuja molécula é constituída por dois radicais hidrocarbonetos ligados a um mesmo átomo de oxigênio.
- Etringita** - O mineral sulfato de cálcio, sulfato aluminato $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 30-32 \text{H}_2\text{O}$ ou $\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_6]_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O} \cdot [(\text{SO}_4)_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}]$ que ocorre na natureza ou que se forma pelo ataque de sulfatos a argamassas em concretos; o produto da reação principal de expansão nos cimentos expansivos; designado antigamente como "Bacilo de Cimento".
- Evolução unitária de temperatura** - É o quociente da evolução adiabática da temperatura do concreto, pelo consumo de aglomerante (cimento mais material pozzolânico, quando usado) do referido concreto; geralmente pode ser calculado em várias idades.
- Exotérmico** - Reação em que há desprendimento de calor.
- Expandir** - Dilatar.
- Expansão** - Deformação em que há aumento de volume.
- Experiência** - Ato ou efeito de experimentar, habilidade, perícia.
- Exsudação** - O fluxo próprio da água, dentro da mistura, ou sua emergência para uma argamassa ou concreto recém-lançado; é causado pela acomodação dos materiais sólidos na massa do concreto.
- Extensômetro corretor** - Denominação dada ao extensômetro para concreto, instalado no interior da câmara atensorial, com o objetivo de possibilitar a correção das deformações do concreto provocadas por efeitos térmicos, por variações de umidade e pelas variações volumétricas autógenas do concreto.
- Extensômetro de grande base** - Instrumento utilizado para a medição da deformação de maciços.
- Extensômetro elétrico de resistência** - Instrumento empregado para medição de deformação superficial em peças e modelos, utilizando como princípio de funcionamento o fato de a resistência elétrica de um filamento metálico variar com a tensão aplicada.
- Extensômetro linear** - Instrumento utilizado para a detecção de deslocamentos superficiais.
- Extensômetro múltiplo** - Baseado no mesmo princípio de extensômetro simples, o extensômetro múltiplo tem a vantagem de possibilitar a determinação de várias deformações axiais.
- Extensômetro para concreto** - Instrumento instalado no interior do concreto de uma estrutura e que mede a deformação do concreto na direção ou seu eixo.

F

- Faceta** - Face de um elemento de superfície considerado num ponto de um corpo, e que pertence à porção do corpo cujo equilíbrio se pretende estudar. A cada elemento de superfície estão associadas duas facetas.
- Falsa pega** - O desenvolvimento rápido da rigidez de uma pasta, argamassa, ou concreto fresco, sem o desprendimento de muito calor sendo que essa rigidez pode ser anulada e a mistura novamente tomada plástica pela remistura energética, sem adição de água; o enrijecimento prematuro; pega prematura.
- Fanerito** - Designação genérica para todas as rochas em que os componentes individuais são reconhecíveis a olho nu (normalmente superiores a 0,2 mm).
- Fator água/cimento (relação água/cimento)** - A relação entre a quantidade de água, excluindo a absorvida pelo agregado, e a quantidade de cimento na mistura de argamassa ou concreto; preferivelmente expressa em massa.
- Fator AF (módulo alumina - ferro)** - A relação molar ou de massas entre o óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3), no Cimento Portland.

- Fator de agregado graúdo** - A relação, expressa como decimal, da quantidade (em massa ou volume) de agregado graúdo, de um volume unitário de um concreto bem dosado, para a quantidade de agregado graúdo compactado ou mesmo (b/bo).
- Fator de compactação (empolamento)** - A relação entre a massa de concreto necessária para ocupar um recipiente com forma e volume padrões, quando lançado sob determinadas condições de ensaio, e a massa de concreto compactado no mesmo recipiente.
- Fator de consistência** - A medida da fluidez, aproximadamente análoga à viscosidade, que traduz a facilidade com que uma calda pode ser injetada em poros ou fissuras; normalmente é a medida da consistência pelo ângulo de rotação do torque no viscosímetro.
- Feldspato** - Grupo de importantes minerais formadores de rochas de fórmula geral; $MA (Al, Si) 3O_8$ onde $M = K, Na, Ca, Ba, Rb, Sr$ e Fe . Pode-se considerar dois subgrupos; o dos feldspatos alcalinos ou potássios (ortoclásio, microclínio, sanidina) e o dos plagioclásios ou álcali-cálcicos (série-anortita). Os plagioclásios ou intermediários, de acordo com a maior riqueza em moléculas albita, anordita ou equivalência entre elas respectivamente.
- Felita** - Nome usado por Tornebonm (1897) para identificar uma forma de silicato dicálcio ($2CaO, SiO_2$), um dos componenets cristalinos do clínquer de Cimento Portland (ver também Alita, Belita e Celita).
- Fenolftaleína** - Substância cristalina, incolor, solúvel em álcool, usada como indicador ($C_{20}H_{14}O_4$).
- Ferro** - Elemento químico, metálico, branco-acinzentado, duro, tenaz, reativo, que forma ligas que têm aplicações importantes; metal maleável e tenaz.
- Ferro aluminato tretacálcico** - O composto da série cálcio, alumínio, ferrita, tendo a composição ($4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$) abreviadamente (C_4AF), que normalmente se considera ser o alumínio ferrita presente quando se calculam os compostos a partir da análise química (ver também Brownlita).
- Ferro fundido** - Liga de ferro e carbono, com teor deste último superior ao que se encontra no aço.
- Ferro galvanizado** - Ferro recoberto por uma película de zinco.
- Ferro-gusa** - Material que se obtém diretamente do alto-forno. Em geral com elevada proporção de carbono e diversas impurezas.
- Ferro cimento** - O material estrutural de seção delgada constituído de argamassa armada por um certo número de malhas de aço de pequena abertura.
- Ferromagnésio** - Diz-se dos minerais de cor escura, constituintes de rochas, que contém ferro e magnésio em suas moléculas. Mafico.
- Fibrocimento** - Material de construção, resultante de uma mistura íntima de Cimento Portland e asbestos (variedade de anfibólio composta de silicato de cálcio e magnésio, que se apresenta em massa fibrosas) e que apresenta boas propriedades de resistência às intempéries e propriedades isolates do calor e da umidade.
- Filito** - Rocha metamórfica de granulação fina, intermediária entre o micaxisto e a ardósia, contida de minerais micáceos, clorita e quartzo, apresentando forte foliação. Tem comumente aspecto sedoso, devido à sericita. Origina-se, em geral, de material argiloso por dinamometamorfismo e recristalização.
- Filler** - Material constituído de fragmentos inertes de rochas, de tamanhos máximos inferiores a 0,065 mm, usado para suprir deficiência granulométrica, melhorar a trabalhabilidade, reduzir a retração.
- Filonito** - Rocha metamórfica de granulação muito fina, resultante de trituração de rochas, inicialmente de granulação mais grossa. Macroscopicamente assemelha-se aos filitos, com reconstituição química pronunciada, originando películas de mica ao longo dos planos de xistosidade.
- Fim de Pega** - O grau de rigidez de uma pasta de cimento e água, após o início de pega normalmente estabelecido como um valor empírico representando pelo intervalo de tempo (horas e minutos) necessário para que a pasta resista à penetração de uma agulha padronizada. Também aplicável a misturas de argamassa e concretos em ensaios padronizados (Ver também início de pega).
- Finura** - A medida do tamanho de uma partícula.

- Finura Blaine** - A finura de materiais em pó, tais como cimento e pozolanas, expressa como área superficial, em centímetros quadrados por grama, ou metros quadrados por quilograma, determinada pelo aparelho de Blaine.
- Finura pelo turbidímetro** - A finura de um material, tal como Cimento Portland, normalmente expresso como a área da superfície total, em metros quadrados, por quilograma, determinada por um turbidímetro (ver também Finura pelo Wagner).
- Finura Wagner** - A finura do cimento Portland expressa como a área da superfície, em metros quadrados por quilograma, determinada pelo turbidímetro de Wagner de acordo com procedimentos padronizados.
- Fissuração por retração** - Fissuração de uma estrutura, ou elemento estrutural, devido à ruptura por tração causada pela restrição interna ou externa, tal como a redução do teor de água, ou pela carbonatação, ou por ambos.
- Fissura térmica** - A fissuração devida à ruptura, por tração, causada, pela queda de temperatura em elementos submetidos a restrições externas, ou por gradientes diferenciais em elementos submetidos a restrições internas.
- Fissuras superficiais** - O desenvolvimento aleatório de fissuras de pequena abertura na superfície do concreto.
- Fissuras transversais** - Fissuras que se desenvolvem normais a maior dimensão da peça.
- Flexão pura** - Estado de uma barra, em que os esforços solicitantes são só momentos flettores. Na prática é considerada como caso particular de flexão simples, com força cortante nula.
- Flexão simples** - Estado de uma barra em que são nulos os momentos de torção total e as forças normais.
- Fluência** - Fenômeno de deformação, com o tempo, de um corpo sob tensão constante. Deformação sob carga constante, dependente do tempo, revelando propriedades viscoelásticas de um material (ver também Deformação lenta).
- Fluência crescente** - Fluência em que a velocidade de deformação é crescente.
- Fluência decrescente** - Fluência em que a velocidade de deformação é decrescente.
- Fluência estacionária** - Fluência em que a velocidade de deformação é constante.
- Fluidez** - O inverso da viscosidade de um fluido; a medida da consistência de uma mistura fresca de concreto, argamassa, pasta, calda.
- Fluidificante (Fluidificador)** - O aditivo usado, em calda, para reduzir o tempo de escoamento, sem alterar o teor de água.
- Flúor** - Elemento químico pertencente aos halogênios, gasoso, amarelado e muito reativo.
- Fluorescência por raio "X"** - Características de uma radiação secundária emitida por um elemento resultante da excitação pelo uso de raios X, usada na análise química.
- Fluorsilicato** - Fluoreto silício de magnésio ou zinco, usado para preparar soluções aquosas, algumas vezes aplicadas como agentes endurecedores da superfície do concreto.
- Folhelho** - Rocha sedimentar laminada de aspecto foliado, de granulação fina, na qual as superfícies de acabamento são de fácil separação. Distinguem-se dois tipos de folhelhos: silticos e argilosos. Nos folhelhos silticos predomina o silte, enquanto nos folhelhos argilosos, a argila predomina sobre outros minerais. Os minerais argilosos dos folhelhos incluem-se em três grupos - o da caulinita, o da illita e o da montmorilonita.
- Folhelho expandido (argilo ou xistoso)** - Agregado vesicular leve obtido pela queima adequada em forno de materiais crus ou pela sinterização controlada.
- Força concentrada** - Força que pode agir sobre área muito pequena da superfície do corpo e para efeito de cálculo é considerada aplicada em um ponto.
- Força cortante** - Resultante das tensões tangenciais na seção transversal de uma barra.
- Força de massa** - Força proveniente de aceleração aplicada aos elementos do corpo.
- Força de superfície** - Força que se distribui sobre a superfície de um corpo. Se for normal a esta e medida por unidade de área, corresponde a uma pressão.
- Força distribuída sobre linha** - Força que, por agir sobre faixa estreita da superfície do corpo, para efeito de cálculo, é suposta distribuída sobre uma linha.

- Força normal** - Resultante das tensões normais na seção transversal de uma barra.
- Força normal de compressão** - Força normal que tende a aproximar as porções da barra limitada pela seção transversal considerada.
- Força normal de tração** - Força normal que tende a afastar as porções da barra limitadas pela seção transversal considerada.
- Forma** - A estrutura ou molde temporário para suportar o concreto enquanto está em condições de pega e de desenvolvimento de resistência, até poder se auto-suportar.
- Forma deslizante** - A forma que é içada, ou se eleva, à medida que o concreto é lançado; pode se mover horizontalmente como no caso dos pavimentos; ou inclinada como em rampas de canais e soleiras vertentes; ou verticalmente como em muros; paredes, pilares, dutos etc.
- Forno** - O sistema de secagem, carbonização, aquecimento, calcinação, cozimento, sinterização ou queima de vários materiais.
- Forno de cimento** - O forno onde as matérias-primas, adequadamente dosadas, é secada, calcinada e transformada em cliquer, às temperaturas entre 1.420 °C e 1.650 °C., podendo ser rotatório, em forma de chaminé ou outro.
- Forno rotatório** - O cilindro cumprido de aço, revestido internamente com material refratário, suportado por mancais de modo que possa girar, com uma pequena inclinação em relação à horizontal, onde matérias-primas são introduzidas para cozimento.
- Fotômetro de chamas** - O instrumento usado para determinar elementos (especialmente sódio e potássio do Cimento Portland) pela intensidade de cor de um espectro resultante da introdução da solução dos compostos em uma chama.
- Fragilidade** - Propriedade dos corpos que rompem sem que haja grandes deformações.
- Friável** - Que pode reduzir-se a fragmentos ou pó, com certa facilidade, quando submetido a um processo mecânico de degradação.
- Frequência** - Repetição periódica de eventos ou fenômenos. Nas estatística é o número de vezes que um valor ou um subconjunto de valores, do domínio de uma variável aleatória, aparece numa experiência ou numa observação de caráter estatístico.
- Função** - Qualquer correspondência entre dois ou mais conjuntos.
- Fundação** - Parte de uma construção destinada a distribuir as cargas sobre o solo, ou rocha. O material ou os materiais que recebem as cargas da estrutura e as transmitem para o maciço de solo ou rocha.
- Fundente** - Substância que auxilia a fusão dos metais.
- Fuste** - Parte principal de uma coluna ou pilar, entre o capitel e a base.

G

- Gabarito** - Instrumento com que se verifica certas medidas.
- Gamagrafia** - Radiografia que utiliza raios gama de um nuclídeo radiativo.
- Gambiarras** - Diz-se, na linguagem comum nas obras, a solução improvisada e/ou provisória para problemas e imprevistos.
- Gancho da fôrma** - Dispositivo usado para içar a fôrma.
- Garantia de qualidade** - O sistema ou rotina de procedimentos para selecionar níveis de qualidade exigidos para um projeto, ou parte dele, a fim de avaliar as funções estabelecidas a assegurar que esses níveis sejam atendidos.
- Gaxeta** - Peça (de amianto, linho, algodão, metal, borracha ou outro material) com que se completa a vedação em juntas.
- Gel** - Sistema coloidal constituído por uma fase dispersora líquida e uma fase dispersa sólida e que apresente propriedades macroscópicas (elasticidade, manutenção de fôrma etc) semelhante às dos sólidos. Matéria em estado coloidal que não se dissolva, mas

mantém em suspensão, em solventes, sem se precipitar, exceto sob ação de calor ou de eletrólito.

Gel de cimento - O material coloidal que corresponde à maior parte da massa porosa, que faz parte da pasta de cimento hidratada.

Gel de tobermorita - O ligante do concreto curado úmido ou em ambiente de autoclave, possuindo de 1,5 a 2,0 moles de cal por mol de sílica.

Gesso - Gipsita cozida a baixa temperatura, que faz pega com água, e que por isso é empregada nas moldagens e para controle da pega do cimento, usado na moagem.

Gesso para reboco - Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) no qual 3/4 da água de ligação química foi eliminada por aquecimento, quando umedecido recombina com água e endurece rapidamente.

Gipsita - Mineral monoclinico, sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Gnaíse - Rocha metamórfica de granulação grossa, bandada irregularmente. A xistosidade é pouco evidente devido a predominância de quartzo e feldspato sobre os minerais micáceos. Produto de metamorfismo regional, especialmente de alto grau. Rocha de composição mineralógica semelhante ao do granito, sienito ou diorito.

Graduação (Granulometria) - A distribuição de partículas de um material granular em vários tamanhos, normalmente expressa em termos de porcentagens acumuladas retidas ou passantes a cada uma das aberturas das peneiras ou, ainda, expressa por porcentagens entre determinadas aberturas de peneiras (ver Análise granulométrica).

Granito - Rocha plutônica, magmática, ácida, granular, essencialmente constituída por quartzo e feldspato alcalinos e acessoriamente por biotita, muscovita, piroxênios e anfibólios. Possui coloração clara.

Granodiorito - Rocha plutônica, ácida, granular, de composição intermediária entre o admetlito e o quartzo diorito, constituída por plagioclásio, quartzo e feldspato potássio; com biotita, hornblenda e, mais raramente, piroxênio.

Granulito - Rocha metamórfica equigranular, sem minerais micáceos ou anfibólios e, portanto, sem xistosidade nítida. Produto de metamorfismo regional do mais alto grau.

Granulometria - Ver Análise granulométrica.

Grauvaca - Rocha sedimentar constituída de fragmentos arenosos, geralmente quartzo, e quantidade significativa de material argiloso.

Gravata - O elemento tensor colocado na fôrma, de modo a impedir a sua abertura sob ação da pressão decorrente do comportamento líquido que o concreto, ainda plástico, possui.

Gravimetria - Conjunto de métodos e técnicas de medidas com base na aceleração da gravidade; sedimentação.

Grelha - A peneira simples (não dupla ou tripla) estacionária; ou o conjunto de barras dispostas paralelamente e em ângulo, de modo a retirar as partículas maiores que uma certa dimensão no beneficiamento de agregados ou outros materiais.

Gres - Termo não usual no Brasil, mas muito utilizado em Portugal e Angola, para designar arenito.

Groove (Ver Ranhura) - Sulco formado na superfície do concreto, ou argamassa, moldado ou acabado, para controlar e orientar o aparecimento de fissuras, ou para produzir efeitos arquitetônicos.

H

Hematita - O mineral óxido de ferro (Fe_2O_3) usado como agregado em concreto (pesado) de elevada massa específica; em pó é usado como pigmento vermelho para concreto aparente.

Heterogêneo - Característica de um meio, cujas propriedades variam de ponto para ponto.

Heterogeneidade - Propriedade do que é heterogêneo.

Hidratação - Formação de compostos pela combinação de água com outra substância; em concreto é a reação entre o cimento hidráulico e a água. Associação de uma ou mais moléculas de água a uma espécie química.

- Hidratação (Hidróxido)** - Produto resultante da combinação química da água com outro componente ou elemento. Composto químico que possui uma ou mais moléculas de água.
- Hidráulico** - Referente a qualquer líquido, especialmente a água.
- Hidrófugo** - Diz-se do material compacto que não se impregna de umidade.
- Higroscópico** - Material ou substância que tem grande afinidade pelo vapor de água, sendo capaz de retirá-lo de uma atmosfera ou eliminá-lo de uma mistura gasosa.
- Histograma** - Representação gráfica de uma distribuição de freqüências em que as freqüências de classes são representadas pelas áreas de retângulos contíguos e verticais, com as bases colineares e proporcionais aos intervalos das classes.
- Holohialina** - Texturas das rochas ígneas compostas inteiramente por vidro. Textura vítrea.
- Homogeneidade** - Propriedade de um corpo possuir as mesmas características em todos os seus pontos.
- I
- lçamento** - A seqüência de operações, pela qual as peças pré-moldadas são colocadas nos locais adequados da estrutura.
- Ígnea** - Rochas originais formadas inicialmente e à grandes profundidades da terra.
- Ilmenita** - O mineral titanato de ferro (Fe TiO_3) que na forma pura, ou impura, é comumente usado como agregado em concreto pesado (elevada massa específica). Mineral opaco acessório de rochas ígneas (principalmente melanocráticas) e metamórficas. Entre os sedimentos ocorre mais frequentemente que a magnetita, dada a sua maior resistência aos agentes de intemperismo.
- Imbricamento (Travamento de agregados)** - Intertravamento. A projeção das partículas de agregados através de uma junta ou fissura, de modo que as cargas são transferidas por cisalhamento ou compressão e o alinhamento fica mantido.
- Impermeabilização** - Conjunto de processos destinados a reduzir ou impedir a passagem da água, diminuindo o coeficiente de permeabilidade de uma superfície ou de uma zona onde percolação da água. Tratamento do concreto ou argamassa de modo a retardar a passagem ou absorção de água, ou vapor, pela aplicação de um revestimento das superfícies expostas, ou pelo uso adequado de aditivos ou de mantas pré-fabricadas.
- Impermeável** - Que não se deixa atravessar por fluidos, especialmente a água.
- Inclinômetro** - Instrumento destinado à observação da inclinação de um furo de sondagem em relação a vertical.
- Incorporação de ar** - A capacidade de um material, ou processo, em criar um sistema de pequenas bolhas (menores que 1 mm) de ar durante a mistura da pasta, argamassa ou concreto.
- Incrustações** - Flocos localizados ou esfoliações que ocorrem junto à superfície do concreto endurecido.
- Início de pega** - O grau de rigidez de uma pasta de cimento e água menor que o fim de pega, normalmente estabelecido como um valor empírico representado pelo intervalo de tempo (horas e minutos) necessário para que a pasta resista à penetração de agulha padronizada. Também aplicável a misturas de argamassa e concretos, em ensaios padronizados (Ver também Fim de pega).
- Injeção em circuito aberto** - O sistema de injeção sem condições de recirculação da calda para o bombeamento.
- Injeção em circuito fechado (com recirculação)** - Injeção de calda em um furo interceptando fissuras ou vazios, a serem preenchidos sob uma certa pressão, sendo que a calda atinge o furo com uma pressão maior que aquela que chega aos vazios e o excesso de calda retorna para o sistema de injeção, para recirculação.
- Inócuo** - Inofensivo, que não causa danos.

Intemperismo - Alterações na cor, textura, resistência, composição química ou outras propriedades de material artificial ou natural devido à ação das intempéries. Conjunto de processos que ocasionam a alteração e a decomposição química das rochas e dos minerais graças à ação de agentes atmosféricos e biológicos.

Intergranular - Textura de rochas ígneas caracterizada principalmente por ribas de plagioclásio, dispostas caoticamente, sendo seus interstícios angulares preenchidos por grânulos ferromagnesianos (olivina, piroxênio, minério de ferro).

Intrusiva - Nome dado a rochas geralmente de origem ígnea, cujo corpo está incrustado em outras rochas. As plutônicas e hipoabissais são rochas intrusivas. Plutônica (rocha).

Invar - Aço constituído por uma liga de Ferro (64%) e Níquel (36%), que apresenta a mais tênue dilatação no domínio da temperatura ambiente até 230 C. Seu coeficiente linear de dilatação térmica é da ordem de 5×10^{-7} /C. É muito empregado na confecção de instrumentos de precisão, tais como extensômetros, coordenômetros, alongamentos etc; visando atenuar os efeitos das variações de temperatura.

Invariantes da deformação - Soma dos menores principais de 1a. de 2a. e de 3a. ordem, do determinante cujas componentes são as componentes da deformação num ponto. Designam-se, respectivamente, por primeiro, segundo e terceiro invariantes da deformação num ponto.

Isoieta - Linha que une os pontos de mesmo valor de precipitação atmosférica em um determinado período de tempo. É representada em altura de coluna d'água.

Isotropia - Propriedade de um corpo possuir as mesmas características em todas as direções. Tratando-se de folha, só se consideram as direções jazentes no plano que é tangente ao seu folhelho médio no ponto considerado.

Itabirito - Rocha metamórfica de minério de ferro, xistosa e com lamelas de hematita micácea.

J

Jacaré - Espécie de colher de pedreiro com que introduz argamassa nas juntas das alvenarias.

Jatear - Processo de limpeza de superfícies. Consiste em lançar junto com ar comprimido sob pressão, água e materiais abrasivos a fim de remover impurezas.

Jato de ar e água - Jato de água e ar, de alta velocidade, misturados no bico, usado para a limpeza de superfícies de rocha ou concreto como as juntas de construção.

Jato de areia - O sistema de tratamento (corte) da superfície do concreto, utilizando um jato de areia, expelindo por um bico, em alta sob ação de ar comprimido. Usado também para expor o agregado em concretos arquitetônicos.

Junta de contração - A superfície regularmente espaçada, criada na estrutura de concreto, para propiciar um plano de descontinuidade, de modo a controlar o aparecimento de fissuras.

Junta de construção - A superfície de união entre duas camadas de concreto, lançadas em seqüência, através da qual é desejável que exista uma ligação entre os dois concretos, e através da qual a armadura, quando existir, não possui descontinuidade.

Junta de contração injetada - A junta de contração preenchida por calda.

Junta de expansão (dilatação) - A separação, entre partes adjacentes de uma estrutura de concreto, projetada para permitir pequenos movimentos relativos e independentes, semelhantes aos causados pelas variações térmicas.

Junta de isolamento - Ver junta de contração.

Junta Fria - A junta ou descontinuidade resultante do atraso de lançamento do concreto, de tal forma a impedir ou prejudicar a união dos materiais (concretos) em subcamadas sucessivas.

Junta semiflexível - A união, onde a armadura é disposta, de modo a permitir certa rotação da junta.

Junta transversal - A junta paralela a uma dimensão intermediária da peça.

L

- Laje** - Peça em concreto (armado) que faz parte de uma estrutura, na forma de teto ou piso.
- Lama** - A mistura de água e qualquer material fino e insolúvel, tal como Cimento Portland, escória ou argila em suspensão.
- Lama de proteção (Slush Grouting)** - A calda usada para cobrir a rocha de fundação, que posteriormente é coberta por concreto; usualmente espalhada com vassourões pelas reentrâncias ou fissuras da rocha.
- Lamela** - Placa ou lâmina muito delgada.
- Lançamento** - O processo de colocação e adensamento do concreto; a quantidade de concreto colocada e acabada durante uma operação contínua.
- Lance** - Ver camada.
- Larnita** - O mineral betasilicato dicálcico (BCa_2SiO_4) que ocorre na natureza, na Irlanda do Norte, e artificialmente nas escórias, é como um dos maiores constituintes do Cimento Portland.
- Látex** - A emulsão aquosa de borracha sintética ou plástico obtida por polimerização e usado especialmente como revestimento ou adesivo.
- Lava** - Material fundido expelido por vulcões; sua solidificação origina rochas efusivas ou vulcânicas, de estrutura porosa, vítrea e textura porfírica ou afanítica.
- Lei de Abrams** - A regra que estabelece que, com certos materiais e condições de ensaio, a relação (fator) entre a quantidade de água e a quantidade de cimento determina a resistência de uma mistura de concreto de consistência trabalhável.
- Lei de Darcy** - Lei que rege a proporcionalidade entre a vazão específica de um líquido que flui através de um meio poroso e o gradiente hidráulico, em regime de fluxo laminar.
- Lei de Hooke** - Lei que rege o comportamento dos corpos isotrópicos cujas deformações são proporcionais às tensões que as produzem. Válida para deformações dentro do limite elástico (região de proporcionalidade).
- Lei de Hooke Generalizada** - Lei segundo a qual, nas deformações elásticas muito pequenas, as componentes do estado de tensão num ponto são funções lineares das componentes das deformações nesse ponto; estas funções são também homogêneas no caso de o estado inicial de referência do corpo ser o estado neutro.
- Leucita** - Mineral do grupo dos feldspatóides, característicos de rochas ígneas alcalinas, especialmente lavas básicas ricas em potássio; $\text{K(AlSi}_3\text{O}_8)$.
- Leucocrática** - Relativo a rochas ígneas constituintes.
- Ligação mecânica (Aderência)** - Nas construções de concreto, em geral, o intertravamento físico a pasta de cimento e agregados, ou entre o concreto e armadura (principalmente a resistência ao deslizamento de uma barra ancorada, e não a ligação por adesão).
- Limite de proporcionalidade** - A maior tensão que um material é capaz de suportar sem se desviar da proporcionalidade tensão-deformação (Lei de Hooke).
- Limite de vibração** - O tempo ao fim do qual o concreto fresco endurece o suficiente para não se movimentar sob ação de vibração.
- Limite elástico** - A tensão limite, além da qual a deformação não é totalmente recuperada.
- Limonita** - Mineral composto de óxidos de ferro hidratados; ocasionalmente usado em concreto pesado (elevada massa específica), devido a elevada massa específica e teor de água que contribuem para eficiência em blindagem contra radiações.
- Linha Neutra** - Lugar geométrico dos pontos da seção transversal em que são nulas as tensões normais.
- Linhas de junta fria** - Linhas visíveis, nas superfícies do concreto moldado, indicando a ocorrência de juntas onde uma camada (ou subcamada) de concreto tenha endurecido antes do lançamento do concreto subsequente.

Liquêfazer - Tornar líquido; fundir; derreter.

Lixiviação - Operação de separar, de certas substâncias, por meio de lavagem os sais nelas contidos.

Luva de expansão - O revestimento metálico tubular para barras passantes, para possibilitar o movimento livre através de uma junta.

Luz - Espaço entre colunas, vigas ou paredes; vão livre.

M

Macaco - Dispositivo mecânico usado para levantar cargas, para aplicar força em cabos de protensão, ajustar o posicionamento de fôrmas etc.

Macaco plano - Macaco hidráulico constituído por uma chapa metálica delgada, dobrada e soldada em forma toroidal, que expande quando por ação de uma pressão interna.

Macaco tórico - Ver Macaco plano.

Magma - Massa estrutural fluida, ígnea, de origem profunda e que, ao resfriar-se, se solidifica, originando a rocha magmática.

Magmática - Nome dado a qualquer tipo de rocha que provém da solidificação de massas líticas em fusão denominadas magmas; ígneas.

Magnetita - Mineral opaco acessório de rochas ígneas (principalmente melanocráticas) e metamórficas. Menos comuns nas rochas sedimentares; (Fe_3O_4) . O principal constituinte do óxido negro de ferro magnético; com massa específica ao redor de 5.200 kg/m^3 e dureza de aproximadamente 6 na escala de Mohs; usado como agregado em concreto pesado (concreto de elevada massa específica).

Malha soldada - Malha constituída por fios longitudinais e transversais, dispostos ortogonalmente e soldados entre si nos pontos de intersecção.

Manômetro - Instrumento utilizado para a medição de pressão de líquidos e gases.

Máquina acabadora - Equipamento motorizado usado para dar o acabamento e textura desejados à superfície do concreto.

Marco de visada - Dispositivo instalado em vários pontos ao longo do coroamento de uma barragem ou em vários níveis do paramento de jusante e utilizado para fornecer um ponto de visada aos instrumentos utilizados nos processos geodésicos.

Marco superficial de deslocamento - Dispositivo utilizado para materializar, sobre a crista e sobre as bermas de uma barragem, pontos para o controle geodésico dos deslocamentos horizontais e verticais da barragem.

Marga - Calcário argiloso, normalmente contendo de 35% a 65% de carbonato de cálcio ($CaCO_3$), encontrado no fundo de lagos e lagoas ou pântanos.

Mármore - Calcário metamorfoseado e recristalizado, duro e compacto. Rocha metamórfica constituída predominantemente de calcita e/ou dolomita recristalizadas, de granulação fina a grossa, em geral com textura granoblástica.

Massa compactada seca - A massa por volume unitário de agregado seco compactado por apiloamento sob condições padrões; usada para determinação da massa específica aparente.

Massa específica - (Na condição saturada superfície seca) é a massa específica absoluta, incluindo-se na massa a água dos poros permeáveis.

Massa específica absoluta - A relação entre massa e volume de um sólido ou líquido, tendo como referência a vácuo, sob uma temperatura estabelecida.

Massa específica aparente seca - A relação entre massa e volume de um material permeável (incluindo-se no volume os vazios permeáveis ou não) a uma certa temperatura.

Matacão - Fragmento de rocha destacado, transportado ou não, com dimensões superiores a 25 cm, comumente arredondado.

- Maturidade** - Envelhecimento: em concreto corresponde ao ciclo de cura e é expresso pelo produto do tempo de duração do ciclo pela temperatura correspondente do ciclo.
- Medidor de ar** - Aparelho para a determinação do teor de ar de argamassa ou concreto.
- Medidor de convergência** - Aparelho usado em obras subterrâneas, sendo também utilizado no controle dos deslocamentos superfícies em taludes rochosos e em valas a céu aberto.
- Medidor de pressão intersticial** - Instrumento que tem por objetivo a medição da pressão intersticial da água no interior de estruturas de concreto.
- Medidor de recalque** - Instrumento utilizado para a medição de recalque de maciços.
- Medidor de vazão** - Instrumento normalmente utilizado para medir vazão em galerias ou túneis de barragens.
- Medidor elétrico de junta** - Instrumento que é instalado através de juntas de contração de barragens, para medição dos deslocamentos de aberturas ou fechamento.
- Medidor triortogonal de juntas** - Instrumento que possibilita a medição dos deslocamentos de uma junta segundo um sistema de três eixos ortogonais entre si, onde um deles coincide com a direção normal ao plano da junta.
- Melilita** - Mineral tetragonal de composição química complexa, mistura isomorfa de alumínio, cálcio e silicato de magnésio e cálcio, que ocorreu na forma de cristais nas escórias de alto-forno (ver também Mervinita).
- Mervinita** - Uma das principais fases cristalinas encontrada nas escórias de alto-forno, de formulação química (3CaO , MgO , 2SiO_2) de sistema monoclinico e massa específica de 3150 kg/m^3 .
- Mesa de escoamento** - (Mesa de Flow) - O dispositivo em forma de mesa, de características padronizadas, usada para executar o ensaio de escoamento de pasta, argamassa ou concreto de cimento.
- Mescla** - Mistura de elementos diversos.
- Metamórfica** - Rocha proveniente de transformações sofridas por qualquer tipo de natureza de rochas pré-existentes que foram submetidas à ação de processos termodinâmicos que geralmente se apresentam orientados.
- Metamorfismo** - Transformação que sofre uma rocha de temperatura, pressão, gases e vapor de água, que produzem isolada ou conjuntamente uma recristalização parcial ou total, formando novos minerais e novas texturas sem ocorrer a fusão da rocha.
- Método** - Programa que estabelece previamente uma série de operações que devem ser realizados, apontando erros evitáveis, em vista de um resultado determinado.
- Método de avanço em rampa** - O método de lançamento do concreto como túneis, pelo qual a cabeça (frente) do concreto fresco não é vertical e se desloca para frente à medida que o concreto é lançado.
- Metro** - Unidade fundamental da medida de comprimento no sistema internacional.
- Mica** - Grupo de minerais de fórmula geral: $(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca}) (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Li}, \text{Al})_2 3(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10} (\text{OH}, \text{F}_2)$, abundantes em muitas rochas ígneas e metamórficas. Dentre elas citam-se muscovita, sericita e biotita.
- Micrômetro** - Unidade de medida equivalente à milésima parte do milímetro (sistema internacional), símbolo um. Antes denominado micron (u), plural mica. Pequeno extensômetro mecânico utilizado geralmente em ensaios laboratoriais.
- Migmático** - Rocha mista (geralmente gnáissica) composta de um material hospedeiro metamórfico, com faixas de veios de material ígneo quartzo feldspato (pegmatito ou granito). Tipo de gnaiss que sofreu injeções de magma, sendo, pois, uma mistura de material sedimentar metamorizado e material magmático.
- Mistura** - A mescla, combinação de ingredientes de argamassa ou concreto, ou calda.
- Mistura áspera** - A mistura de concreto que mostra trabalhabilidade e consistência indesejáveis devido a deficiência de argamassa ou de finos.
- Mistura seca** - O concreto, argamassa ou pasta, contendo todos ingredientes exceto a água; concreto com zero (ou próximo de zero) de abatimento; concreto rolado.

Misturador (Betoneira) - O equipamento que mistura o concreto, a argamassa ou a calda.

Misturador basculante - O misturador constituído por um tambor contendo lâminas e pás que efetuam a mistura e que descarrega por basculamento, girando em um eixo normal ao eixo da mistura. O eixo do tambor pode ficar horizontal ou inclinado durante a mistura.

Misturador cilíndrico vertical (Misturador forçado vertical) - O misturador possuindo um compartimento cilíndrico com eixo vertical (rotatório ou estacionário), e constituído essencialmente de um piso e um dos mais eixos de árvore verticais, onde se prendem lâminas ou pás para a mistura.

Misturador com abertura superior - Misturador montado sobre veículo, constituído por uma geometria específica com um compartimento possuindo lâminas e pás que giram efetuando a mistura e em sentido contrário descarregam.

Misturador contínuo - Misturador cilíndrico, em posição pouco inclinada com relação a horizontal, possuindo lâminas e pás internas para efetuar a mistura, sendo que a carga é feita por uma extremidade e a descarga por outra extremidade.

Misturador horizontal não basculante - Um misturador constituído por um tambor rotatório horizontal que é carregado, mistura e descarga sem basculamento.

Moagem final - A moagem final do clínquer, dando o cimento, com adição de sulfato de cálcio na forma de gesso ou anidrita.

Módulo de deformação (elasticidade) (E) - A relação da tensão normal para a correspondente deformação, para tensões de tração ou de compressão, abaixo do limite de proporcionalidade do material; refere-se à parte elástica do módulo de elasticidade, módulo de Young. Constante de Lamé que, no elemento de um corpo em estado simples de tensão, é dada pelo quociente da tensão principal não nula pelo alongamento principal correspondente. Nos corpos que obedecem a Lei de Hooke, é o coeficiente angular da reta que constitui o diagrama tensão-deformação.

Módulo de deformação (elasticidade) dinâmico - Módulo de deformação calculado a partir das dimensões, massa, forma e a frequência fundamental de vibração do corpo de prova de concreto (ou da velocidade de pulsação).

Módulo de deformação (elasticidade) secante - Quociente da diferença das tensões pela diferença dos alongamentos correspondentes a dois pontos do diagrama tensão-deformação.

Módulo de deformação (elasticidade) sob carga constante - O termo que designa os efeitos elásticos e não elásticos em uma expressão, de modo a se visualizar os efeitos da tensão-deformação até uma certa data; calculado pela divisão da tensão (decorrente da carga constante) pela soma das deformações elásticas e não elásticas na mesma data.

Módulo de deformação (elasticidade) tangente - Limite a que tende o módulo de elasticidade secante quando, fixado um dos pontos que o definem, faz-se o outro tender para ele. É o coeficiente angular da tangente ao diagrama tensão-deformação no ponto considerado.

Módulo de deformação (elasticidade) transversal - Constante de Lamé que, no elemento de um corpo em estado de cisalhamento simples, é definida pelo quociente da tensão tangencial máxima pela distorção corresponde.

Módulo de finura - É obtido pela soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal dividido por cem.

Módulo de ruptura - A medida de carga limite durante o carregamento à flexão de uma viga. É calculada pela tensão de tração aparente na fibra mais externa da seção transversal, de um corpo sob ensaio de flexão até a ruptura.

Módulo de Young - Ver módulo de deformação.

Moinhos de bolas - Moinho horizontal, cilíndrico, carregado de bolas para moagem.

Moldado "in loco" - Argamassa ou concreto que é colocado no local onde se deseja que ocorra endurecimento e que faça parte da estrutura.

Momento de inércia - Momento de segunda ordem em que as distâncias mencionadas em sua definição são iguais e se referem a uma reta dada.

Momento fletor - Momento das tensões normais na seção transversal de uma barra em relação ao centro de gravidade dessa seção.

Monomolecular - Composto de uma molécula

Montmorilonita - O grupo de argilas minerais incluindo a montmorilonita que se caracteriza por uma estrutura molecular folhada e constituída por finos silicatos hidratados de alumínio ou magnésio, que se hidratam ou secam e estão sujeitos à troca iônica.

Muro - Elemento vertical usado principalmente para fechar espaços.

N

Nata - Ver eflorescência

Nebulizador - Pulverizador que produz gotículas líquidas muito finas; vaporizador.

Nefelometria - Técnica de análise quantitativa de soluções coloidais ou de suspensões baseada na medida da luz ao atravessá-las.

Nicho (de instrumentação) - Pequena galeria, em geral com comprimento de poucos metros, localizada transversalmente a uma galeria (em barragem de concreto) e que se destina à instalação ou leitura de instrumentos.

Nível de precisão - Instrumento topográfico de alta precisão utilizado para o controle de deslocamentos verticais de pontos de uma estrutura.

Nó - Diz-se de dificuldade criada ou ocorrida durante uma sequência de trabalho, processo ou operações.

Nomografia - Parte da matemática aplicada, que se dedica aos processos de resolução de equações por meio de monogramas (ábacos).

Nônios - Escala auxiliar para leitura de frações da menor divisão de uma escala.

Número de peneira - O número usado para designar o tamanho da peneira: normalmente é o número aproximado de aberturas por polegada linear e usualmente aplicável a aberturas menores que 6,3 mm.

O

Oitão - Cada um dos espaços laterais de um edifício.

Olivina - Grupo de silicatos ferromagnesianos que constituem minerais formadores de rocha. Encontram-se principalmente em rochas básicas e ultrabásicas. Constituem uma série de completa de solução sólida cujos membros extremos são a fialita e a forsterita.

Ombreira - Cada uma das laterais de apoio de uma peça ou estrutura. Em barragens, as laterais de um vale onde se confinam às extremidades de uma barragem.

Opaco - Mineral que não permite a passagem de luz, mesmo em espessura da ordem de micrômetros. São geralmente de óxidos e sulfetos metálicos.

Opala - Mineral tipicamente coloidal, produto da dissecação do hidrogel de sílica que apresenta uma coloração leitosa azulada, emitindo, quando exposto à luz, cores vivas e reflexos matizados. O material composto por sílica hidratada amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Ortotrópico - A contração dos termos "ortogonal" e "anisotrópico", para designar a diferença de uma laje e vigas, grelhas ou tabuleiro de uma ponte.

Ortotropia - Propriedade de um corpo possuir simetria de características relativamente a três planos ortogonais. Tratando-se de folha só se considerem dois planos ortogonais perpendiculares ao plano tangente ao folhelho médio no ponto considerado.

Osmose - Passagem do solvente de uma solução através de membrana impermeável ao soluto.

Óxido marrom (Hematita parda) - O mineral pigmentado de coloração marrom, com um teor de óxido de ferro entre 28% a 95%.

Ozônio - Gás azul pálido, muito oxidante e reativo, que é variedade alotrópica do oxigênio.

P

Padrão - Modelo oficial de pesos de medidas e que serve de base ou norma para avaliação de qualidade ou quantidade.

Painel sanduíche - Painel pré-fabricado, constituído por lâminas finas envolvendo um corpo delgado.

Palmeta - Calço de madeira colocada em escoras, contra os painéis de fôrma.

Papagaio - Gancho de içamento dos guindastes ou equipamentos de carga.

Par termoeletrico - Baseado na diferença de potencial elétrica que aparece entre duas soldas de metais diferentes mantidas em temperaturas diferentes. A diferença potencial é proporcional à diferença entre as temperaturas e permite calcular essa diferença.

Parafina - Mistura incolor de hidrocarbonetos saturados sólidos, extraída do petróleo.

Partícula coloidal - A partícula carregada eletricamente, geralmente menor que 200 um, dispersa em um outro meio.

Partículas moles - Partículas de agregado com um menor grau de dureza ou resistência que o especificado e determinado por ensaio padronizado.

Pascal - Unidade de medida de pressão no sistema internacional, igual a pressão resultante da ação de uma força igual a um Newton, distribuída uniformemente sobre uma superfície plana de área igual a um metro quadrado, normal a essa superfície.

Patamar de escoamento - O ponto caracterizado pelo aumento da tensão, quanto a proporção da tensão para a deformação torna-se substancialmente menor do que ocorre para menores tensões. Região do gráfico tensão-deformação, em que a relação entre a tensão e a deformação é intensamente decrescente, tendendo para zero.

Pavimentadora de concreto - Misturadora de concreto, normalmente montada sobre um sistema de tração (autopropelido ou não), e que mistura e lança o concreto de pavimento, sobre a subbase.

Pavimento - Estrutura aplicada à superfície de ruas; rodovias, aeroportos etc; e constituída de uma ou várias camadas de material capaz de transmitir ao solo de fundação tensões compatíveis com a sua capacidade de suporte.

Pavimento flexível - A estrutura de pavimento que mantém um íntimo contato, distribuindo as cargas com o "subgrade", e que depende para sua estabilidade e coesão do imbricamento dos agregados e atrito entre as partículas; normalmente o aglutinante é um cimento asfáltico.

Pedra pome - Lava muito porosa e vesicular, normalmente de alto teor de sílica, composta de fibras de vidro dispostas quase que paralelamente, ou algumas fibras entrelaçadas, que por si formam as vesículas.

Pedra ferro - Denominação dada no interior do Estado de São Paulo às rochas basálticas.

Pedrisco - Agregado peneirado, sendo que a maior parte das partículas passa pela malha de abertura 9,5 mm e fica retida na de 4,75 mm.

Pega - A condição atingida pela pasta, argamassa ou concreto, quando da perda da plasticidade até um valor arbitrado, normalmente medido pela resistência à penetração ou deformação.

Pegmatito - Rocha ígnea de granulação extremamente grosseira, encontrada geralmente na forma de diques irregulares, lentes ou veios; originada nos estágios finais da consolidação de magmas, quando os líquidos residuais se enriquecem consideravelmente em gases, alcançando uma fluidez tal que permite o desenvolvimento de cristais enormes. Caracteriza-se pela ocorrência freqüente de minerais raros ricos em elementos como lítio, boro, flúor, nióbio, tântalo, urânio e terras raras. Geralmente finalar de composição

idêntica a do granito e na qual os componentes mineralógicos, quartzo e feldspato, muito desenvolvidos, se acham interpenetrados.

Pendente - Inclinado.

Pêndulo óptico - Instrumento para a medição dos deslocamentos horizontais de pontos de barragens de concreto em relação a outros pontos da estrutura ou da fundação.

Pêndulo direto - Instrumento destinado a medir deslocamentos horizontais de pontos de barragens de concreto em várias cotas, em relação a outros pontos da estrutura. Consta essencialmente de um fio de prumo de aço inox, suspenso de um ponto da cota elevada da barragem e mantido tensionado por um peso.

Pêndulo invertido - Instrumento destinado a medir os deslocamentos de uma barragem em relação a pontos de fundação suficientemente profundos, para poderem ser considerados fixos. O fio de prumo invertido é fixado na parte inferior de um poço ou furo de sondagem, é mantido sempre na vertical por meio de um flutuador na extremidade superior e no interior de um reservatório com água ou óleo.

Peneira - A peça metálica de malha trançada, ou de outra forma semelhante, com aberturas espaçadas regularmente, de dimensão uniforme, montada rigidamente em um suporte ou aro e usada para separar materiais particulados em diversos tamanhos.

Peneiramento úmido - O peneiramento efetuado com o concreto fresco, para retirar partículas de agregados maiores de certo tamanho. Normalmente se usa a peneira com abertura 38 mm.

Penetrômetro - Aparelho utilizado para medir, por penetração, a consistência, a dureza, a pega de certos materiais de construção para a medida dos tempos (início e fim) de pega do concreto.

Percolação - Líquido ou material gelatinoso, que sai através de poros, fissuras ou aberturas na superfície do concreto (ver também Exsudação).

Perda ao fogo - A porcentagem de perda de peso (massa) de uma amostra exposta até a constância de massa, a uma temperatura especificada, normalmente entre 900 °C e 1.000 °C.

Perda de abatimento (Perda de Slump) - A variação da trabalhabilidade observada no concreto fresco durante um período de tempo após a medida inicial.

Perda de protensão - A redução da força de protensão resultante do efeito combinado das deformações do concreto e do aço, incluindo escorregamento (deslizamento) na ancoragem, relaxação de tensões no aço, atritos devido às curvaturas dos cabos e os efeitos das deformações elásticas, fluência e retração do concreto.

Perda de trabalhabilidade - Ver perda de abatimento.

Perereca - Compactador pneumático, de pequenas dimensões, operado por uma pessoa para adensamento em regiões confinadas de difícil acesso.

Periclásio - O mineral cristalino de magnésio (MgO), equivalente àquele que pode estar presente no clínquer de Cimento Portland e outros materiais como escórias ou refratários alcalinos.

Período de elevação da temperatura - O período de tempo durante o qual a temperatura do concreto se eleva de modo controlado até um valor máximo desejado, em um sistema de autoclave ou de cura a vapor.

Período de máxima temperatura - O intervalo de tempo, no qual a máxima temperatura é mantida constante no aparelho de autoclave.

Perlita - Vidro vulcânico tendo uma estrutura perlítica normalmente contendo maior teor de água do que a lava; quando expande por aquecimento pode ser usado como material isolante e como agregado para concreto leve (concreto de baixa massa específica).

Permeabilidade - Propriedade de um meio, que indica a maior ou menor facilidade à passagem de água através de seus vazios. É expressa através do coeficiente de permeabilidade (k), normalmente cm/s.

Permeabilidade de ar - Aparelho para determinação da finura de material em pó, como o cimento e materiais pozolânicos.

Permeâmetro - Instrumento com que se mede a permeabilidade de um material.

Permeável - Diz-se do material que se deixa atravessar por um fluido.

Pesagem cumulativa - Medida de mais de um componente de uma betonada, em um mesmo recipiente, de modo a atingir os valores totais sucessivos para cada um dos componentes.

Peso próprio - Parte da carga permanente devida exclusivamente ao peso da estrutura.

Pesquisar - Buscar com diligência, com minúcias, a realidade.

Petrologia - Ciência das rochas, que trata da sua origem, estrutura composição etc; com respeito a todos aspectos ou relações.

Petrografia - O ramo da petrologia que cuida da descrição e classificação das rochas bem como das suas relações geológicas, fundamentalmente através de métodos de laboratório, por escala química ou microscópica e também por litologia, petrologia ou decomposição.

Picnômetro - Frasco, aferido, destinado à medição da massa específico de sólidos ou líquidos.

Piezômetro - Instrumento utilizado para a medição da pressão da água intersticial em maciços.

Piezômetros de corda vibrante - Piezômetro elétrico no qual a pressão da água intersticial, transmitida através da pedra porosa do instrumento, provoca a deflexão de uma membrana, cuja deformabilidade é medida por um transdutor de corda vibrante.

Piezômetro de resistência elétrica - Piezômetro elétrico no qual a pressão da água intersticial, transmitida através da pedra porosa do instrumento, provoca a deflexão de uma membrana cuja deformabilidade é medida por extensômetros de resistência elétrica.

Piezômetro eletropneumático - Piezômetro no qual a pressão da água intersticial, transmitida através da pedra porosa do instrumento, provoca a deflexão de um diafragma flexível. Essa pressão hidráulica é equilibrada pela aplicação de pressão pneumática no outro lado do diafragma. A posição de equilíbrio do diafragma é indicada através de circuito elétrico, que se fecha quando a pressão pneumática contra-balança a pressão hidráulica da água.

Piezômetro hidráulico - Piezômetro com princípio de funcionamento idêntico ao do piezômetro pneumático, sendo que o fluido de leitura é um líquido e não um gás.

Piezômetro pneumático - Piezômetro no qual a pressão da água intersticial, transmitida através da pedra porosa do instrumento, provoca a deflexão de um diafragma flexível abrindo uma válvula. Aplica-se, então, com um gás, pressão através da tubulação de entrada, provocando um fluxo de ar através da válvula e da tubulação de saída, que é conectada até igualar a da água intersticial, quando então ocorre o fechamento da válvula.

Piezômetro tipo Casagrande - Este piezômetro é uma variação do piezômetro tipo tubo aberto, onde o trecho de medida, em vez de utilizar uma tubulação perfurada, utiliza uma pedra porosa.

Piezômetro tipo tubo aberto - Tipo de piezômetro empregado na observação de subpressão em maciços. É basicamente constituído por uma tubulação metálica ou de PVC, instalada no interior de um furo de sondagem até o local onde se deseja medir a subpressão. Nesse local a tubulação é perfurada e envolta por um filtro de areia e/ou pedrisco, sendo o restante do furo preenchido com calda de cimento, bentonita ou argila plástica. A subpressão é fornecida pela elevação da coluna d'água no interior do tubo piezométrico.

Piezometria - Ramo da física que estuda a compressibilidade dos líquidos.

Pintura de Cimento - A pintura constituída, geralmente, de Cimento Portland branco e água, pigmentos, cal hidratada, agentes repelentes ou sais higroscópicos.

Pipeta - Tubo de vidro com as extremidades afiladas, em que se recolhe, por aspiração, um líquido, para efetuar medições.

Piroclástica - Rocha ígnea extrusiva resultante do extravasamento explosivo de lava, devido ação de gases que afetam em fragmentos, cinzas ou poeiras.

Pirômetro - Instrumento para medição de temperatura mediante a radiação emitida por um sistema aquecido.

Piroxênio - Grupo de silicatos ferromagnesianos que constituem minerais formadores de rochas e correm como fase estável em quase todos os tipos de rochas ígneas. São também encontrados em muitas rochas de composições variadas formadas sob condições de

metaformismo regional e termal. Dentre os piroxênios citam-se: enstatita, hiperstênio, diopsídio, hedenbergita, acmita, iadeita, pigeonita e augita.

Piroxenito - Rocha ultramáfica, de granulação grossa, alotriomórfica, constituída principalmente por piroxênio.

Planos gerais de deformação num ponto - Planos definidos pelas direções principais consideradas duas a duas.

Plasticidade - A propriedade complexa do material envolvendo a combinação de qualidade, de mobilidade e condições de estabilidade e escoamento; a propriedade da mistura fresca da pasta, argamassa ou concreto que determina sua resistência à deformação e/ou facilidade de moldagem.

Plástico - Que tem propriedades de adquirir determinadas formas sensíveis por efeito de uma ação exterior.

Pó de Sílica - Sílica em pó, muito fino, usado como ligante silicoso, que reage com cal em condições de cura em autoclave; preparado pela moagem de sílica como quartzo.

Poliéster - Um dos maiores grupos de resinas sintéticas basicamente produzidas pela reação de ácidos dibásicos como alcoóis di-hidroxilas; comumente preparados para a aplicação pela mistura com grupos de monômeros vinílicos e catalisadores com radicais livres, à temperatura ambiente. Usado como ligante para concreto ou argamassa de resinas; Fibras laminadas (normalmente fibra de vidro). Qualquer substância macromolecular resultante da condensação de poli-hidroxilados com ácidos polibásicos.

Polietileno - O termo-plástico orgânico de elevada massa molecular usado na formulação de revestimento ou na forma de lençóis, como cobertura para a cura de superfície de concreto.

Polimento (Acabamento por polimento - Polido) - Acabamento final da superfície do concreto obtido pela passagem de rebolos.

Polimerização - Processo em que duas ou mais moléculas de uma mesma substância, ou dois ou mais grupamentos atômicos idênticos, se reúnem para formar uma estrutura de massa molecular múltipla daquelas unidades iniciais, geralmente elevadas.

Polímero - O produto da polimerização, composto formado por sucessivas aglomerações de grande número de moléculas fundamentais, mais comumente a borracha ou a resina constituída por grandes moléculas formadas por polimerização.

Poliuretano - Produto de reação de um isocianato com uma variedade de outros compostos contendo hidrogênio ativo usado para formulação de revestimentos resistentes a abrasão.

Pontalete - Barrote ou escora (de madeira ou metálica) com que se apóiam formas de lajes, vigas etc.

Porosidade - A relação normalmente expressa como porcentagem do volume de vazios em um material, para o volume total do material incluindo os próprios vazios.

Portlandita - O mineral hidróxido de Cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que ocorre na forma natural na Irlanda e é equivalente a um produto comum na hidratação do Cimento Portland.

Pró-tensão - Método de protensão, sendo que os cabos são tensionados após o concreto ter endurecido.

Potenciômetro - Instrumento para medir diferenças de potencial elétrico, resistor com um cursor central, que pode servir como divisor de tensão.

Potência - A energia produzida ou consumida por unidade de tempo.

Pozolana - O material silicoso ou sílico-aluminoso, que por si só tem pouco ou nenhum poder aglutinante, mas quando na forma de pó, finamente dividido e na presença de umidade, reage quimicamente com hidróxido de cálcio a temperaturas normais para formar composto com propriedades aglutinantes.

Pozolânico - De ou pertencente, ou que se refere a pozolana.

Prática - Saber provindo de experiência.

Pré-tensão - Método de protensão, sendo que os cabos são tensionados antes da concretagem.

Precisão - A precisão de um instrumento é obtida através da comparação das leituras realizadas pelo mesmo, sobre uma unidade-padrão. A tolerância dentro da qual qualquer medida

da variável dada pelo instrumento varia em relação à medida idealmente correta ou, preferencialmente, duas vezes o erro-padrão das medidas, caracteriza a precisão do instrumento. Exatidão.

Pressão de vapor - Componente de pressão atmosférica causada pela presença de vapor; expressa em centímetros ou milímetros de altura de uma coluna de mercúrio.

Pressão efetiva - Relação entre esforço normal a área transmitida entre os grãos de um meio poroso, pressão que mobiliza efetivamente o atrito interno. É a componente da pressão normal que controla as variações de volume e as características de resistências ao cisalhamento do meio. Tensão efetiva.

Pressão hidrostática - Pressão isotrópica exercida por líquidos em repouso.

Pressão na fôrma - Pressão lateral que atua na superfície por vertical ou inclinada das fôrmas e é resultante do comportamento líquido que o concreto não endurecido possui.

Pressão neutra - Pressão transmitida a um meio sólido pela água que preenche os seus vazios.

Produto de cimento amianto - Produtos rígidos constituídos essencialmente por fibras de amianto e Cimento Portland usados em larga escala nas edificações.

Proporcionar - Diz-se, em tecnologia do concreto, da rotina para estabelecer quantidades ótimas dos componentes de um concreto ou argamassa para atender determinadas propriedades; dosar.

Protensão - Solicitação que se aplica a uma estrutura com o fim de melhorar a sua capacidade de resistência. Processo pelo qual se aplicam, ao concreto, tensões antes de submetê-lo à ação das cargas de serviços.

Protensão parcial - Protensão a uma tensão, tal que induza tensões, na estrutura, inferiores às de projeto, para as cargas de trabalho que atuam durante a construção.

Protensão química do concreto - Concreto produzido com cimento expansivo e armadura, de tal modo que a expansão do cimento induz tensões de tração na armadura dando origem à protensão do concreto.

Protensão transversal - Protensão aplicada normal ao principal eixo longitudinal da peça.

Prumo - Dispositivo constituído de uma peça de metal ou de pedra suspensa por um fio flexível, utilizando para determinar a direção vertical.

Pulmão - Estoque intermediário, utilizado estrategicamente em uma linha de produção para garantir suprimento de materiais, em períodos de interrupção do abastecimento do sistema.

Pulverulentos - Finos presentes nos agregados, menores que a peneira nº 200.

Purnito - Rocha vítrea com vesículas, semelhantes à esponja.

Punção - Instrumento pontiagudo para furar ou romper.

Puxar - Tornar tenso: diz-se nas construções do período de enrijecimento do concreto, ou argamassa, correspondente ao tempo de fim de pega.

Q

Quadrante - Instrumento para medir ângulos, semelhantes ao sextante, cujo limbo abrange um quarto de circunferência.

Qualidade - Numa escala de valores, é a característica que permite avaliar, e conseqüentemente, aprovar, aceitar ou recusar qualquer coisa ou material.

Quantil - Qualquer dos valores de uma variável aleatória para os quais a respectiva função de distribuição assume valores múltiplos de uma fração dada.

Quartzito - Rocha metamórfica composta essencialmente de quartzo. Produto de metaformismo intenso e arenito.

Quartzo - Silica cristalina (SiO_2). Importante mineral formado de rochas.

Quartzo-diorito - Rocha ígnea plutônica granular, com composição do granodiorito, diferindo deste por uma menor quantidade de quartzo.

Quilograma - Unidade fundamental de medidas de massa, no sistema internacional (Kg).

Quilograma-força - Força devida ao peso de uma massa igual a um quilograma, com aceleração de gravidade, igual a $9,80665 \text{ m/s}^2$ (Kgf), ($1 \text{ Kgf} = 9,80665 = 9,81 \text{ N}$).

Quilowatt - Unidade de potência ativa em circuitos elétricos de corrente alternada, igual a mil watts.

R

Raio de giracão - Raiz quadrada do quociente do momento de inércia pela área da seção.

Raio de giracão principal - Raio de giracão correspondente a um momento de inércia principal.

Rampa (Talude) de avanço de injeção - Métodos de injeção, pelo qual a frente da massa de uma calda é obrigada a movimentar-se horizontalmente através do agregado pré-colocado e do uso de uma sequência adequada da injeção.

Ranhura - Sulco formado.

Rarefazer - Diminuir a densidade; tornar menos denso, menos espesso.

Reação álcalis-agregados - A reação química, na argamassa ou concreto, entre os álcalis (sódio e potássio) do Cimento Portland ou outras origens e certos constituintes dos agregados. Sob certas condições pode ocorrer expansão danosa. - Ver Reação álcalis-silica.

Reação álcalis-carbonato - A reação química entre os álcalis (sódio e potássio) do Cimento Portland e certas rochas e carbonatos, particularmente calcários e carbonatos dolomíticos, presentes em alguns agregados; o produto de reação pode propiciar expansões exageradas e o fraturamento do concreto.

Reação álcalis-silica - A reação entre álcalis (sódio e potássio) do Cimento Portland e certas rochas ou minerais silicosos, tais como opala, chert e rochas vulcânicas vítreas, presentes em certos agregados; o produto da reação pode causar expansões exageradas e o fraturamento do concreto.

Reação endotérmica - Substância química que ocorre com absorção de calor.

Reagente - Qualquer substância que participa de uma reação.

Reatividade - Qualidade ou estado do que é capaz de reagir.

Reatividade do agregado com álcalis - Suscetibilidade do agregado à reação álcalis agregado (ver reação álcalis-agregado).

Reboco - Argamassa de cal ou cimento e areia que se aplica a uma parede, depois de emboçada, para lhe proporcionar uma superfície lisa e uniforme, apta a receber o revestimento.

Recalque - Deslocamento vertical para baixo de parte ou do todo, de uma construção.

Reflexão - Ver Ricochete.

Refratário - Que pode permanecer em contato com calor elevado, sem se alterar.

Rejeitar - Não aceitar, recusar.

Relação Água / Cimento - Ver fator Água / Cimento.

Relação areia / agregado graúdo - A relação entre o teor de areia e o do agregado graúdo na mistura de concreto.

Relaxação - Fenômeno de diminuição, com o tempo, da tensão sob deformação constante. A perda de tensão à temperatura constante.

Relaxação do aço - A diminuição da tensão no aço, como consequência da fluência do aço sob uma deformação profunda; a diminuição da tensão no aço como consequência da diminuição da deformação do aço como a que resulta da retração e fluência do concreto em elementos de concreto protendido.

Relaxação total - Relaxação que conduz à anulação da tensão.

- Relógio comparador** - Pequeno extensômetro mecânico utilizado para a observação de deformações e deslocamentos lineares em ensaios de laboratório e *in situ*.
- Remoldagem (Remoldabilidade)** - A rapidez com a qual a mistura de concreto fresco responde ao esforço de remoldagem, como aquele causado pela vibração para o concreto envolver totalmente a armadura ou fique junto às fôrmas.
- Rendimento (Eficiência)** - É o quociente da resistência do concreto, pelo consumo de aglomerante (cimento mais material pozolânico, quando usado).
- Reologia** - Parte da física que investiga as propriedades e o comportamento mecânico dos corpos deformáveis que não são nem sólidos nem líquidos.
- Reparar** - Fazer conserto-restaurar.
- Repetibilidade** - A variação dos resultados obtidos pela repetição dos ensaios sobre o mesmo material, em um mesmo laboratório por um único operador; a quantidade que pode exceder (ultrapassar) em somente 5% das repetições pela diferença, tomada pelo vapor absoluto, de dois resultados escolhidos ao acaso entre aqueles obtidos em um mesmo laboratório, sobre um mesmo material.
- Reprodutibilidade** - Ver Repetibilidade. A característica de um determinado instrumento, que traduz a capacidade com que o mesmo reproduz o mesmo valor da grandeza medida, em uma sucessão de leituras realizadas em curto intervalo de tempo.
- Resíduo insolúvel (cimentos)** - A porção de um cimento ou agregado que não é solúvel em ácido clorídrico diluído a uma certa concentração.
- Resiliência** - Propriedade dos corpos que armazenam grande energia de deformação, sem se deformarem permanentemente.
- Resina** - O material natural ou sintético, sólido ou semi-sólido orgânico, de massa molecular indefinida e elevada, que possui a tendência de escoar sob tensão, tendo um comportamento suave e com fraturas do tipo conchoidal.
- Resina acrílica** - Um dos grupos das resinas termoplásticas formadas pela polimerização de ésteres e aminoácidos acrílicos; usados nas construções de concreto como materiais para colagem ou selantes superficiais.
- Resina de polietileno** - Resinas simétricas de cor variável de branco com amarelo, formadas pela polimerização do estireno por aquecimento com ou sem catalisadores, que podem ser usadas para revestimento e pintura do concreto ou para fabricar moldes, ou isolantes.
- Resina fenólica** - Classe das resinas sintéticas (plásticas), solúveis, produzidas pela condensação de produtos fenólicos e formaldeídos ou outro aldeído similar, que podem ser usadas para a pintura de concreto.
- Resina de epóxi** - (Ver epóxi) - A classe de sistemas de ligantes químico-orgânicos utilizada na preparação de revestimentos especiais ou adesivos para concreto ou como ligante em argamassas e concretos de epóxi.
- Resistência** - Ver Resistência à compressão, Resistência à flexão, Resistência ao cisalhamento, Resistência à tração. Propriedades dos materiais de suportarem esforços mecânicos. O valor da tensão que provoca a ruptura.
- Resistência a abrasão** - A capacidade de uma superfície resistir quando submetida a atrito com materiais sólidos ou líquidos.
- Resistência a baixas idades** - Resistência do concreto ou argamassa, desenvolvida durante as primeiras 72 horas após o lançamento.
- Resistência a compressão** - Tensão a que o concreto se rompe por compressão.
- Resistência a flexão** - A propriedade de um material ou peça estrutural de indicar a sua capacidade de resistir à ruptura por flexão (ver também Módulo de ruptura).
- Resistência média à compressão (fcj)** - Termo usado para designar a resistência à compressão de uma dada classe ou nível de resistência de concreto, idade "j" dias.
- Resistência à penetração** - A resistência da argamassa ou pasta à penetração de uma agulha em condições padronizadas e normalmente expressa em kgf/cm^2 ou MPa.
- Resistência à tração por compressão diametral** - A tensão de tração do concreto, determinada pelo ensaio de ruptura diametral.

- Resistência ao cisalhamento** - A máxima tensão de cisalhamento que o material ou elemento estrutural é capaz de suportar.
- Resistência ao fogo** - Propriedade de um material ou sistema suportar o fogo ou proteger contra o fogo; caracteriza-se pela capacidade de reduzir o efeito da ação do fogo e/ou de manter o desempenho do elemento estrutural.
- Resistência aos sulfatos** - Capacidade de argamassa ou concreto de suportar o ataque por sulfatos.
- Resistência característica à compressão (f_{ck})** - Termo usado para designar a resistência mínima, apresentando certa probabilidade prefixada de não apresentar valores inferiores.
- Resistência cúbica** - Resistência à compressão determinada em ensaio por rompimento de corpo de prova cúbico com lado especificado.
- Resistência de aderência** - Resistência à separação entre argamassa ou concreto e armadura ou outro material com o qual esteja em contato.
- Resistividade** - Resistência elétrica de um corpo de seção reta uniforme com área unitária e cujo comprimento é igual à unidade.
- Retardador** - Um aditivo que prolonga o período de pega da pasta de cimento e por consequência as misturas de argamassa ou concreto, preparadas com cimento.
- Retardador de superfície** - O agente retardador aplicado à fôrma ou à superfície do concreto fresco para retardar a pega do cimento e facilitar o tratamento de junta ou a remoção de argamassa para exposição do agregado no acabamento do concreto.
- Retentividade** - Em tecnologia de concreto é a propriedade de reter a água do concreto, argamassa ou calda.
- Retração** - Contração parcialmente irreversível de uma calda, argamassa ou concreto, que se verifica durante o endurecimento; a redução de volume causada pela secagem ou por ação química em função do tempo, mas não da temperatura ou das tensões devido ao carregamento. (Ver Retração por secagem).
- Retração hidráulica (retração por secagem)** - A concentração causada pela perda de umidade.
- Retração plástica** - A contração que ocorre, levando à fissura, na superfície do concreto fresco logo após o lançamento, enquanto está plástico.
- Revestimento** - Material aplicado à superfície, através de pincel, aspersão, brocha, espátula etc; para preservar, proteger, decorar, selar ou regularizar o substrato.
- Revestimento de fôrma** - O líquido aplicado na parte interna (parte em contato com o concreto) do painel, com finalidade de proteger o painel (no caso de se desejar acabamento com agregado exposto).
- Revestimento de polissulfetos** - Revestimento, de proteção, preparado pela polimerização aos ozônios, raios solares, oxidação e intempéries.
- Revibração** - Uma ou mais aplicações de vibração ao concreto após terminada a operação de lançamento e a fase de adensamento, antes do início da pega do concreto.
- Ricochete (Reflexão)** - Agregado ou cimento ou concreto projetado, que ricocheteia na superfície, contra a qual o concreto projetado está sendo aplicado.
- Riolito** - Rocha ígnea vulcânica, geralmente porfírica, exibindo textura fluidal, constituída de fenocristais. É a equivalente extrusiva do granito. A composição mineralógica é idêntica a do granito.
- Robustez** - Robustez traduz a habilidade intrínseca de um instrumento de se manter inalterável quando submetido às condições ambientais reinantes nas obras de engenharia, suportando variações de temperatura, umidade, submersões prolongadas, substâncias agressivas etc.
- Rocha** - Agregado natural formado de um ou mais minerais (inclusive vidro e matéria orgânica), que constitui parte essencial da crosta terrestre e é claramente individualizado. O material pode não ser consolidado como, por exemplo, areias, argilas etc., desde que representem corpos independentes.

Rocha Britada (pedra britada, brita) - O produto resultante do britamento artificial de rochas, tendo substancialmente todas as faces com bordas definitivas resultantes de operação de britamento.

Rocha de cimento - Calcário natural impuro que contém ingredientes para produção do Cimento Portland, em proporções aproximadas às necessárias para esse fim.

Rocha matriz - Rocha que, pela ação dos agentes erosivos e intemperismo, fornece partículas e elementos químicos para a formação de depósitos sedimentares nas bacias de sedimentação. Rocha cuja meteorização forma solos do tipo coluvião e residual. Rocha mãe.

Rocha Sã ou pouco alterada - Rocha de natureza geológica bem definida, com componentes mineralógicos originais intactos. O termo é utilizado predominantemente para as rochas ígneas e metamórficas. Para as rochas sedimentares deve-se acrescentar dados complementares como a dureza, friabilidade, tipo de cimento e consistência.

Roseta extensométrica - Conjunto de três ou mais extensômetros independentes, destinados a medir as tensões principais e a sua direção em uma estrutura de concreto.

Rudito - Rocha sedimentar consolidada, formada por clastos grosseiros, cujas

S

Sarrafear - Acabar o concreto, através da remoção de excessos de material com sarrafo ou régua.

Saturação - Estado de um vapor em equilíbrio com o seu líquido; estado de uma solução em que a concentração do soluto é a máxima compatível com as condições de temperatura e pressão da solução. Ação ou processo de saturação, ou estado de estar saturado.

Saturação a vácuo - Processo para aumentar o preenchimento dos poros de um material poroso, por um fluido, através da redução do ar na presença desse fluido.

Sazonamento - Tratamento que se dá ao concreto durante alguns dias depois de lançado, com o fim de evitar a evaporação de água de amassamento.

Secante - Reta que intercepta uma curva.

Seção delgada - Seção formada de elementos de pequena espessura em relação às dimensões do conjunto da seção.

Seco em estufa - Secagem em estufa à temperatura normalmente entre 105 °C e 115 °C até que a massa total do corpo de prova torne-se constante.

Sedimentar (Rocha) - Rocha originada pela consolidação de: a) detritos de outras rochas que foram transportados, depositados e acumulados, ou de b) produtos de atividade orgânica, precipitados químicos por evaporação e atividade bioquímica. Em ambos os casos têm-se geralmente a formação de estratos ou camadas. As detríticas são classificadas de acordo com a granulometria. Ex.: calcário, dolomito, halita.

Segregação - A concentração heterogênea dos componentes da mistura de concreto, agregado ou outro material, resultando uma massa não uniforme.

Seixo rolado - Fragmentos de rocha de dimensão entre 4,8 mm e 250 mm; para uso como agregado para concreto. Cascalho.

Selante de Junta - Material compressível usado para impedir a entrada de água e materiais estranhos nas juntas.

Sensibilidade - A sensibilidade de um instrumento é definida como sendo o menor incremento de grandeza medida, que pode ser lido, na escala de leitura, de modo consistente. Medição de capacidade de resposta de um instrumento de medida, usualmente expressa pelo quociente da intensidade do sinal de saída pela intensidade do sinal de entrada.

Separação - Ver Segregação e Exsudação.

Sílex - Mistura irregular de calcedônia com certa proporção de sílica hidratada (opala).

Sílica - Dióxido de silício cristalino (SiO₂).

- Sílicas reativas** - Vários tipos de materiais que reagem a elevadas temperaturas, com o Cimento Portland ou cal durante o processo de autoclave; inclui a sílica pulverizada, pozolanas naturais e cinzas volantes.
- Silicato** - Sais de ácido silícico. Numeroso grupo de substâncias minerais constituídas pela combinação da sílica com um ou mais óxidos metálicos e água.
- Silicato dicálcico** - O composto tendo a composição ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) abreviadamente C_2S , que ocorre no clínquer de cimento Portland.
- Silicato tricálcico** - Composto possuindo a formulação $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, abreviadamente C_3S , uma forma impura de um dos principais constituintes do Cimento Portland.
- Silicone** - A resina cujo principal polímero é constituído de silício hidrogênio e oxigênio, alternadamente, com grupos de carbono, que se caracteriza por ser repelente à água; podendo ser usado como revestimento ou como aditivo para concreto.
- Silte** - Material sedimentar; de minerais diversos; de tamanho compreendido entre a areia e a argila, normalmente com dimensão entre 0,05 mm e 0,005 mm.
- Siltito** - Rocha redimentar detrítica proveniente da litificação de sedimentos com granulometria de silte.
- Singenita** - Sulfato de cálcio e potássio hidratado, que se compõe, algumas vezes, durante a hidratação do Cimento Portland e encontrado em concreto deteriorado ou que se forma durante a estocagem do cimento, pela reação do sulfato de potássio com o gesso.
- Sismógrafo** - Aparelho que registra os sismos (movimento da crosta terrestre).
- Solicitação** - Ação de causa externa capaz de produzir ou alterar a deformação de um corpo ou o estado de tensão de seus elementos (esforços externos; variações de temperatura ou ações equivalentes; recalque de apoios).
- Solicitação brusca** - Solicitação cuja intensidade varia rapidamente no tempo.
- Solicitação constante** - Solicitação que não varia em dado intervalo de tempo.
- Solicitação contínua** - Solicitação cuja identidade é função contínua do tempo.
- Solicitação dinâmica** - Solicitação cuja aplicação é feita de tal modo que não se devem desprezar os seus efeitos dinâmicos.
- Solicitação estática** - Solicitação cuja aplicação é feita de tal modo que se podem desprezar os seus efeitos dinâmicos.
- Solicitação instantânea** - Solicitação que atua durante um intervalo de tempo muito pequeno.
- Solicitação não uniforme** - Solicitação cuja intensidade varia com as coordenadas dos pontos da região em que atua.
- Solicitação uniforme** - Solicitação cuja intensidade não varia com as coordenadas dos pontos da região em que atua.
- Solicitação periódica** - Solicitação cuja intensidade é função periódica do tempo.
- Solicitação variável** - Solicitação que varia com o tempo.
- Solubilidade** - Propriedade de substância que se dissolve em outra; medida da capacidade que tem uma substância de se dissolver em outra, expressa pela concentração da solução saturada da primeira na segunda.
- Solvente** - Substância (líquido ou sólido) em que outra substância é dissolvida.
- Sonda** - Instrumento destinado a medir em profundidade certas características de materiais.
- Soquete** - O instrumento para adensar argamassa ou concreto através do apiloamento.
- Subjacente** - Camada inferior.
- Superfície saturada seca** - (S.S.S. - Saturado, Seco, Superficialmente) - Condição das partículas de agregados, ou outro sólido poroso, onde os vazios permeáveis encontram-se preenchidos com água e não ocorre água nas superfícies expostas.
- Surkhi** - Tipo de pozolana, a partir de argila cozida, produzida na Índia.
- Suspensão** - Sistema constituído por uma fase líquida ou gasosa, na qual está dispersa uma fase sólida com partículas de dimensões superiores às de um colóide, e que sedimentam, com maior ou menor rapidez, sob a ação da gravidade.

T

Talco - Mineral muito mole e macio, tendo a composição $[Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2]$.

Talude - Superfície inclinada de uma escavação, ou de um aterro, ou uma construção.

Talvegue - Linha sinuosa no fundo de um vale, pela qual as águas correm e que divide os planos de duas encostas; canal mais profundo do leito de um rio.

Tamanho máximo agregado - Nas especificações para os agregados é a menor abertura de peneira, através da qual a todo agregado é especificado (requerido) passar (ver também tamanho máximo nominal do agregado). D Máx.

Tamanho máximo nominal do agregado - Nas descrições sobre agregados é a menor abertura da peneira através da qual se permite que passe todo o agregado.

Tangente - Em um ponto de uma curva ou de uma superfície é o limite da secante que passa por outro, quando este tende para aquele; quociente entre o seno e o cosseno de um arco.

Tapume - Vedação provisória feita de tábuas.

Taxa de exsudação - A razão na qual a água emerge da pasta ou argamassa, pela exsudação.

Tecnologia - Conjunto de conhecimento, especialmente princípios, que se aplicam a um determinado ramo de atividade; ciência que trata da técnica.

Tela de metal expandido - Peça metálica, usada como armadura e/ou como fôrma, obtida pela adequada estampagem e corte de folha (chapa) metálica e posterior alongamento para formar um reticulado de forma aproximadamente hexagonal.

Telecoordinômetro - Aparelho eletrônico idêntico ao do coordenômetro óptico, para determinar os deslocamentos do fio do pêndulo direto ou invertido. É fundamentalmente constituído por um sensor, solidário ao fio do pêndulo e pelo receptor, que permite através de um círculo magnético determinar a posição do fio em um painel de leitura.

Telha - Peça, em geral, de barro cozido, usada na cobertura de edifícios.

Telhado - Parte exterior da cobertura de um edifício.

Temperatura - Nível da quantidade de calor existente em um sistema.

Tempo de fim de pega - O tempo necessário para que uma pasta argamassa ou concreto atinja uma resistência à penetração especificada (ver também **Fim de pega**).

Tempo de início de pega - O tempo necessário para que uma pasta, argamassa ou concreto atinja uma resistência à penetração especificada menor do que a do fim de pega (ver também **Início de pega**).

Tempo de mistura - O período durante o qual os constituintes do concreto são misturados, sob determinada velocidade.

Tempo de resposta - O tempo que o sistema de medida do instrumento leva para completar uma leitura simples da variável medida.

Tenacidade - Propriedade dos corpos que consomem grande energia de deformação antes de romperem.

Tensão convencional de escoamento a n% - Tensão para a qual, num ensaio de tração, o alongamento permanente é de n%.

Tensão média de aderência - O quociente da força exercida ou suportada pelo elemento tensor, pelo produto do seu perímetro e o comprimento de aderência ou ancoragem.

Tensão de aderência na ancoragem - Ver Tensão média de aderência.

Tensão de cisalhamento - Tensão tangencial.

Tensão de compressão - Tensão normal orientada para o interior da porção do corpo; geralmente atribui-se o sinal negativo.

Tensão de escoamento - Tensão sob a qual se dá o escoamento (quando ligeiramente variável, usa-se o menor valor observado durante o escoamento). A tensão, menor que a tensão

máxima, na qual a relação da tensão para a deformação é menor que os valores observados inicialmente.

Tensão de retração - Tensão normal orientada para o exterior da porção do corpo, cujo equilíbrio se pretende estudar; geralmente atribui-se o sinal positivo.

Tensão limite de elasticidade - Tensão até a qual o material se comporta elasticamente.

Tensão limite de proporcionalidade - Tensão até o qual o material se comporta em regime de elasticidade perfeita.

Tensão de aderência (T_a) - A força de ligação por área unitária de contato entre duas superfícies em contato, tal como a que ocorre entre o concreto e o aço da armadura ou entre outros materiais, tais como rocha de fundação; tensão de cisalhamento na superfície das barras de armadura.

Tensão normal - Componente, segundo a normal a uma faceta, da tensão nessa faceta.

Tensão numa faceta - Quociente da força atuante numa faceta pela área dessa faceta.

Tensão tangencial - Componente, segundo o plano de uma faceta, de tensão nessa faceta.

Tensão térmica - A tensão na estrutura ou peça, decorrente de variações ou gradientes de temperatura na estrutura ou na peça.

Tensômetro - Termo utilizado para designar os vários tipos de instrumentos que têm por objetivo a determinação do estado de tensão natural de maciços.

Tensômetro para armadura - Instrumento que permita a medição de tensões em barras de armadura no interior de estruturas de concreto.

Tensômetro para concreto - Ver Célula de pressão.

Tentativas (métodos das) - A sequência de betonadas ou misturas para acertos de um proporcionamento e dosagem.

Teodolito - Instrumento óptico de precisão utilizado para a observação dos deslocamentos de estruturas através do processo de triangulações geodésicas.

Teor de ar - O volume de vazios de ar na pasta de cimento, argamassa ou concreto, excluindo os poros dos agregados e normalmente expresso como porcentagem do volume total de pasta, argamassa ou concreto.

Teor de argila - Porcentagem de argila em termos de massa de um material heterogêneo, tal como solo ou agregados.

Termoplástico - Plástico que sofre amolecimento, podendo ser moldado ou remoldado, com elevação de temperatura.

Termômetro de resistência - Instrumento utilizado para a medição de temperaturas em estruturas de concreto. Empregam como princípio de funcionamento a propriedade dos metais de alterar a resistência elétrica com a mudança de temperatura.

Termopar - Ver Par termoeletrico.

Terraço - Superfície plana ou levemente inclinada, em geral com frente escarpada que margeia um rio, um lago ou mar, e atesta por meio de testemunhos geológicos e geomorfológicos as variações dos materiais sob a ação do tempo.

Terra de Santorim - Tufa vulcânica originária das Ilhas Gregas de Santorim e usada como pozolana.

Terras diatomáceas - Material friável, composto quase que totalmente por sílica pura amorfa hidratada (opala) e constituída essencialmente por carapaças de microrganismos chamadas diatomitomáceas.

Testemunhos - Em concreto, a amostra cilíndrica de concreto endurecido, obtida através de extração com sonda.

Textura - Aspecto, em geral, macroscópico da rocha ou da superfície de concreto ou argamassa.

Tijolo - Produto cerâmico avermelhado, geralmente em forma de paralelepípedo, usado para construções.

Tixotropia - Fenômeno que apresentam certos líquidos cuja viscosidade diminui quando são agitados. Propriedade de um material que o torna capaz de enrijecer num tempo

relativamente curto, quando deixado em repouso e de perder essa consistência até se tornar um líquido de alta viscosidade, quando submetido a agitação ou manipulação, sendo o processo completamente reversível. Propriedade que os gels apresentam de poderem ter sua elevada viscosidade eliminada, ou sensivelmente diminuída por agitação.

Tobermorita - O mineral encontrado na Irlanda do Norte e em outros lugares, tendo uma formulação aproximada $\text{Ca}_4(\text{Si}_4\text{O}_{15}\text{H}_{12}) \cdot \text{Ca} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, que se assemelha com a tobermorita artificial "G", de Brunauer, um silicato de cálcio hidratado com um fator de $(\text{CaO} \cdot \text{Si})_2$ entre 1,39 e 1,75 e formando pequenos cristais acamados que constituem o principal meio aglutinante de Cimento Portland.

Tolerâncias - Diferença máxima admitida entre um valor especificado e o obtido; margem especificada como admissível para o erro em uma medida ou para discrepância em relação a um padrão. A variação permitida para uma dada dimensão ou quantidade; a amplitude da variação permitida para manter uma dimensão especificada; a variação permitida para posicionamento ou alinhamento.

Topográfica - Descrição minuciosa de uma localidade; arte de representar no papel a constituição de uma parte do terreno com todos os acidentes e objetos que se achem à sua superfície.

Torção - Deformação de um sólido em que ocorrem deslocamentos circulares das camadas vizinhas, uma em relação às outras.

Torção composta - Estado de uma barra em que há momentos de torção, totais, além de outros esforços solicitantes.

Torção não uniforme - Torção simples ou composta em que há momentos de flexo-torção.

Torção simples - Estado de uma barra em que os esforços solicitantes são só momentos de torção totais.

Torção uniforme - Torção simples ou composta em que são nulos os momentos de flexo-torção.

Torniquete - Cruz móvel, colocada horizontalmente, que se movimenta sobre um apoio, sob ação de líquidos.

Trabalhabilidade - A propriedade da mistura fresca de argamassa ou concreto que caracteriza a facilidade e condições de homogeneidade com que a mistura pode ser transportada, lançada, compactada e acabada.

Transdutor - Qualquer dispositivo capaz de transformar um tipo de sinal em outro tipo, com objetivo de transformar uma forma de energia em outra ou possibilitar o controle de um processo ou fenômeno. Designação genérica atribuída ao elemento sensível de um instrumento.

Transdutor de corda vibrante - Transdutor de deformação que utiliza o princípio de funcionamento de frequência de vibração de um fio metálico tensionado e proporcional à tensão de tração que o solicita. A determinação da frequência de vibração do transdutor é realizada, comparando-se com o de uma corda vibrante padrão, tensionada sob tensão conhecida.

Transdutor de resistência elétrica - Transdutor de deformação que utiliza o princípio de funcionamento de que a resistência elétrica de um fio varia com a deformação.

Transdutor fotoelástico - Dispositivo constituído por um cilindro de material

Transdutor piezoelétrico - Transdutor constituído por certos tipos de cristais que geram um potencial elétrico ao serem elasticamente deformados ao longo de planos específicos de tensão. Convertem, geralmente, pressões ou deslocamentos em sinais elétricos.

Traquito - Rocha vulcânica, geralmente porfirítica, constituída por feldspato alcalino, minerais máficos e pequena quantidade de plagioclásio sódico. Equivalente extrusiva do elenito.

Transpassar - Passar além de uma superfície, ponto ou região.

Transpasse - O comprimento pelo qual uma barra ou malha da armadura sobrepõe outra.

Trellça - Sistema estrutural composto por peças cruzadas e com fixação ou articulação definida.

Tremie - O tubo através do qual o concreto é depositado sob água, tendo na parte superior um alimentador para garantir a continuidade de concretagem.

Triangulação - Processo geodésico utilizado para levantamento e para a determinação dos deslocamentos horizontais de uma estrutura. Consiste no estabelecimento de uma rede de estações de observação, a partir das quais são determinados os deslocamentos de marcos de visada estabelecidos sobre estrutura.

Tromba - Tubo articulado, ou flexível, usado para lançamento de concretos ou argamassa.

Turbidímetro - O dispositivo para medir a distribuição granulométrica de materiais finos, através da turbidez da suspensão em um fluido.

U

Ultrabásica - Rocha ígnea que contém menos de 45% de sílica, caracterizando-se pela pobreza ou ausência de feldspato e pela predominância de minerais escuros.

Ultra-som - Oscilação de natureza acústica, com frequência superior a 20.000 Hertz.

Umidade - Qualidade ou estado de impregnação de água.

Umidade absorvida - A umidade que tenha penetrado no material sólido por absorção e que mantenha as propriedades físicas não muito diferentes da água às mesmas condições de temperatura e pressão (ver Absorção).

Umidade relativa - A relação da quantidade de vapor de água existente, para a quantidade que ocorre em uma atmosfera saturada, a uma determinada temperatura; é expressa em porcentagem.

Umidade superficial - Água livre retida nas superfícies das partículas dos agregados. É considerada como água de mistura do concreto (ver também Absorção).

V

Vácuo - Pressão inferior a uma atmosfera.

Valor colorimétrico - Uma indicação da quantidade de impurezas orgânicas presentes no agregado miúdo, pela coloração.

Vapor - Gás em temperatura inferior à crítica.

Variação de volume - O aumento ou diminuição de volume.

Variação de volume em autoclave - Variação volumétrica produzida pela hidratação contínua do cimento, executando-se os efeitos de forças externas, ou do teor de água ou da temperatura.

Vazio do ar - O espaço na pasta de cimento, argamassa ou concreto preenchido com ar. O vazio de ar aprisionado tem dimensões superiores a 1 mm, e forma irregular, e o vazio de ar incorporado tem dimensões entre 10 e 1.000 µm e é de forma esférica.

Veda-junta - Peça de seção delgada, de metal, plástico, borracha ou outro material colocado (embutido) através de uma junta, de modo a impedir a passagem de líquidos.

Veículo agitador - O veículo contendo um tambor para o transporte do concreto fresco, desde o ponto de mistura até o ponto de lançamento, sendo o tambor mantido em rotação.

Velocidade - Relação entre um espaço percorrido e o tempo de percurso, no movimento uniforme; num sistema referencial determinado, o vetor igual a derivada do vetor posição de um ponto em relação ao tempo.

Velocidade de aquecimento - A velocidade, expressa em graus centígrados por hora, na qual a temperatura de um forno ou autoclave se eleva até um valor desejado.

Velocidade de mistura - A velocidade de rotação de um misturador (ou das pás de um eixo árvore de mistura), ao efetuar a mistura; expressa em rotações por minuto.

Vergalhão - Barra de metal cuja seção reta tem forma definida, que se emprega nas armaduras para concreto.

- Vermiculita** - Grupo de minerais micáceos, silicatos hidratados de composição variada, originados da alteração de micas (tem a propriedade de, ao serem aquecidos, perderem água e intumescerem e adquirirem o aspecto de um verme).
- Verniz** - Solução de goma ou resina natural ou sintética, em álcool.
- Vesícula** - Cavidade vazia encontrada em rochas efusivas, de forma variável; esférica, elíptica, cilíndrica ou irregular. Originada, geralmente, pela expansão de gases na massa fundida.
- Vesicular** - Propriedade do mineral que possui vesículas disseminadas em sua massa.
- Vertedouro** - Espécie de soleira com a finalidade de verter água.
- Vibração** - Agitação energética aplicada ao concreto fresco, durante o lançamento, através de dispositivos mecânicos, movidos elétrica ou pneumaticamente, e que cria impulsos vibratórios de frequência moderadamente elevada, consolidando o concreto no molde.
- Vibração externa** - A vibração por meio de elementos vibratórios colocados nas formas ou moldes.
- Vibração interna** - A vibração por meio de elementos vibratórios imersos no concreto.
- Vibração na superfície** - A vibração por meio de elementos vibratórios colocados em régua ou sistemas deslizantes.
- Vibrador** - O equipamento que adensa (compacta) o concreto fresco recém-lançado, por meio de vibração.
- Vibrador de superfície** - O vibrador usado para adensamento do concreto, pela aplicação na superfície de massa do concreto fresco.
- Vidro** - Substância amorfa (não cristalina) resultante de resfriamento rápido.
- Viscoelasticidade** - Propriedades que apresentam certos materiais de se deformarem com uma velocidade proporcional à grandeza da tensão aplicada.
- Viscosidade** - Característica física dos fluidos em geral. Representa o coeficiente de proporcionalidade entre o esforço aplicado e o gradiente da velocidade em regime laminar. Resistência que todo fluido real oferece ao movimento relativo de qualquer de suas partes; atrito interno de um fluido.
- Viscosímetro de torque** - O aparelho usado para medir a consistência de caldas ou lamas, no qual a energia necessária para girar um dispositivo, acoplado a uma mola, é proporcional à viscosidade.
- Volume** - Medida do espaço ocupado por um sólido.
- Volume absoluto** - (Dos ingredientes da argamassa ou concreto). O volume ocupado na massa do concreto por um componente do concreto ou argamassa.
- Volume compactado seco** - O volume, aparente, ocupado por agregado seco compactado por apiloamento sob condições padrões, usado para determinação da massa unitária (massa específica aparente) do agregado.
- Vulcânica** - Rocha ígnea originada pelo extravasamento do magma na superfície terrestre, formando cones, derrames e piroclastos. As extrusivas, por isso, possuem grande variação de textura que se reflete em suas propriedades. Os vidros naturais pertencem a esse grupo.
- Vulcanização** - Processo em que se torna elástica, resistente e insolúvel a borracha natural e que se baseia na introdução de átomos de enxofre na cadeia do polímero natural.

X

- Xenólito** - Fragmentos de rochas alóctonas, estranhas à massa da rocha ígnea na qual estão englobadas. Tipo de inclusão geralmente formada pelo englobamento, de pedaços de rochas das paredes ou teto da câmara magmática, pelo magma. Fragmento não dirigido de uma rocha preexistente que se encontra no seio de uma rocha ígnea ou metamórfica.

Xisto - Rocha metamórfica cristalina, acentuadamente foliada, em cuja composição são abundantes os minerais de hábito micáceo orientados. Os grânulos são suficientemente grandes para permitir a identificação dos principais minerais componentes. Produto de metamorfismo dinâmico.

Z

Zona de ancoragem - A região onde ocorre a transferência da tensão de aderência que se desenvolve.

19. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [0.1]-Anais do XV Seminário Nacional de Grandes Barragens - Rio de Janeiro - Novembro de 1983.
- [2.1]-Anais do XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens - Recife - Agosto de 1981.
- [5.1]-Bento Carlos Sgarboza; José R.A.Andrade - Relatório CESP-RO/TC/02/17/RT- 0131 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CICLAGEM, OBRA DE ROSANA.
- [5.2]-Francisco R.Andriolo; Miguel N.A.Saad; Bento C.Sgarboza - OVERALL DATE OF BASALTS AND COMPARATIVE STUDIES BETWEEN SOUND AND UNSOUND BASALTS USED AS AGGREGATE IN THE PRODUCTION OF CONCRETE.
- [5.3]-Lewis H.Tuthill - ALCALI-SILICA REACTION-40 YEARS LATER Concrete International-ACI-April/82
- [5.4]-Francisco R.Andriolo; Miguel N.A.Saad; Bento C.Sgarboza - RELATÓRIO DE VIAGEM AOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA - 1981- CESP.
- [5.5]-Bento C.Sgarboza; Francisco R.Andriolo; Dilermando H.Bispo; Ademar Sonoda-RELATÓRIO CESP-C/31/73-ADITIVO INCORPORADOR DE AR - ESTUDOS E PROPOSTA PARA ESPECIFICAÇÃO.
- [5.6]-Bento C.Sgarboza - RELATÓRIO CESP-AVC-20/77 - ESTUDOS DE CALDAS DE CIMENTO PARA INJEÇÃO EM BAINHAS DE CABOS PROTENDIDOS - VERTEDOURO DE ÁGUA VERMELHA - DEFINIÇÃO DE DOSAGEM E TÉCNICA DE INJEÇÃO.
- [5.7]-Luércio Scandiuizzi; Miguel N.A.Saad; George A.Mellios - RELATÓRIO CESP-C 15/76 - REATIVIDADE ÁLCALIS-AGREGADO - OBRA DE ÁGUA VERMELHA.
- [5.8]-Bento C.Sgarboza; Francisco R.Andriolo - MATERIAL POZOLÂNICO - A IMPORTÂNCIA DECISIVA DA CESP NO SEU DESENVOLVIMENTO E USO - Seminário - CESP CONTA SUA HISTÓRIA - São Paulo-Dezembro -1985.
- [5.9]-Bento C.Sgarboza; José R.A.Andrade; Paulo A.Carvalho - A INFLUÊNCIA DO USO DE CIMENTOS POZOLÂNICOS COM ALTO TEOR DE CINZAS E ALTA FINURA EM CONCRETOS, PRINCIPALMENTE NO COMBATE À REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO - II Seminário Técnico das Empresas de Energia de São Paulo - Maio - 1987.
- [5.10]-Francisco R.Andriolo - A UTILIZAÇÃO DE POZOLANA NA CONSTRUÇÃO DO CONJUNTO HIDROELÉTRICO DE URUBUPUNGÁ.
- [5.11]-José Florentino C.Sobrinho - RELATÓRIO CESP-C-08/70 - PALESTRA NA ABCP-17/03/70.
- [5.12]-Francisco R.Andriolo; Ademar Sonoda - RELATÓRIO ITAIPU-C-09/77 - RESUMO DOS ESTUDOS E DADOS SOBRE CINZAS VOLANTES, EM VISTA DA SUA UTILIZAÇÃO NA OBRA DE ITAIPU.
- [5.13]-Lewis Tuthill; W.A.Gordon - PROPERTIES AND USE OF INITIALLY RETARDED CONCRETE - ACI Proceedings - Vol 52-1956-pp 273/286

- [5.14]-ASTM-C-39-STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS.
- [5.15]-ABNT-NBR-5739 - ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO.
- [5.16]-Paulo José Ribeiro de Oliveira; Flávio Moreira Salles - INFLUÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS SOBRE A RESISTÊNCIA DO CONCRETO - IBRACON 1983.
- [5.17]-Francisco R.Andriolo - CONSTRUÇÕES DE CONCRETO - MANUAL DE PRÁTICAS PARA CONTROLE E EXECUÇÃO - Editora PINI-1984.
- [5.18]-ASTM-C-42-STANDARD METHOD OF OBTAINING AND TESTING DRILLED CORES AND SAWED BEAMS OF CONCRETE.
- [5.19]-Joseph J. Waddell - CONCRETE CONSTRUCTION HANDBOOK.
- [5.20]-CONCRETE MANUAL-U.S.Department of the Interior - Bureau of Reclamation - 8a. Edição.
- [5.21]-Roberval F. da Silva; Luércio Scanduzzi - RELAÇÃO DE RESISTÊNCIA ENTRE CONCRETOS MASSA INTEGRAIS E PENEIRADOS - IBRACON/1981.
- [5.22]-RE-01/81-ITAIPU BINACIONAL - V - RESUMO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO.
- [5.23]-ABNT-NBR-7222 - ARGAMASSAS E CONCRETO - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS-MÉTODO DE ENSAIO.
- [5.24]-Neville,A.M.- CREEP OF CONCRETE: PLAIN, REINFORCED AND PRESTRESSED- North Holland Publishing - 1970.
- [5.25]-Francisco R.Andriolo; Luércio Scanduzzi - CONCRETO E SEUS MATERIAIS - ENSAIOS E PROPRIEDADES - Editora PINI - 1986.
- [5.26]-ACI-207 - MASS CONCRETE FOR DAMS AND OTHER MASSIVE STRUCTURES.
- [5.27]-Zoldners,N.G. - THERMAL PROPERTIES OF CONCRETE UNDER SUSTAINED ELEVATED TEMPERATURE.
- [5.28]-Lea,F.M. - THE CHEMISTRY OF CEMENT AND CONCRETE.
- [5.29]-Ruettggers W.H.; Vidal E.N.; Wing S.P.; - AN INVESTIGATION OF PERMEABILITY OF MASS CONCRETE WITH PARTICULAR REFERENCE TO BOULDER DAM - ACI Proceedings Vol 31 - 1935.
- [7.1]-Francisco R.Andriolo; Mario R.Zanella; Juarez M.Zaleski; José A.Braga - USO DO CONCRETO ROLADO - PROJETO CAPANDA (ANGOLA) - ENSAIOS ESPECIAIS - XIX-Seminário Nacional de Grandes Barragens-Aracaju/1991.
- [7.2]-ACI Publication SP-52-A SELECTION OF HISTORIC AMERICAN PAPERS ON CONCRETE 1876/1926.
- [7.3]-Jasper O.Draffin - A BRIEF HISTORY OF LIME, CEMENT, CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE - University of Illinois Bulletin - 29 de junho de 1943.

[7.4]-John Smeaton - A NARRATIVE OF THE BUILDING AND A DESCRIPTION OF THE CONSTRUCTION OF THE EDDYSTONE LIGHTHOUSE WITH STONE - 1791.

[7.5]-R.Ferret - ETUDES SUR LA CONSTITUTION INTIME DES MORTIERS HYDRAULIQUES - Bulletin de la Societe D'Encouragement pour L'Industrie Nationale - 1897.

[7.6]-F.W.Taylor; S.E.Thompson - A TREATISE ON CONCRETE: PLAIN AND REINFORCED- 1912.

[7.7]-L.N.Edwards - PROPORTIONING THE MATERIALS OF MORTARS AND CONCRETE BY SURFACE AREA OF AGGREGATES - Proceedings ASTM - March - 1943.

[7.8]-DESIGN OF CONCRETE MIXTURES - Bulletin nº 1- Structural Materials Research Laboratory - Lewis Institute - Chicago - 1918.

[7.9]-A.N.Talbot; F.E.Richart - THE STRENGTH OF CONCRETE, ITS RELATION TO THE CEMENT, AGGREGATE AND WATER - Bulletin nº 137 - University of Illinois.

[7.10]-Engineering News Record - Novembro 1931.

[7.11]-William R.Waugh; James A.Rhodes - CONTROL OF CRACKING IN CONCRETE GRAVITY DAMS - Journal of the Power Division - ASCE - 1959.

[7.12]-William A.Gordon-SP-46-10 - HISTORY OF CONCRETE PROPORTIONING - PROPORTIONING CONCRETE MIXES PUBLICATION.

[7.13]-ACI-Committee 211- RECOMMENDED PRACTICE FOR SELECTING PROPORTIONS FOR NORMAL AND HEAVYWEIGHT CONCRETE.

[7.14]-Bento C.Sgarboza; Francisco R.Andriolo - RELATÓRIO CESP - CONCRETO PARA A OBRA DA USINA DE ÁGUA VERMELHA - Agosto - 1974.

[8.1]-José A.Braga; Rosário L.Cesar; Carreras J.D.; Saulo S.Lacerda - A UTILIZAÇÃO DE FINOS - SUBPRODUTO DE BRITAGEM NOS CONCRETOS ROLADO E CONVENCIONAL - XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Foz do Iguaçu - 1989.

[8.2]-Francisco R. Andriolo; Dilermando H.Bispo; Ademar Sonoda - RELATÓRIO CESP-IS C-13/73-VERIFICAÇÃO DE PROPRIEDADES DE CONCRETO ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE ADITIVO RETARDADOR.

[8.3]-ASTM-C-233 - STANDARD SPECIFICATION FOR CHEMICAL ADMIXTURE FOR CONCRETE .

[8.4]-Francisco R. Andriolo - EMENDAS DE BARRAS DE AÇO PARA CONCRETO ARMADO - X Seminário Nacional de Grandes Barragens-Curitiba-1975.

[8.5]-Francisco R.Andriolo; José A.Braga; Bento C.Sgarboza; Gustavo R.L.Vasconcelos - A UTILIZAÇÃO DE EMENDAS NAS ARMADURAS NAS GRANDES HIDROELÉTRICAS NO BRASIL- Conferência Ibero-Americana sobre Aproveitamentos Hidráulicos - Lisboa - Portugal - 1987.

[8.6]-AWS - RECOMMENDED PRACTICES FOR WELDING REINFORCING STEEL.

[8.7]-Bento C.Sgarboza; José R.Andrade - CONTROLE PERIÓDICO DE SOLDAS EM ÁGUA VERMELHA - RELATÓRIO CESP.

[8.8]-Miguel N.A.Saad - ABNT-CE-16:6.6 - MÉTODO DE ENSAIO PARA VEDA-JUNTAS EXTRUDADO A BASE DE ELASTÔMERO - NBR 8803 - ESPECIFICAÇÃO PARA VEDA JUNTAS.

[9.1]-José A.Braga; Francisco R.Andriolo - SUGESTÕES PARA ESTABELECIMENTO DE ROTINA PARA CONTROLE DE CONCRETO - IBRACON - 1981.

[9.2]-John A.Havers; Frank W.Stubbs - HANDBOOK OF HEAVY CONSTRUCTION.

[9.3]-José A.Braga; Francisco R.Andriolo - CONTROLE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM BARRAGENS - IBRACON - 1980.

[9.4]-ACI-214-STANDARD RECOMMENDED PRACTICE FOR EVALUATION OF COMPRESSION TEST RESULTS OF FIELD CONCRETE.

[10.1]-U.S.Army Corps of Engineers - INVESTIGATION OF METHODS OF PREPARING HORIZONTAL CONSTRUCTION JOINTS IN CONCRETE.

[11.1]-Hiroki Erie; Sigenari Sasaki - CONSTRUCTION OF SIDE CHANNEL SPILLWAY OF SAGURIGAWA DAM BY PCD METHOD - XVII ICOLD - São Francisco -1988.

[12.1]-ACI - MANUAL OF CONCRETE PRACTICE - PART 2.

[12.2]-BULLETIN 2 - PART IV - DESIGN AND CONSTRUCTION BOULDER DAM - pág. 179 - Bureau of Reclamation.

[16.1]-A.Sonoda; I.Betioli; L.Scanduzzi - MÉTODO DE CONCRETAGEM DAS CHAVETAS DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM PRINCIPAL DE ITAIPU - XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens-Recife/1981.

[16.2]-Francisco R.Andriolo - TECNOLOGIA DO CONCRETO MINIMIZA ETAPA DE EXECUÇÃO DE CONCRETO EM SEGUNDO ESTÁGIO - XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens - Recife/1981.

[16.3]-Selmo C.Kuperman - DESENVOLVIMENTO DE CONCRETO EXPANSIVO PARA BARRAGENS - XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens - Recife/1981.

[16.4]-Fabiano C. - INTRODUÇÃO DE CANALETAS DE AERAÇÃO E USO DE TÉCNICAS ESPECIAIS DE CONCRETAGEM NO PROJETO E CONSTRUÇÃO DO VERTEDOURO DE EMBORCAÇÃO - XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens - Recife/1981.

[16.5]-Roberval F.Silva; Luércio Scanduzzi - CONCRETO DE FIBRAS DE AÇO PARA COMBATE AOS EFEITOS DE ALTA VELOCIDADE DA ÁGUA - XIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Rio de Janeiro/1980.

[16.6]-ENGINEER FOUNDATION CONFERENCE - RAPID CONSTRUCTION OF CONCRETE DAMS - Asilomar/1970.

[16.7]-O EMPREITEIRO, nº 125 - Julho/1978.

[16.8]-F.R.Andriolo; I.Betioli; L.Scanduzzi - CONCRETO ADENSADO COM ROLO VIBRATÓRIO - XIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Rio de Janeiro/1980.

[16.9]-Humberto R.Gama; Francisco G.Holanda - ROLLCRETE, CONCRETO DO FUTURO - Ibracon/1981.

[16.10]-Andriolo F.R.; Gama H.R.; Vasconcelos G.R.L. - USE OF ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) IN BRASIL - ACI Los Angeles/1983.

[16.11]-Andriolo F.R. - CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO CONCRETO ROLADO - B.G.B. - 1989.

[16.12]-CONCRETO COMPACTADO A ROLO - ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO - Eletronorte/1989.

[16.13]-ANAIS DO XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens - Belo Horizonte/1985.

[16.14]-ANAIS DO XVII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Brasília/1987.

[16.15]-ANAIS DO XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Foz do Iguaçu/1989.

[16.16]-ANAIS DO XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens - Aracaju/1991.

[16.17]-Bento C.Sgarboza; Dilermando H.Bispo - RELATÓRIO AV-13/76-CESP - Água Vermelha - AMOSTRAGEM SUBMERSA DO CONCRETO COM AGREGADO PRÉ-COLOCA-DO NOS ANCORADOUROS DO PORTO DE CASCALHO.

[16.18]-Committee 304 - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.

[16.19]-Committee 213 - ACI - GREIDE FOR STRUCTURAL LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE.

[16.20]-ASTM-C-332 - LIGHTWEIGHT AGGREGATES FOR INSULATING CONCRETE

[16.21]-Bento C.Sgarboza; Dilermando H.Bispo; Ademir Sonoda - RELATÓRIO CESP-A/03/73 - Ilha Solteira - CONSIDERAÇÕES SOBRE CONCRETO LEVE EM GERAL E PARTICULARMENTE PARA O CONCRETO ESTRUTURAL COM ARGILA EXPANDIDA E CONCRETO COM ISOPOR.

[16.22]-BATCHING, MIXING AND JOB CONTROL OF LIGHTWEIGHT CONCRETE - ACI - Concrete International-Vol 4 n.9/September-1982.

[18.1]-VOCABULÁRIO DE TEORIA DAS ESTRUTURAS - BT n. 2- ABCP.

[18.2]-Aurélio Buarque de Holanda Ferreira - NOVO DICIONÁRIO DA LÍNGUA PORTUGUE-SA.

[18.3]-CEMENT AND CONCRETE TERMINOLOGY- ACI - Committee-116.

[18.4]-J.F.A.Silveira et Alii - GLOSSÁRIO DE INSTRUMENTAÇÃO.

[18.5]-A.A.Tognon - GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS DE GEOLOGIA DE ENGENHA-RIA.

[18.6]-ASTM-E-380 - EXCERPTS FROM STANDARD FOR METRIC PRACTICE.