CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO CONCRETO ROLADO

Francisco Rodrigues Andriolo

EDITORA GREENE

Francisco Rodrigues Andriolo

CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO CONCRETO ROLADO

BARBER GREENE

APRESENTAÇÃO

Este texto nasceu como um relatório de viagem de visita técnica à obras de Concreto Rolado, no Japão, em particular à Barragem de SAKAIGAWA, no período Junho-Julho de 1988.

Em crescimento, ao texto, foram agregadas informações de participações ao XVIº – ICOLD – CONGRESSO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS – São Francisco, Califórnia, E.U.A., bem como de meu acervo técnico e fotográfico de visitas e participações em obras.
É importante, entretanto, ter em mente que algumas informações aqui apresentadas poderão atingir a velhice e a consequente aposentadoria, tomando em consideração a dinâmica inerente à técnica do Concreto Rolado.

Estas notas – CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO CONCRETO ROLADO – têm a intenção de divulgar e reciclar informações sobre a técnica.

Para a elaboração deste texto contei:
- com o incentivo de inúmeros amigos e colegas;
- com o trabalho datilográfico da Srta. Madeleine Colussi;
- com a colaboração e patrocínio da BARBER GREENE, bem como o empenho do Engº Haroldo de Carvalho Filho;
- e, com o estímulo e compreensão de meus familiares.

A todos sinceros agradecimentos,

FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO
Março de 1989

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer à "Barber-Greene do Brasil" e "ABDB - Associação Brasileira dos Distribuidores Barber-Greene" pela contribuição significante onde foi possível o desenvolvimento e produção deste livro. Servindo assim como grande incentivo e apoio para a concretização desta idéia.

RELAÇÃO DISTRIBUIDORES BGB

– SÃO PAULO
LARK S/A. MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS
Av. Guarapiranga, 881 - Socorro - Sto. Amaro
Cep.: 04762 - Cx.Postal: 30.642
C.G.C.: 60.631.090/0001-40 - I.E.: 108.391.204-112
Telefone :(011) 548.9111
Telex :(011) 22.903

– MINAS GERAIS / RIO DE JANEIRO / ESP. SANTO / GOIÁS
BRASIF S/A. EXPORTAÇÃO / IMPORTAÇÃO
Rua Margarida Assis Fonseca, 171 - Califórnia - Belo Horizonte
Cep.: 30.850
C.G.C.: 20.515.441/0001-33 - I.E.: 062.270.714-0049
Telefone :(031) 333.7655
Telefax :(031) 333.1181
Telex :(31) 2395 / 2025

– RIO GRANDE DO SUL / STA. CATARINA / PARANÁ
LINCK S/A. EQUIPAMENTOS RODOVIÁRIOS E INDUSTRIAIS
Av. dos Estados, 111 - Porto Alegre
Cep.: 90.200 - Cx. Postal 10415
C.G.C.: 92.750.207/0001-00 - I.E.: 096.035.9869
Telefone :(0512) 42.7000
Telefax :(0512) 43.1102
Telex :(51) 2000 / 1170

– MATO GROSSO / MATO GROSSO DO SUL
TURIM OESTE - EQUIPAMENTOS, PEÇAS E SERVIÇOS LTDA
BR 364 - Km 07 - Coxipó - Cuiabá
Cep.: 78.100 - Cx. Postal 988
C.G.C.: 49.698.699/0002-85 - I.E.: 13.003.963-2
Telefone :(065) 361.4450 / 4577 / 4866
Telefax :(065) 361.5580
Telex :(65) 1111

– CEARÁ / RIO GRANDE DO NORTE / PARAÍBA / PERNAMBUCO / ALAGOAS
MARCOSA S/A. MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS
Av. Visconde do Rio Branco, 6.000 - Fortaleza
Cep.: 60.830 - Cx. Postal 538

C.G.C.: 04.894.077/0001-03 - I.E.: 06.108.686-6
Telefone :(085) 247.3300
Telefax :(085) 227.0225
Telex :(85) 1166 / 2347

- **PARÁ / MARANHÃO / AMAZONAS**
MARCOS MARCELINO & CIA LTDA
Rod. BR-316 - Km 09 - Ananindeua
Cep.:77.000 - Cx. Postal 1048
C.G.C.: 04.936.852/0001-46 - I.E.: 15.052.586-9
Telefone :(091) 235.4100
Telefax :(091) 235.4242
Telex :(91) 1083 /0976

- **BAHIA / SERGIPE**
TECHNICO - COMERCIAL DE EQUIPAMENTOS S/A
Loteamento Porto Seco s/nº - Lote 13 - Qd. B - Rua C - Pirajá - Salvador
Cep.: 40.550
C.G.C.: 13.330.634/0001-54 - I.E.: 23.143.548
Telefone :(071) 246.2400
Telefax :(071) 246.8542
Telex :(71) 3015

HIDRELÉTRICAS COM EQUIPAMENTOS BGB

Itaipú - Foz do Iguaçú (PR)
Tucuruí - Pará
Itaparica - Paulo Afonso (BA)
Urugua-I - Argentina
Emborcação - Araguari (MG)
Ilha Solteira - (Parcial) - (SP)
Segredo - Pinhão (PR)
Foz do Areia (Parcial) - (PR)
Salto Osório - (PR)
Capivari (Parcial) - (SP)
Água Vermelha (Parcial) - (SP)
Nova Ponte - Araguari (MG)

ITEMIZAÇÃO

1. **OBJETIVO** – 13

2. **INTRODUÇÃO** – 14
   - 2.1. Definição
   - 2.2. Evolução
   - 2.3. Razões do Emprego

3. **CONCEPÇÃO DE BARRAGENS EM C.C.R.** – 40
   - 3.1. Diferença em Relação as Tradicionais
   - 3.2. Aplicações

4. **PROJETO** – 43
   - 4.1. Planejamento - Viabilidade e Critérios de Projeto
   - 4.2. Projeto Estrutural
   - 4.3. Aspectos Térmicos
   - 4.4. Fundações
   - 4.5. Juntas de Contração
   - 4.6. Paramentos
   - 4.7. Juntas de Construção
   - 4.8. Percolação de Água
   - 4.9. Galerias e Drenagem
   - 4.10. Superfícies Vertentes
   - 4.11. Instrumentação

5. **MATERIAIS E COMPOSIÇÃO DA MISTURA** – 88
   - 5.1. Generalidades
   - 5.2. Agregados
   - 5.3. Aglomerantes
   - 5.4. Aditivos
   - 5.5. Água
   - 5.6. Composição da Mistura

6. **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS** – 105
   - 6.1. Generalidades
   - 6.2. Massa Específica

6.3. Resistência à Compressão Axial Simples
6.4. Resistência à Tração
6.5. Resistência ao Cisalhamento e Ângulo de Atrito
6.6. Módulo de (Elasticidade) Deformação e Coeficiente de Poisson
6.7. Deformação Lenta - (Fluência)
6.8. Capacidade de Alongamento
6.9. Variações de Volume
6.10. Propriedades Térmicas
6.10.1. Elevação Adiabática de Temperatura
6.10.2. Difusividade e Condutividade Térmica
6.10.3. Calor Específico
6.10.4. Coeficiente Linear de Expansão Térmica
6.11. Permeabilidade e Absorção

7. **EXECUÇÃO DO CONCRETO ROLADO** – 149
7.1. Generalidades
7.2. Canteiro de Obra
7.3. Acessos
7.4. Produção (mistura) do CCR
7.4.1. Misturadores tipo Basculante
7.4.2. Misturadores Forçados
7.4.3. Misturadores Contínuos
7.4.4. Misturadores Betoneira
7.5. Transporte do Concreto Rolado
7.5.1. Generalidades
7.5.2. Tipos de Transporte
7.5.2.1. Transporte por Betonadas ou Lotes
7.5.2.2. Transporte Contínuo
7.6. Lançamento e Espalhamento
7.7. Compactação
7.8. Cura e Proteção
7.9. Preparo de Superfícies
7.9.1. Generalidades
7.9.2. Fundação
7.9.3. Juntas de Construção
7.9.4. Juntas de Contração
7.10. Formas - Paramentos e Acabamentos
7.11. Galerias Poços e Drenagem

8. **CONTROLE DE QUALIDADE** – 268

9. **CUSTOS** – 291

10. **OUTRAS APLICAÇÕES** – 293

11. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** – 296

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste Relatório é apresentar o estado atual de conhecimento do Concreto Compactado com Rolo (CCR) quando aplicado a obras hidráulicas abordando diversos aspectos relativos a:

- concepção de estruturas hidráulicas em CCR
- conceituação do projeto
- materiais componentes
- métodos construtivos
- propriedades e características do CCR
- desempenho do CCR e sua avaliação
- obras executadas em CCR
- custos
- outras aplicações

2.1. Definição

O desenvolvimento atual do Concreto Compactado com Rolo (CCR) é resultado da necessidade de se projetar barragens de concreto que pudessem ser construídas mais rápida e economicamente, em relação àquelas onde se empregam os métodos construtivos convencionais.

O CCR (ou RCC ou Concreto Rolado ou Rollcrete ou Concreto Compactado a Rolo) pode ser definido mais abrangentemente, como "Concreto de consistência seca, que, no estado fresco, pode ser misturado, transportado, lançado e compactado por meio de equipamentos usualmente utilizados em serviços de terraplenagem ou enrocamento".

2.2. Evolução

O conceito do Concreto Rolado provavelmente teve um grande impulso nas conferências de Asilomar (1) – Califórnia – E.U.A. – em março de 1970. Nessas conferências foram apresentados trabalhos comentando a aplicação de equipamentos de construção de maciços de terra e rocha para a construção de maciços de concreto.

Entre 1958 e 1964 uma grande inovação foi aplicada na construção da Barragem de Alpe Gera (altura 178 m e volume de concreto de 1716000 m^3) (1), na Lombardia – Itália, onde o concreto foi lançado em uma série de camadas horizontais de aproximadamente 70cm de altura em lugar de se aplicar concreto em blocos convencionais. Dessa forma a Barragem de Concreto foi construída usando métodos de construção de Barragem de Terra, sendo o concreto transportado por caminhões fora de estradas, espalhado com Bulldozer. As juntas de contração foram cortadas por lâmina vibratória, acoplada a trator, cerca de 12 horas após a consolidação. Ainda na Itália, na mesma época, foi utilizado esse mesmo procedimento na Barragem de Quaira Della Miniera.

Em 1962, na Barragem de Shimen, em Formosa (2) o núcleo de uma ensecadeira, de cerca de 65 m de altura, foi executado com CCR, utilizando agregado graúdo não separado por fração (in-natura) e compactado por meio de rolo vibratório. A esta aplicação deu-se o nome de Concreto Rolado (Rollcrete).

O primeiro modelo em escala natural para aplicação do Concreto Rolado, foi efetuado em (3) (4) 1970, na Barragem deTims Ford Tennessee Valley Authority.

Os estudos seguintes que incluíram além de aterros modelos, outros ensaios em laboratório, foram efetuados pelo Corps of Engineers (5) nos anos de 1972 e 1973, para a Barragem de Elk Creek. Em maio de 1973 um amplo estudo foi executado pelo Corps of Engineers (6) na Barragem de Lost Creek-Oregon.

Em 1965, a Barragem de Manicowagan – I – foi construída pelo Hydro Quebec – no Canadá (7) usando o lançamento horizontal. O conceito dessa técnica era de que uma Barragem Gravidade poderia ser considerada em três partes;

- uma a montante contendo uma região de concreto impermeável;
- uma de jusante com blocos de concreto pré-moldado e,
- a parte central contendo concreto pobre (massa).

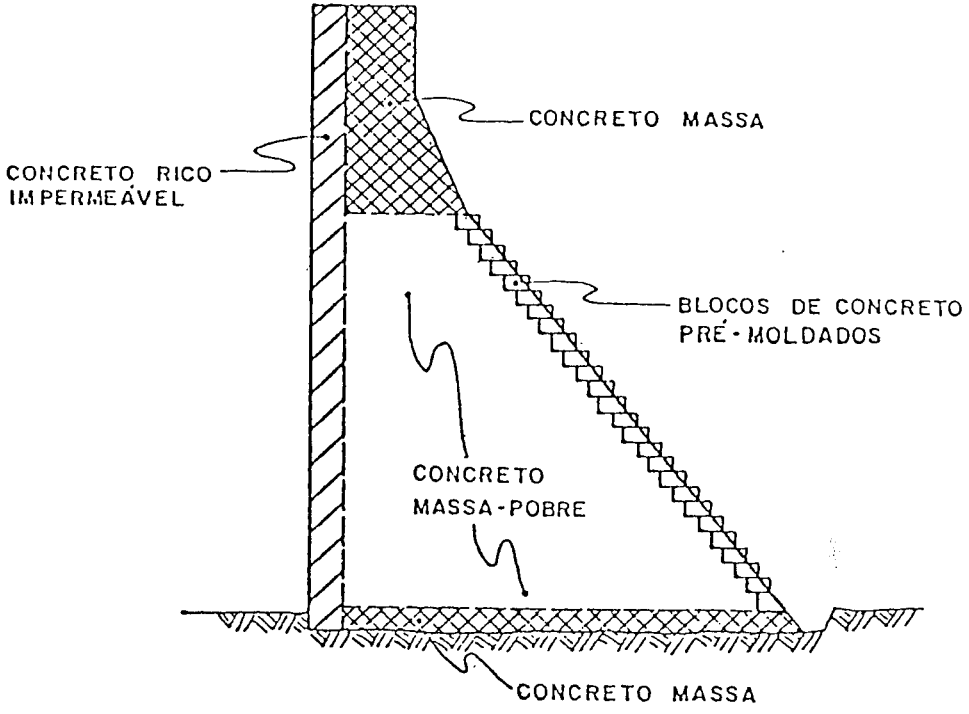


Figura 1 – Zoneamento do Concreto da Barragem de Manicowagan I (1965)

Em 1968 o CCR foi empregado na Barragem de Cochiti, Novo México, EUA, na fundação de suportes de condutos.

Esse conceito foi adaptado e desenvolvido em 1973, com a utilização do concreto massa-pobre compactado com rolo vibratório (8). Como esse concreto massa-pobre não foi considerado suficientemente impermeável, o que poderia causar alguma lixiviação, foi colocada uma série de drenos, à jusante da camada impermeável de montante, na transição para o concreto massa compactado com rolo vibratório. A única alteração desse método modificado, em 1973, para aquele usado em Alpe-Gera (com 178m de altura) entre 1958 e 1964, foi a da compactação, através do rolo vibratório, em lugar dos vibradores de imersão.

Um amplo estudo foi efetuado na Universidade de New Castle (9) para verificar a situação de lixiviação e a condição de aderência entre sub-camadas. Ao final dos estudos foi confirmada (10) (11), a conveniência de se usar a série de drenos, entre o concreto massa de paramento (à montante) e o concreto massa compactado com rolo vibratório, aplicado no Corpo da Barragem.

Em 1974 o Ministério das Construções do Japão, através do Committee on Rationalized Construction of Concrete Dams (Dr. Masatame Kokubu – Chairman) (12) iniciou um programa de pesquisas com o objetivo de reduzir prazos e custos de construção de Barragens de Concreto.

Levou-se em consideração que a qualidade e o aspecto deveriam ser de mesmo nível que às Barragens de Gravidade em Concreto. Um estudo preliminar concluiu que o método adotado em Alpe Gera combinado com o Processo de Compactação (com rolo vibratório usado nos estudos de Lost Creek),era a linha mais conveniente a ser seguida (13).

Em 1976 a ensecadeira de montante da Barragem de Ohkawa foi utilizada (14) como modelo (1.1) para avaliação do método proposto. As faces do barramento foram moldadas contra formas usando concreto convencional adensado por vibradores de imersão e o núcleo foi construído simultaneamente com "Concreto Rolado'. Essa aplicação foi sucedida de outras execuções de aterros experimentais e ensaios de laboratório (15).

Em 1979, ainda em Ohkawa, foi novamente empregado o CCR em restituição da laje de fundação.

Em 1981, noticiou-se nos Proceedings of the International – C.I.R.I.A. – Conference of Construction Industry Research and Information Association – Londres que a Barragem de Shimajigawa e parte da Barragem de Ohkawa estavam sendo construídas com "Concreto Rolado" (16) (17).

Em 1976 o "Concreto Rolado" foi usado na fundação, em Tamar Cornwall – Reino Unido (18). Ainda em 1976 a primeira aplicação de caráter estrutural do "Concreto Rolado" foi efetuado pelo T.V.A. nas fundações da Turbina de Bellefonte Nuclear Power Station, no Alabama – EUA. (19) (20) (21) (22).

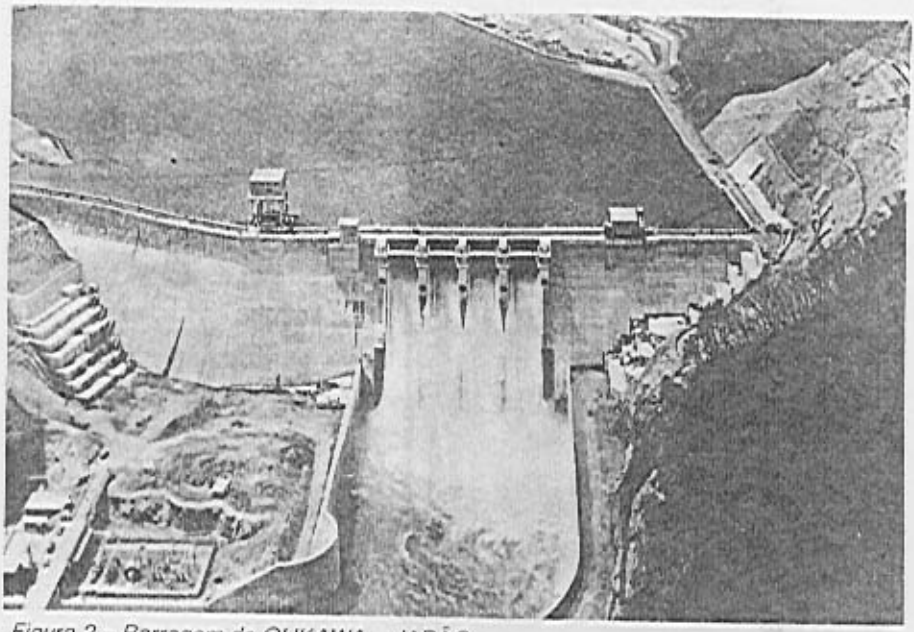


Figura 2 – Barragem de OHKAWA – JAPÃO

Outra pesquisa, patrocinada pela Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) e conduzida pela Southwest Authority, enfocou especificamente o CCR com elevado teor de cinza volantes.

As pesquisas inglesas não conduziram a utilização de CCR em grande escala na Inglaterra, mas foram a base do projeto da Barragem de Upper Stillwater, Utah, EUA, do U.S. Bureau of Reclamation.

Em 1978 o U.S. Army Corps of Engineers utilizou o "Concreto Rolado" no Projeto de Moose Creek – Rio Cheena – Alaska (23).

A partir de 1974 e até 1982, (24) (25) cerca de 2.600.000 m^3 de CCR foram aplicados na Barragem de Tarbela, no Paquistão. O CCR foi empregado, inicialmente em substituição a rocha e maciço, quando um dos quatro túneis de 13,7m de diâmetro sofreu colapso durante o início do enchimento do reservatório. A este reparo seguiram-se trabalhos de reabilitação nos vertedouros auxiliares de serviço, na bacia de dissipação e em ensecadeiras. Os reparos no túnel envolveram 350.000 m^3 de CCR, compactados em 42 dias, com pico de 18.000 m^3/dia. Em 1980, devido a cheias, parte do CCR, desprotegido e próximo ao vertedouro de serviço, foi submetido a elevadas vazões, não tendo apresentado erosão apreciável. Tal fato serviu para aumentar a confiança quanto à resistência do CCR a erosão.

No Brasil o CCR foi utilizado, em Itaipu (26) em 1978, em rampa de acesso, num total de 26.000 m^3, e em São Simão, onde foram lançados cerca de 40.000 m^3 no preenchimento das adufas de desvio.

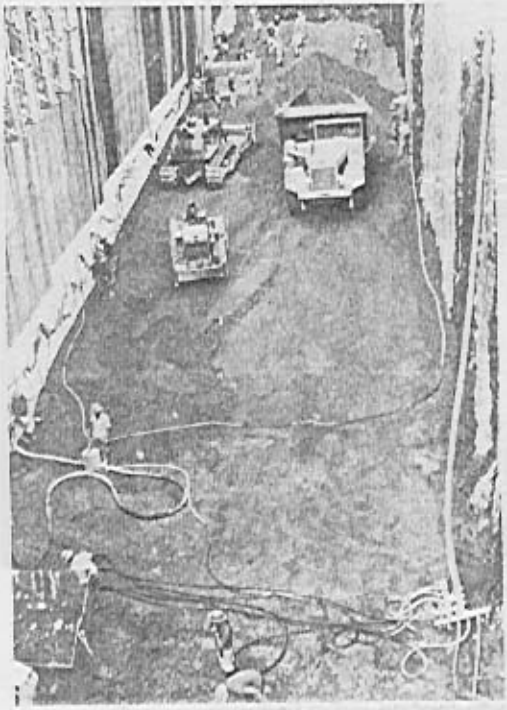


Figura 3 – Rampa de acesso às fundações da estrutura de desvio da obra de Itaipu, preenchida com Concreto Rolado – BRASIL – PARAGUAI

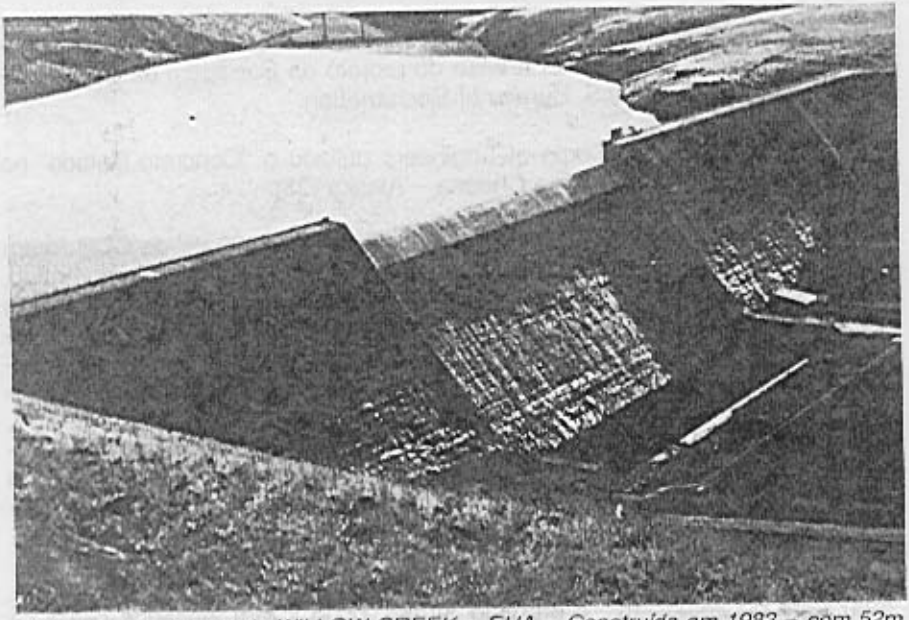


Figura 4 – Barragem de WILLOW CREEK – EUA – Construída em 1983 – com 52m de altura e 329.000 m³ de Concreto Rolado

Em 1982 foi notificado (27) o término da Barragem de Willow Creek – Oregon, totalmente construída em "Concreto Rolado", sem juntas transversais de contração, pelo Corps of Engineers – U.S. Army.

Em 1983 publicou-se (28) um conjunto de informações sobre a aplicação do "Concreto Rolado" em partes das Eclusas de Navegação da Barragem de Tucurui, no Rio Tocantins - Brasil.

Figura 5 – Placa Comemorativa do Lançamento do Concreto Rolado na ECLUSA DE TUCURUÍ – em 29/04/82 – BRASIL

Figura 6 – Vista aérea dos blocos da ECLUSA DE TUCURUÍ – BRASIL, onde se aplicou Concreto Rolado.

Em março/1984 (29) o Bureau of Reclamation – E.U.A. divulgou informações sobre a construção da Barragem de Upper Stillwater – Utah – E.U.A., em "Concreto Rolado", com inovações quanto à critérios de Projeto. Um dos aspectos inovadores desses critérios é o reconhecimento da resistência à tração do concreto, o que permitiu reduzir o talude de jusante, para uma inclinação de 0,6 H: 1,0V, mesmo para uma barragem de mais de 85m de altura, como é o caso de Upper Stillwater.

Esse critério, não é fruto, entretanto, do uso do RCC, e sim de uma revisão dos critérios de projeto desenvolvido pelo Bureau of Reclamation (30).

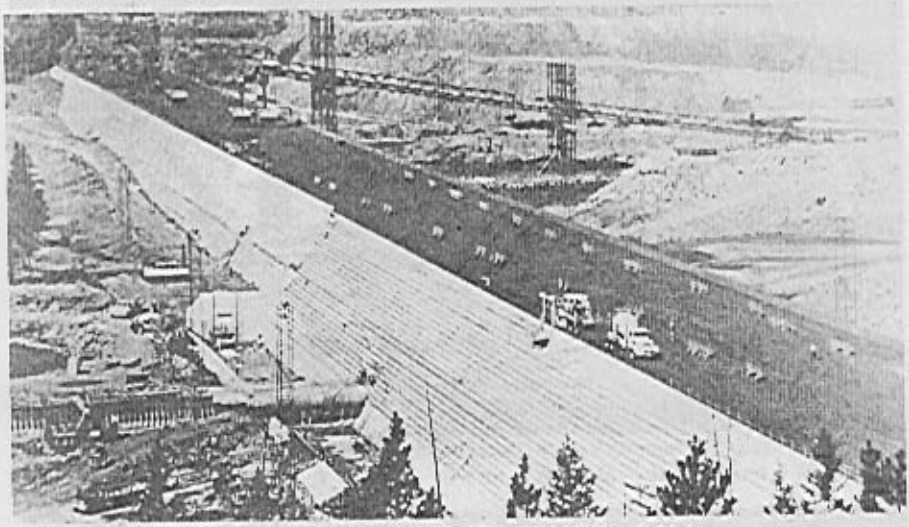


Figura 7 – Vista da construção de UPPER STILLWATER – E.U.A.

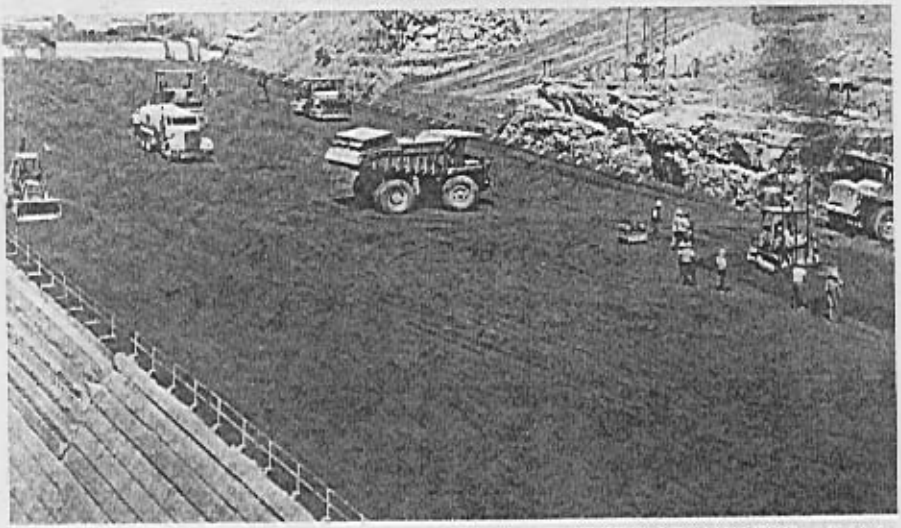


Figura 8 – Vista da aplicação do Concreto Rolado em UPPER STILLWATER – E.U.A.

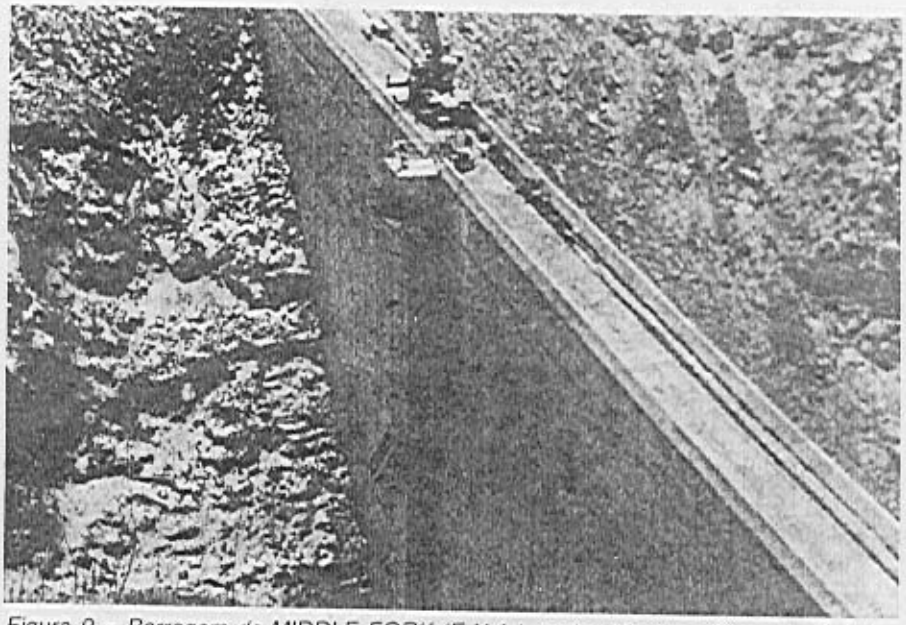


Figura 9 – Barragem de MIDDLE FORK (E.U.A.), onde utilizou-se Concreto Rolado, com agregados de xisto.

O emprego do CCR, no início da década de 80, generalizou-se, destacando dentre as diversas obras, as seguintes:

- a Barragem de Willow Creek, EUA, com 52m de altura, e 329.000 m^3 de concreto, do Corps of Engineers, que foi a primeira grande barragem construída, no mundo, totalmente em CCR. Ela veio confirmar as possibilidades de se obter economia e construção rápida tendo sido erigida em menos de 5 meses e inaugurada em 1982.

- a Barragem Middle Fork, Colorado, EUA, onde foi empregado, como agregado, xisto betuminoso de baixa densidade;

- a Barragem de Galesville, Oregon, EUA, que originalmente, foi concebida como uma barragem de enrocamento e que, após Willow Creek, foi reavaliada, obtendo como economia, pela adoção do CCR, cerca de 15% do custo original;

- a Barragem de Monksville, New Jersey, EUA, cuja alternativa em CCR foi selecionada entre três outras (enrocamento, aterro e concreto convencional);

- a Barragem de Upper Stillwater, Utah, EUA, com mais de 1.000.000 m^3 de CCR; sendo que no traço do CCR o aglomerante consiste em cerca de 70% de cinzas-volantes e 30% de cimento, o núcleo é impermeável e cercado por cerca de 163 km de elementos extrutados de concreto convencional, sem juntas de contração;

- a Barragem de Elk Creek, Oregon, EUA, onde os maiores lançamentos foram planejados para serem executados no inverno para minimizar a possibilidade de fissuração de origem térmica já que seriam lançadas camadas de 0,6m de altura com juntas de contração, projetadas, inicialmente, a cada 90m;

- a Barragem de Tamagawa, no Japão, com cerca de 1.000.000m de CCR e cuja altura máxima é de 103m;

- a Barragem de Sakaigawa, no Japão, com 115m de altura e 650.000 m^3 de concreto, com 315.000 m^3 de concreto rolado;

- a Barragem de Saco de Nova Olinda, na Paraíba – Brasil, com 56m de altura e 135.000 m^3 de CCR, que foi construída em apenas 105 dias;

- a Barragem de Urugua-i, na Argentina, com cerca de 600.000 m^3 de CCR, e 78m de altura.

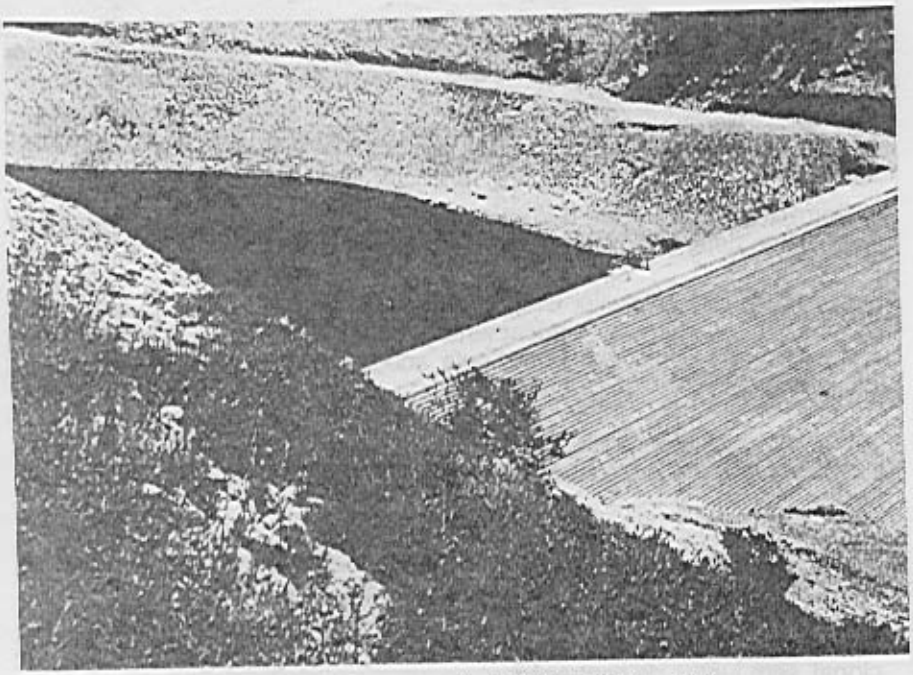


Figura 10 – Vista de jusante da Barragem de MIDDLE FORK – EUA.

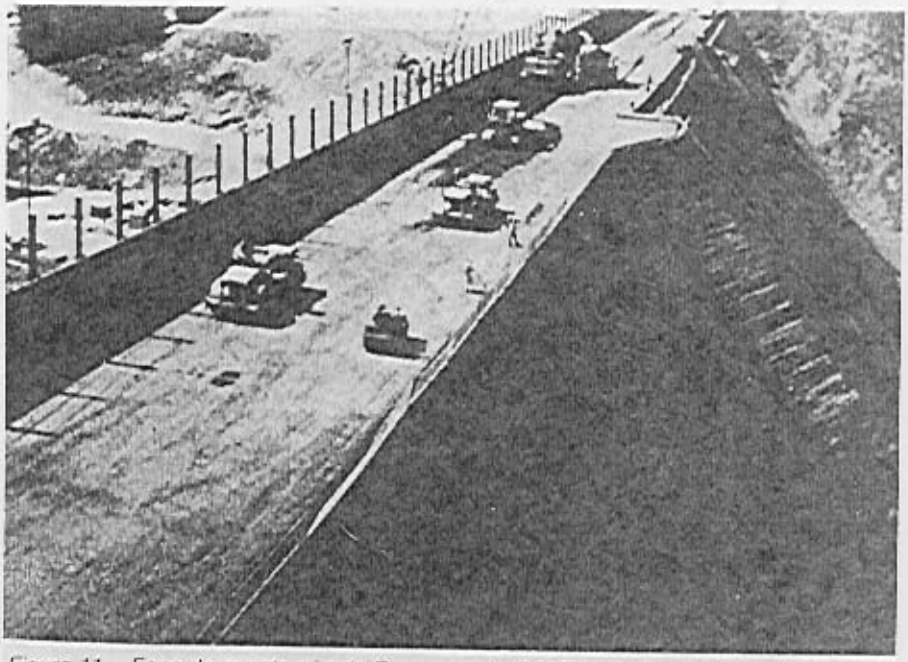


Figura 11 – Fase de construção da Barragem de GALESVILLE – EUA.

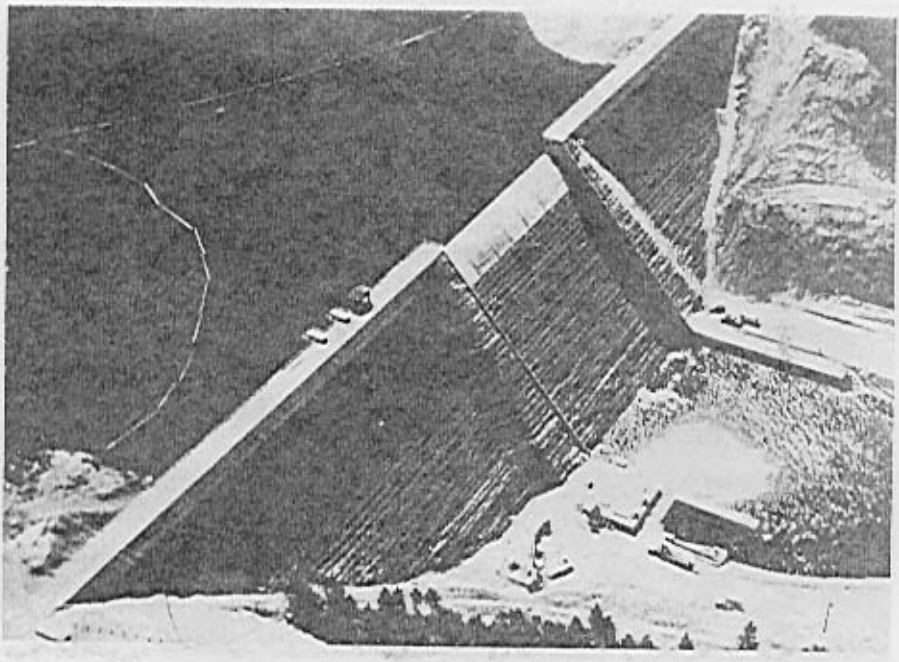


Figura 12 – Vista aérea da Barragem de GALESVILLE – EUA, já concluída.

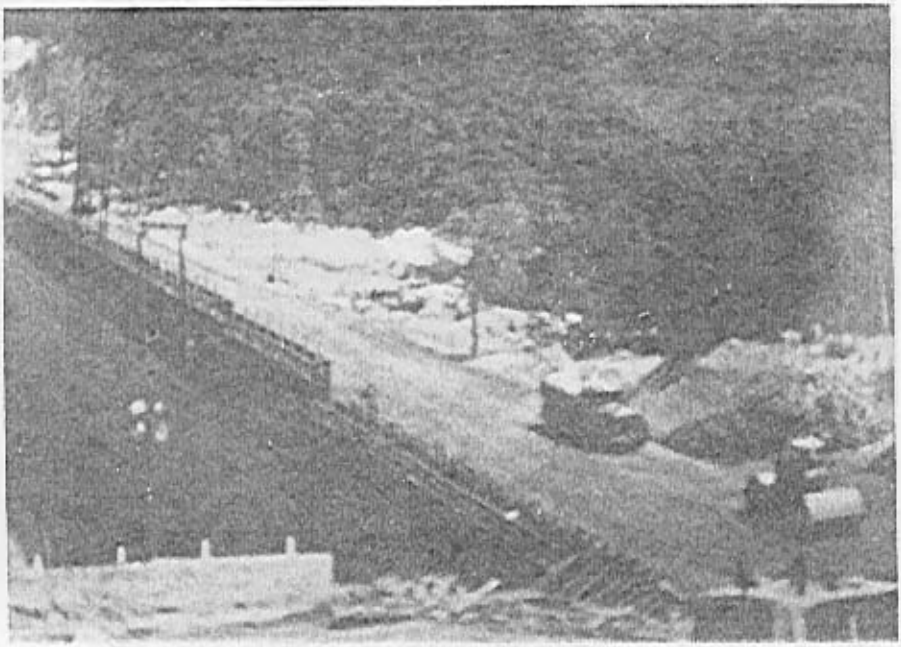


Figura 13 – Vista durante a execução de MONKSVILLE – EUA.

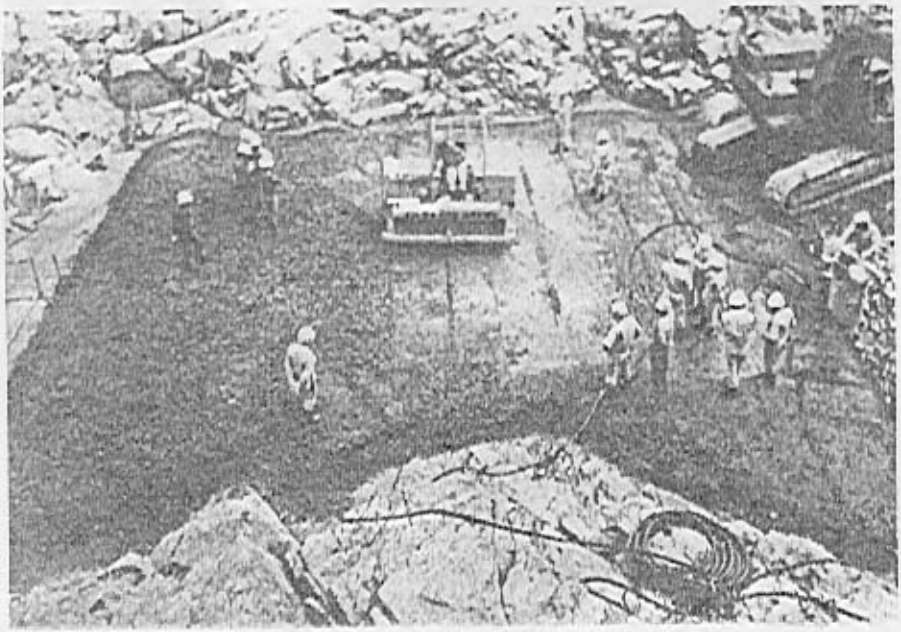


Figura 14 – Ensecadeira da barrragem de AGIGAWA – JAPÃO construída com Concreto Rolado.

Figura 15 – Barragem de ELK CREEK – EUA, durante a fase de construção.

Figura 16 – Barragem de TAMAGAWA – JAPÃO.

Figura 17 – Barragem de PIRICA – JAPÃO.

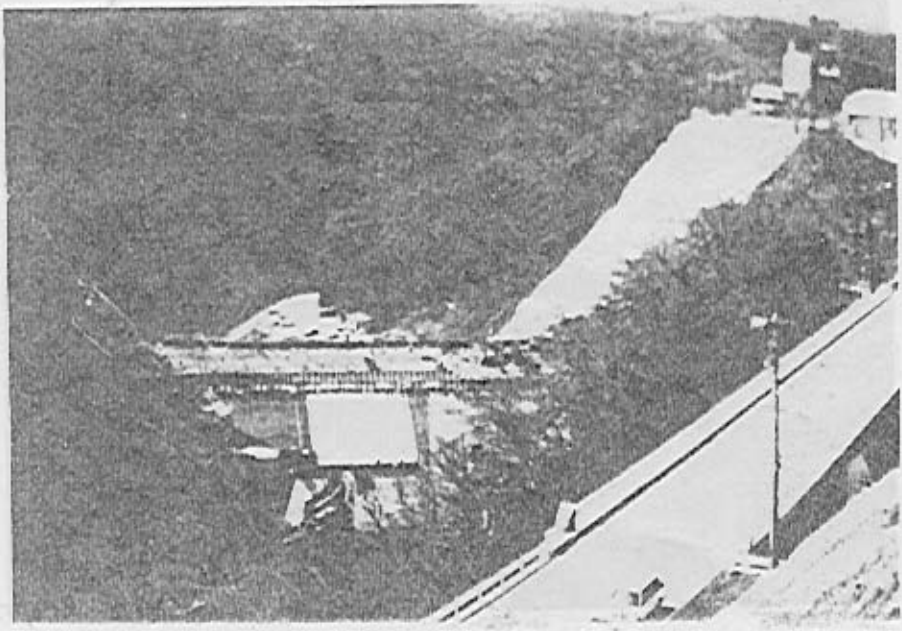


Figura 18 – Vista do local, da Barragem de MAMO – JAPÃO, mostrando o vale encaixado.

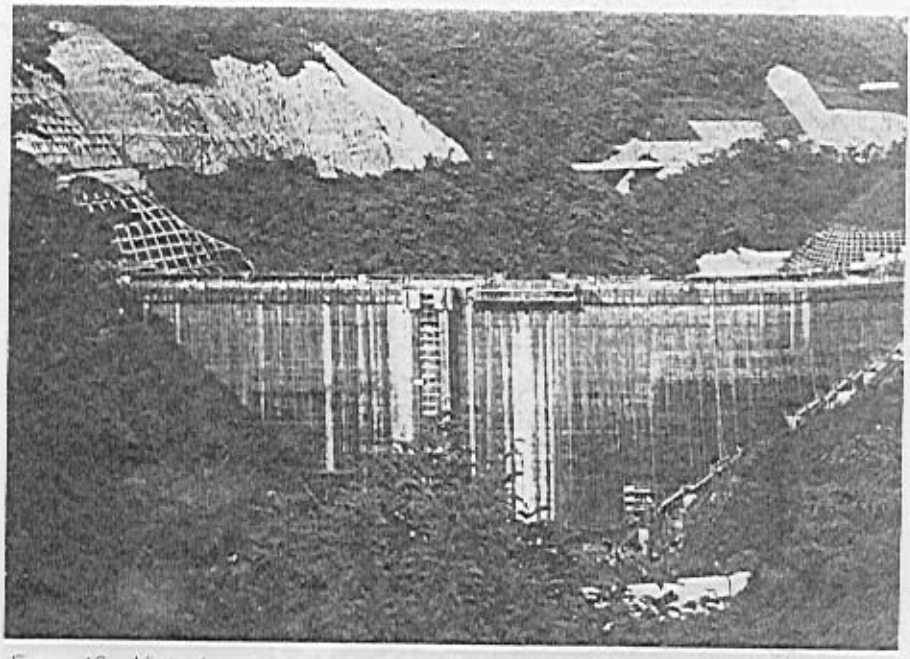


Figura 19 – Vista durante a construção da Barragem MANO – JAPÃO.

Figura 20 – Vista do local de construção da obra de SHIROMIZUGAWA – JAPÃO.

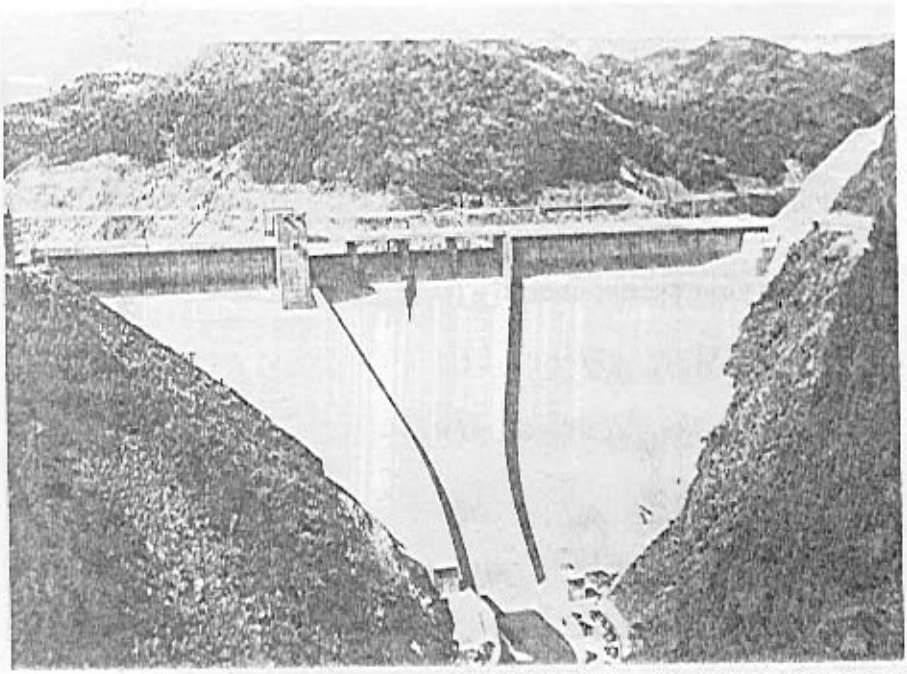


Figura 21 – Vista da primeira barragem – SHIMAJIGAWA – japonesa construída em Concreto Rolado.

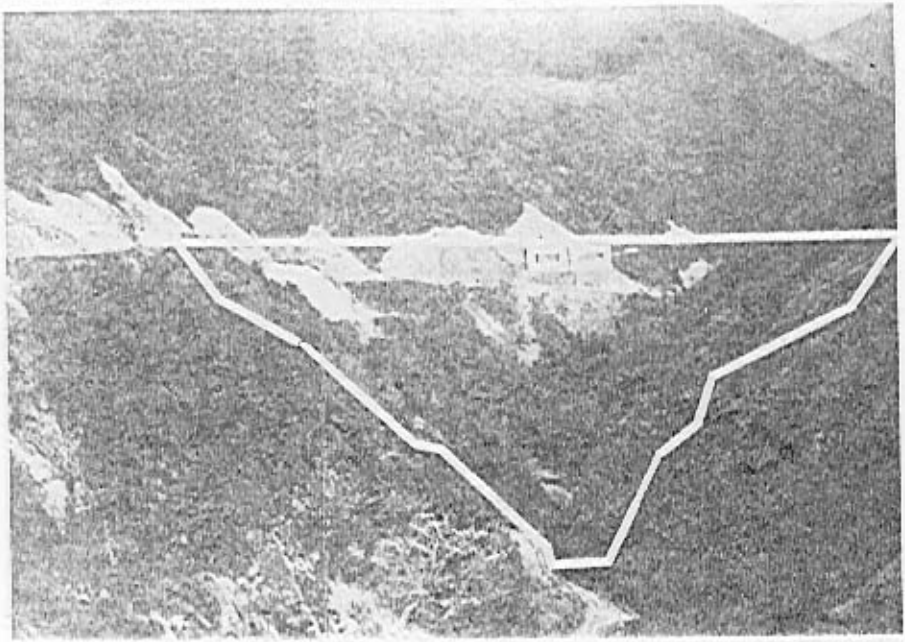


Figura 22 – Vista do local de construção da Barragem de SAKAIGAWA – JAPÃO.

Figura 23 – Vista da obra de SAKAIGAWA – JAPÃO – durante a construção.

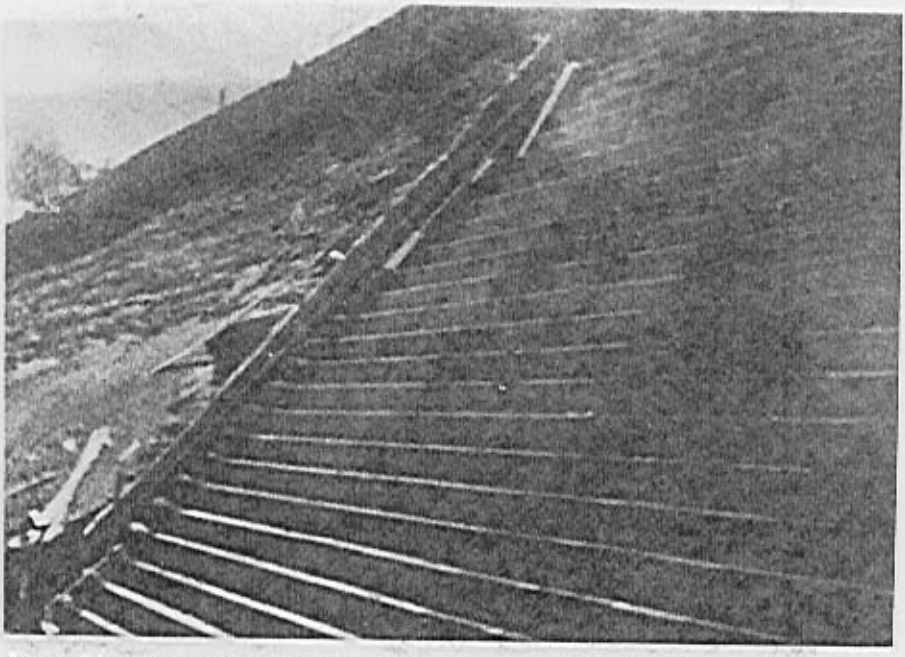


Figura 24 – Vista por jusante, da Barragem de COPPERFIELD – AUSTRÁLIA.

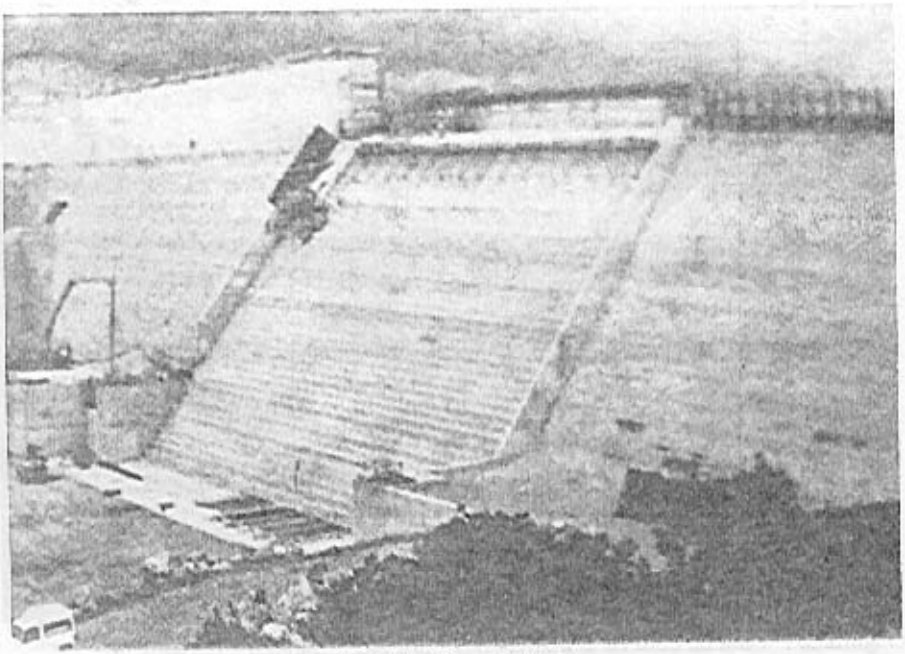


Figura 25 – Barragem de LES OLIVETTES – FRANÇA.

Figura 26 – Vista de jusante, durante a construção da Barragem SACO NOVA OLINDA – BRASIL.

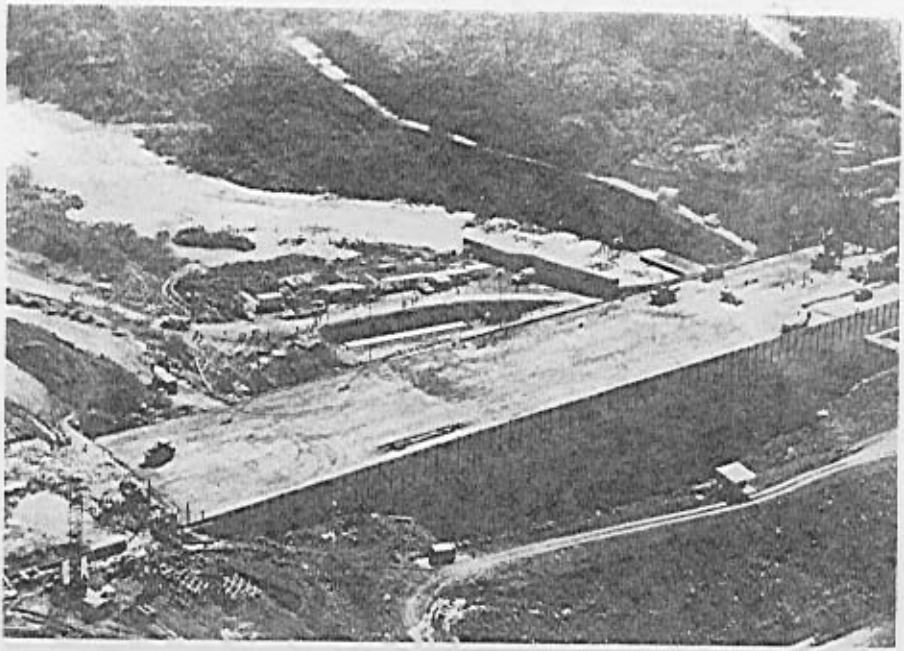


Figura 27 – Vista por montante durante a construção da Barragem de URUGUA-I, NA ARGENTINA.

Figura 28 – Vista por jusante da obra de URUGUA-I – ARGENTINA.

Figura 29 – Vista durante o início de construção da Barragem de ASAHIOGAWA – JAPÃO.

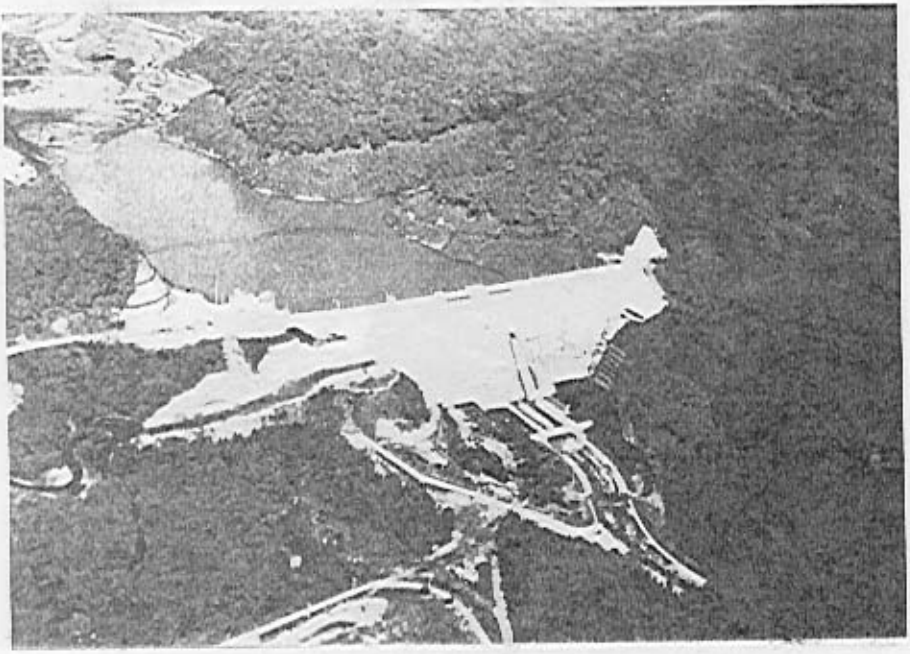


Figura 30 – Vista de SHIN-NAKANO – JAPÃO.

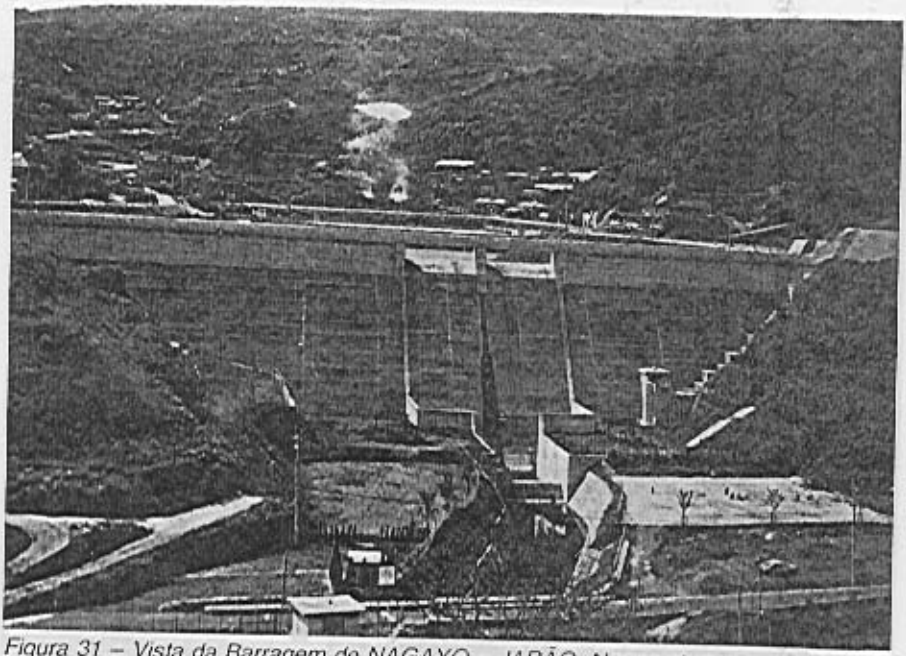


Figura 31 – Vista da Barragem de NAGAYO – JAPÃO. Nessa obra, na metade inferior aplicou-se Concreto Rolado, e na metade superior Concreto Bombeado.

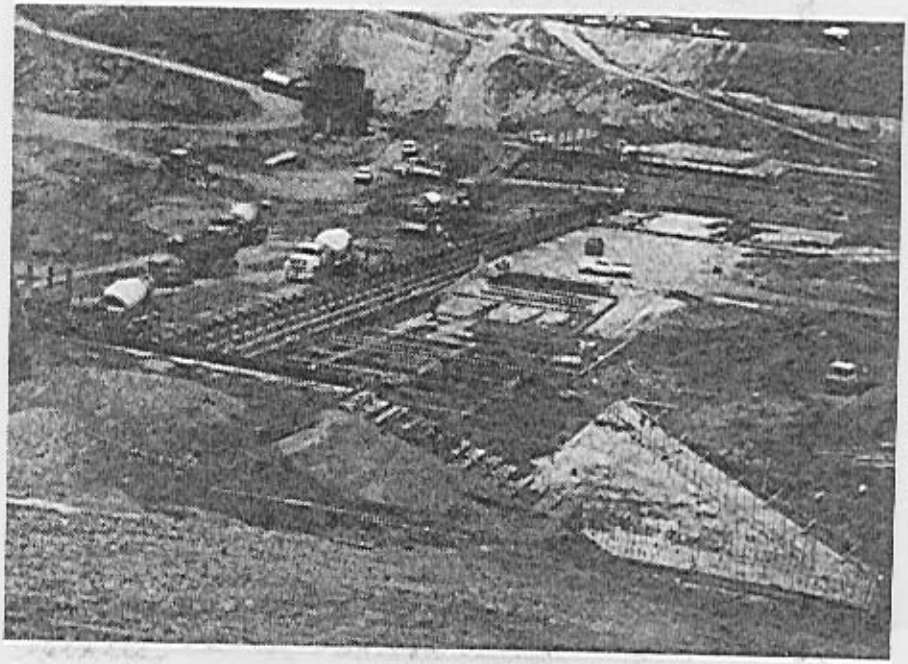


Figura 32 – Barragem BUCCA, NA ÁFRICA DO SUL.

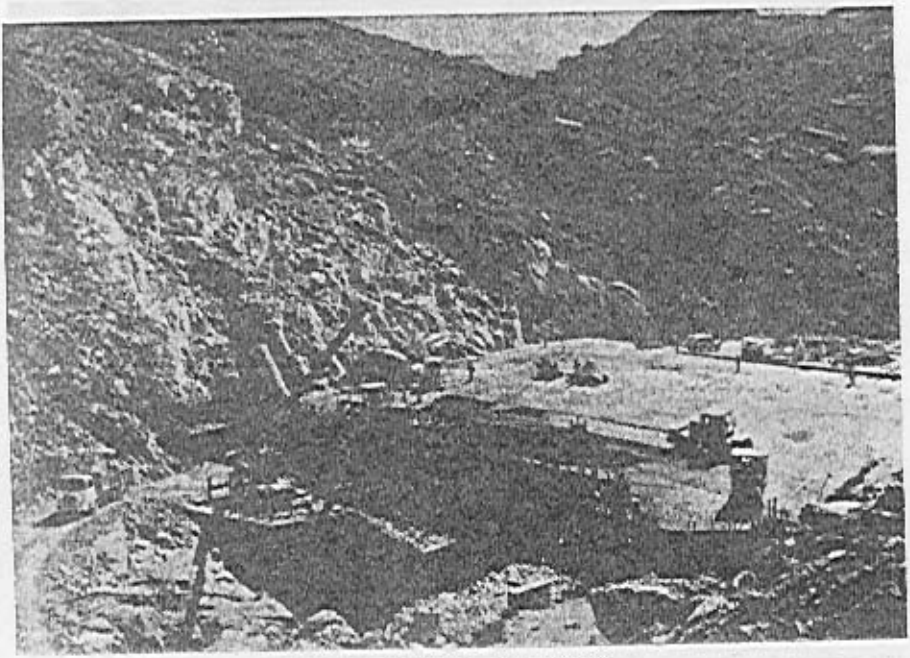


Figura 33 – Barragem de SANTA EUGENIA – ESPANHA.

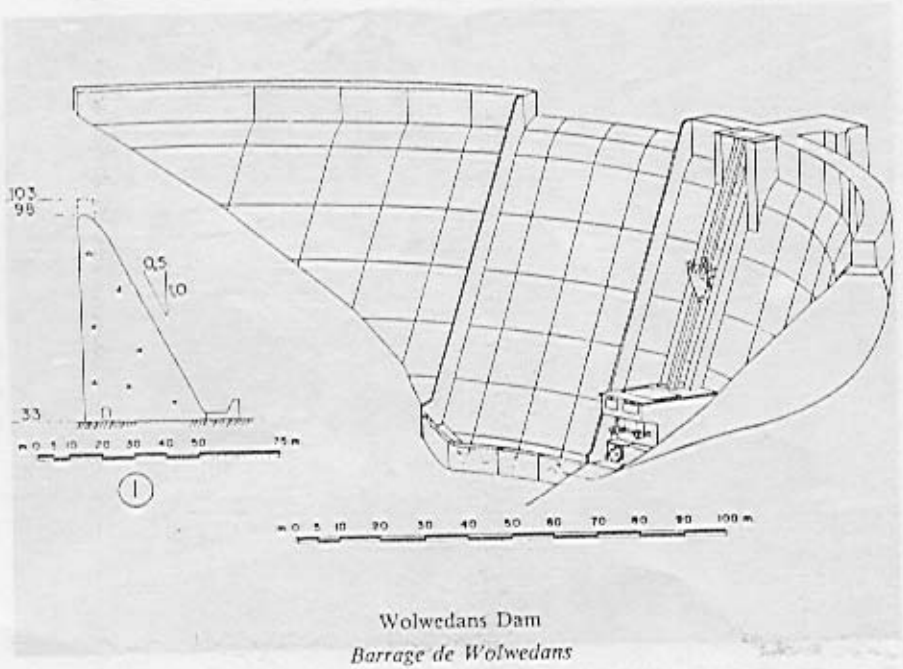


Figura 34 – Projeto da Barragem de WOLWEDANS, ÁFRICA DO SUL – em arco.

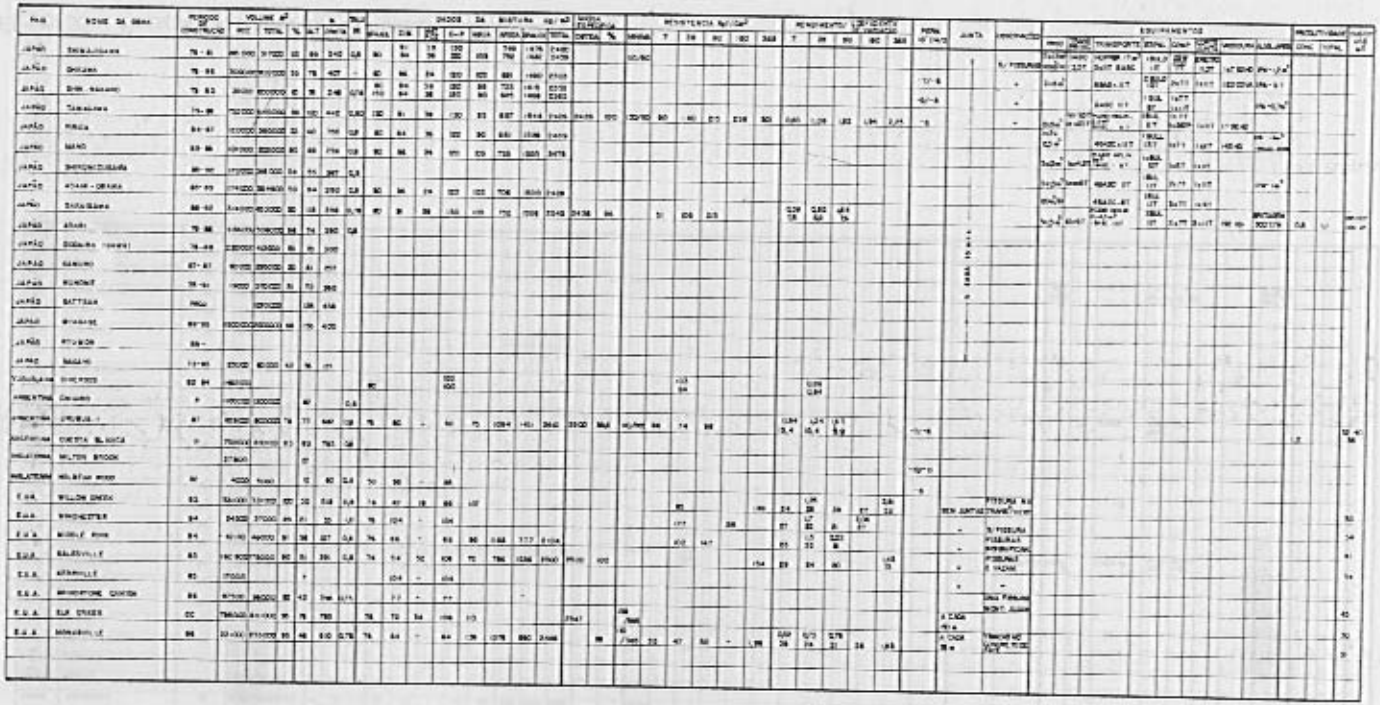


Figura 35 – Relação de obras em Concreto Rolado.

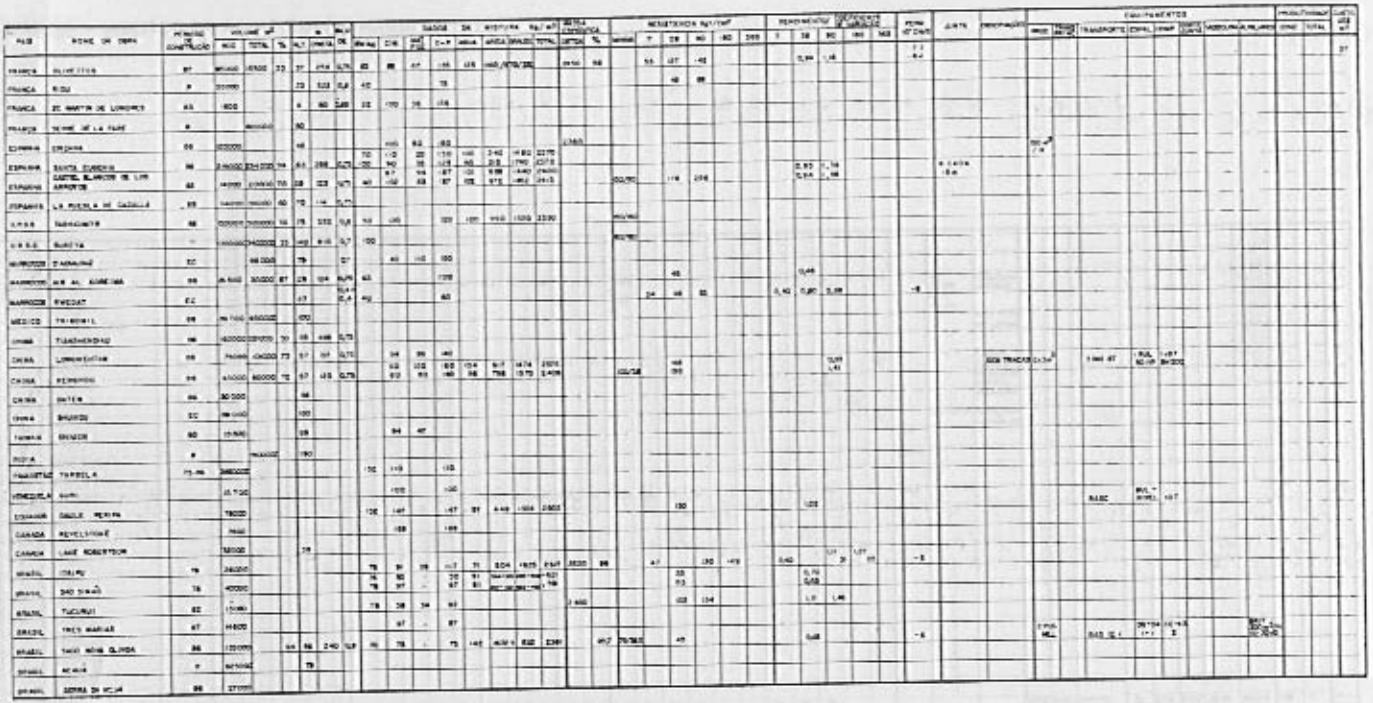


Figura 35 – Relação de obras em Concreto Rolado.

Nº	PAIS	NOME DA OBRA	PERÍODO DE CONSTRUÇÃO	VOLUME m³ RCC	VOLUME m³ TOTAL	%	m ALT.	m CRISTA	m DE	DADOS DA MISTURA Kg/m³ CIM.	MAT. POZ.	C+P	AGUA	AREIA	BRITADO	TOTAL	MASSA ESPECIFICA SECA	%	RESISTENCIA Kgf/Cm² IDADE	7	28	90	180	365	RENDIMENTO/ COEFICIENTE DE VARIAÇÃO 7	28	90	180	365	PERM. 10⁻⁷ Cm/s	JUNTA	OBSERVAÇÕES	EQUIPAMENTOS PROD.	TRANS. INTERC.	TRANSPORTE	ESPAL.	COMP.	CORTE E JUNTA	MISCELÂNIA	AUXILIARES	PRODUTIVIDADE CONC.	TOTAL	CUSTO US$/m³
	E.U.A.	UPPER STILLWATER	88	420000	1220000	82	87	823	0,6	36	80	175	253	106	675	1583	2400	2352	98	200 /365	89	147	242	325	360	0,35 / 18	0,58 / 20	0,86 / 19	1,28 / 15	1,42 / 8			12 FISSURAS CONT- JUE											
	E.U.A.	COCHITI		45000			125				99	-	99																													40
	E.U.A.	BELLEFONTE		6000																																						
	E.U.A.	MOOSE CREEK		12800							178	-	178																													
	E.U.A.	BONNEVILLE		13000							186	-	186																													
	E.U.A.	OCOEE - II		3400																																					
	E.U.A.	TOUTLE RIVER	81	13800							297	-	297																													
	E.U.A.	BOLLET HILL'S	84	20000						50	127	51	178																												
	E.U.A.	NORTH LOOP DETENTION	82	15800			21			30	119	38					2410	99		120	146	178			0,67	0,82	1,0			-7/-6												56
	E.U.A.	GREAT MILLS		9900			11				146	38																													81
	E.U.A.	EL PASO - HIGHWAY DIVERSION CHANEL		10800							192	-	192																													
	E.U.A.	SIBLEY - RECLAIM POND		2300							208	-	208																													
	E.U.A.	LAKE BRAZOS		13000							178	-	178																													
	E.U.A.	CEDAR FALLS	79	3820							140	92	232					2411			152	220			0,66	0,95																
	E.U.A.	DRYDEN		3210							237	39																													67
	E.U.A.	SPRING CREEK		3080							134	-	134																													
	E.U.A.	PRICE LAKE		3980							172	-	172																													
	E.U.A.	PAMO	P	373400	425000	88	80													207 /365																					
	E.U.A.	STAGE COACH	88	34000	39000	87	44	115	0,8		71	52	123																												
	E.U.A.	LOWER CHASE CREEK	87	13800	16000	86	20	122	0,7		84	40	104	106	712	1542	2448	2380	82,5				72	100																	49
	AUSTRALIA	COPPERFIELD	84	140000	154000	90	40	340	0,8 / 0,9	50	99	15	110					2362 / 2290		90/90		46	74			0,42 / 0,42	0,67 / 0,67						TRINCA NO MEIO									56
	AUSTRALIA	CRAIGBOURNE	88	220000	252000	100	25	247	1,0	50	70	60	130					2685 / 2615		90/90		88	138			0,88 / 0,33	1,22 / 1,4				-7/-8	2	FISSURA ESPERADA									32
	AUSTRALIA	BUCCANEER	87	24000	28000	83	12	128	0,5	50	90	90	180					2422 / 2419		150/90	80	120	200			0,33	0,47 / 15	1,11 / 11			-7 / -10		FISSURA ESPERADA									55
	GRÉCIA	PLATA NOVITSSI	EC				85	270																																	27
	AFRICA DO SUL	ARABIE	86	110000	142000	78	33	455	0,75		36	74	110								210																				
	AFRICA DO SUL	MISTERAAL	86	38000	43000	34	30	300	0,8	76	58	58	116	100	736	1731	2683	2700	100								1,81				-6										
	AFRICA DO SUL	WRIGELESWADE	89	98000	148000	80	37	780	-																																
	AFRICA DO SUL	KNEELPOORT (ARCO)	88	38000	48000	76	30	180	0,5		61	142	203																												
	AFRICA DO SUL	WOLWEDANS (ARCO)	89	150000	169000		70	230	0,5		58	136	194																												
	AFRICA DO SUL	MOHALE	PLANOS				182																																	
	AFRICA DO SUL	MASHAI	PLANOS				180																																	
	AFRICA DO SUL	BRAAM RANBENHEINER		20000	340000	6				78	46	107	153	90	714	1682	2648	2700	102										1,56 / 18		-7										
	AFRICA DO SUL	ZAAIHOEK	88	97000	134000		47	527	0,82	76	36	84	120	106	640	1735	2481	2650	102		200					1,67				-7										

Figura 35 – Relação de obras em Concreto Rolado.

Na FIGURA 35, estão indicadas as aplicações de CCR em obras já construídas ou em projeto.

Atualmente, a técnica do "Concreto Rolado vem sendo considerada como alternativa vantajosa para vários projetos de hidroelétricas, como por exemplo (31) Silver Lake e West Creek no Alaska, North Fork of the Snoqualmie, em Washington, no Oregon e Cache la Poudre River no Colorado. Há ainda, o projeto da Barragem de Wolwedans – na África do Sul (32), em arco, com mais de 70m de altura.

No Japão prevê-se para início em 1989 da Barragem de Myagase, com 155m de altura e mais de 2.000.000 m^3 em RCC (3).

2.3. Razões de Emprego

A partir do início da década de 80 o CCR causou um grande impacto no planejamento, projeto e construção de barragens, pela comprovação, na prática, que seu emprego é uma alternativa rápida, econômica e tecnicamente adequada para a construção e reabilitação de barragens. Muitos projetos, considerados anteriormente como pouco viáveis do ponto de vista econômico, podem ser reexaminados à luz do recente desenvolvimento do CCR.

A maior vantagem do CCR sobre os outros tipos de barragens é a redução do custo e do tempo de construção.

Comparativamente ao concreto convencional, o uso do CCR resulta em custo unitário inferior. Tal diferença é inversamente proporcional aos volumes envolvidos, sendo maior quanto menor o volume a empregar. Merecem menção as seguintes razões para tal diferença de custo a favor no CCR:

- uso de equipamentos de grande produção, similares aos empregados em barragens de terra e/ou enrocamento;
- redução do consumo de materiais de custo mais elevado;
- redução sensível no uso de formas;
- simplificação e redução na infra-estrutura de apoio, sem que haja qualquer diferença quanto à qualidade do produto final entre os dois métodos.

Quando comparado à alternativas de barragens de terra ou enrocamento, o CCR mostra que, em termos de materiais lançados, as diferenças são menores, dependendo da topografia local, das diferentes quantidades requeridass em cada caso, da proximidade de jazidas adequadas a cada alternativa, etc.

No entanto, muitas vezes, a solução em CCR é a mais barata, principalmente devido às modificações possíveis de serem efetuadas no arranjo das estruturas, no canteiro de obras e na velocidade construtiva. As possibilidades de se incorporar o vertedouro ao corpo do barramento, o uso de soleira livre

vertente, as possibilidades de se reduzir as dimensões de ensecadeiras, para um menor risco equivalente em função de menor tempo de exposição, entre outros aspectos, representam sensíveis melhorias em termos de arranjo.

Deve-se considerar, ainda, que em obras da geração há sempre necessidade de se contar com centrais de concreto, de armação, etc., para fazer frente a construção da Casa de Força, Tomada de Água, etc. Neste caso, utilizando-se CCR, os equipamentos para sua produção podem ser simplificados, possibilitando, também, uma redução nos equipamentos para produção de concreto convencional.

Finalmente, o menor volume de material a lançar, se comparado com os volumes de terra e enrocamento, bem como o próprio processo construtivo, tem permitido em inúmeras obras uma redução sensível nos prazos construtivos. Com isso possibilita o investimento de capital em datas posteriores, reduzindo o montante de juros do investimento a ser pago.

3 CONCEPÇÃO DE BARRAGENS EM C.C.R.

3.1. Diferença em Relação às Tradicionais

A maioria das barragens construídas com CCR são na verdade, barragens de gravidade de concreto. Entre as barragens em CCR e em concreto convencional as diferenças evidenciam quanto a dosagens, métodos construtivos e detalhes de estruturas. Já comparada às barragens de terra ou enrocamento, uma barragem em CCR apresenta as vantagens do concreto convencional, porém, em geral, com um menor custo.

Como pontos diferenciados, dignos de menção, entre o CCR e as demais alternativas, destacam-se:

- os vertedouros em CCR podem ser galgáveis e, portanto, construídos integralmente no corpo da obra enquanto vertedouros associados a barragens de enrocamento são localizados em uma das laterais, geralmente envolvendo grandes volumes de escavação, o que pode encarecer a obra, dependendo da topografia e geologia locais;

- as barragens de concreto podem suportar galgamento, causado por vazões máximas prováveis de menor tempo de recorrência, enquanto nas barragens de terra e enrocamento isto não pode ser permitido. Mesmo durante a construção de barragem em CCR eventuais cheias podem galgá-las, proporcionando, ainda, um relativo controle de cheias a jusante. Como exemplo disso, pode-se citar o ocorrido em outubro/85 na Barragem de Kerrville, Texas, EUA (34) onde, trinta dias após a última concretagem, uma cheia excepcional galgou a estrutura de CCR (lâmina de 4,3 m), sem danificá-la;

- como a largura da base de barragem de concreto é menor que a de barragem de enrocamento ou terra, os comprimentos de estruturas para desvio, condutos forçados, etc., são menores;

- a construção em CCR é muito rápida e uma obra de tamanho médio (300.000 m^3) pode ser construída em poucos meses. Se o período de construção coincidir com a vazante, é possível executá-lo com desvios, e estruturas pertinentes, muito menores e, portanto, menos custosas do que seria requerido para períodos mais longos;

- tomadas de água em barragens de enrocamento ou de terra consistem em estruturas independentes, no reservatório, ou são construídas nas ombreiras. Em barragens de concreto tais estruturas são de construção mais simples já que são executadas, em geral, como parte do conjunto;

- para barragens de concreto é requerida menor espessura de borda livre, se comparada àquela adotada nos critérios para enrocamento ou aterro;

- o CCR pode ser executado com materiais que não atendem aos limites geralmente impostos a concreto convencional;

- o manuseio do CCR (mistura, transporte, lançamento e compactação) pode ser executado com maior grau de mecanização e em menor prazo e, portanto, a mão-de-obra necessária é menor que em barragens de concreto convencional.

No entanto, alguns pontos devem ser levados em consideração quando da definição da melhor alternativa para um aproveitamento específico, destacando a existência de jazidas de agregados adequados ao CCR, as distâncias de transportes econômicos e a necessidade de ocorrência de rocha de fundação adequada para as barragens de CCR.

3.2. Aplicações

O CCR pode ser aplicado a barragens de qualquer tamanho e para qualquer função. Pode ser empregado, essencialmente, como substituto para concreto convencional.

O CCR pode ser considerado para aplicação em qualquer área onde concreto de consistência seca possa ser transportado, lançado e compactado utilizando-se equipamentos usuais em obras de terra e enrocamento. Projetos ideais em CCR envolveriam poucos, ou nenhum, embutidos, armaduras e outras descontinuidades.

Algumas aplicações onde, eventualmente, o uso do CCR seria benéfico são apresentadas a seguir:

- proteção de margens de canais, lagos e reservatórios em lugar de rip-rap ou gabiões;
- lançamento de grandes blocos, praças ou áreas pavimentadas;
- fundações massivas e lajes de fundação;
- ensecadeiras;
- enchimentos;
- reparos de emergência;
- proteção de crista de barragens de terra.

O CCR pode ser usado, ainda, em lugar de concreto convencional em barragens gravidade ou arco, em diques e como capeamento de quebramares para reduzir a quantidade de rocha requerida. Seu emprego permite a elaboração de arranjos gerais de barragens mais econômicos e factíveis.

Outra aplicação possível para o CCR é na reabilitação ou alteamento de barragens existentes. O CCR oferece também, um meio efetivo para o aumento da capacidade extravasora de um aproveitamento, provendo estabilidade estrutural pela construção de contrafortes em estruturas existentes pela substituição total ou parcial de estruturas danificadas ou defeituosas, ou pelo simples alteamento das barragens existentes.

4.1. Planejamento, Viabilidade e Critério de Projeto

O planejamento de uma barragem inclui a viabilização técnica e econômica do projeto, a determinação de volume ótimo do reservatório e de altura da barragem e o desenvolvimento de planos e alternativas de projeto. Os primeiros passos são comuns a todo e qualquer projeto:

- estudos geológicos-geotécnicos;
- obtenção de dados ambientais;
- critérios para as demais estruturas do arranjo, incluindo vertedouro, estrutura de desvio e descarga e para estruturas em concreto convencional;
- controle de percolação d'água e permeabilidade, se necessário, dos pontos de vista de estabilidade, desempenho e estética.

4.2. Projeto Estrutural

Não há diferença entre os conceitos básicos de projeto de uma barragem construída de CCR ou de uma de concreto convencional. Entretanto, o projeto, o arranjo geral das estruturas e o planejamento construtivo devem levar em consideração as vantagens de se obter maiores velocidades construtivas com esse processo. Tem sido verificado que há um benefício econômico na maioria das estruturas em que é possível o uso do CCR.

As análises de estabilidade (tombamento, deslizamento), para a barragem de CCR são iguais às efetuadas para estruturas de concreto convencional. É importante ressaltar que a resistência à compressão, também nesse caso, não é um fator importante pois os níveis de tensões atuantes são, via de regra, de compressão e com valores relativamente baixos.

As FIGURAS 36 a 41 ilustram alguns parâmetros e situações de análise para avaliação da estabilidade.

Quanto às técnicas de análise podem ser utilizadas as mesmas que para barragens de concreto tipo gravidade. Para estruturas altas ou com geometria ou condições de fundação não usuais, a adoção da técnica de análise tridimensional pelo método dos elementos finitos mostra, geralmente, distribuição de tensões mais favorável.

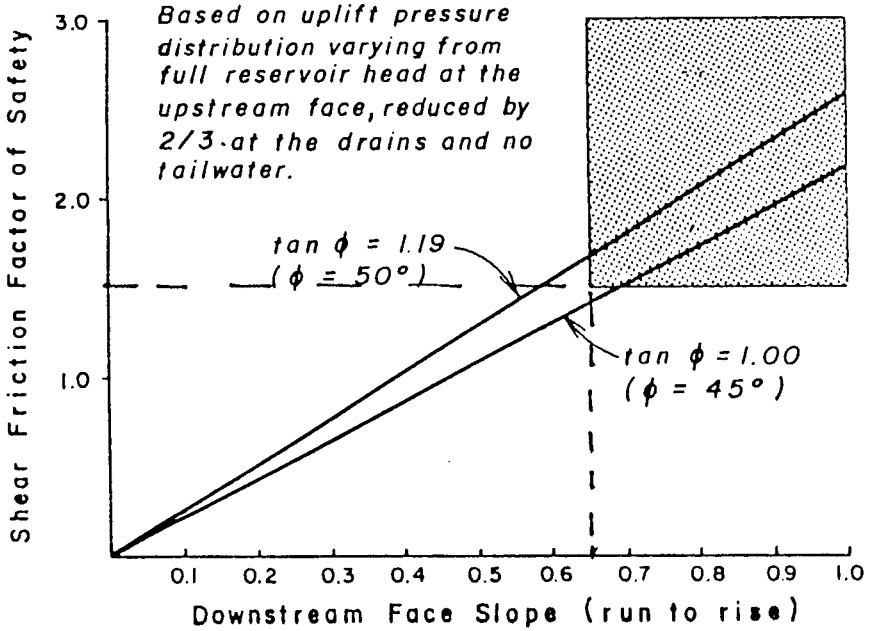


Figura 36 – Coeficientes de segurança para atrito ao cisalhamento, a várias inclinações do talude de jusante, considerando "C" = 0 (coesão nula) nas juntas, e 100% de eficiência da drenagem. (35)

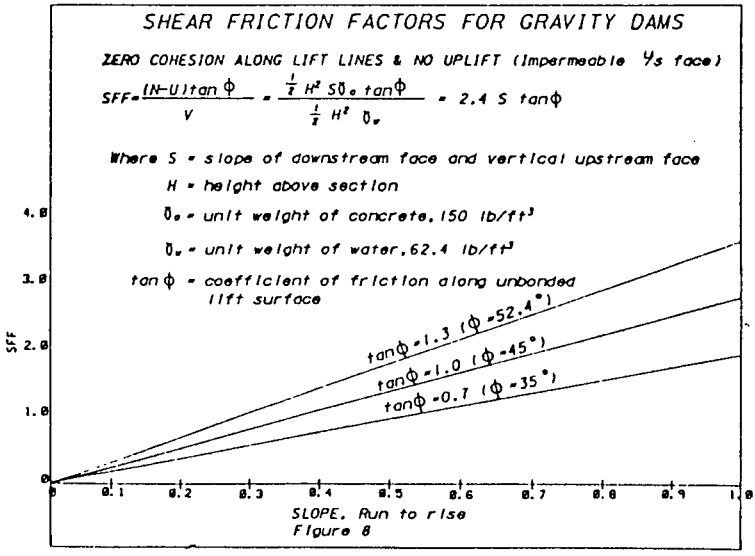


Figura 37 – Coeficientes de segurança para atrito ao cisalhamento à várias inclinações do talude de jusante, considerando "C" = 0 nas juntas e sem sub-pressão. (30)

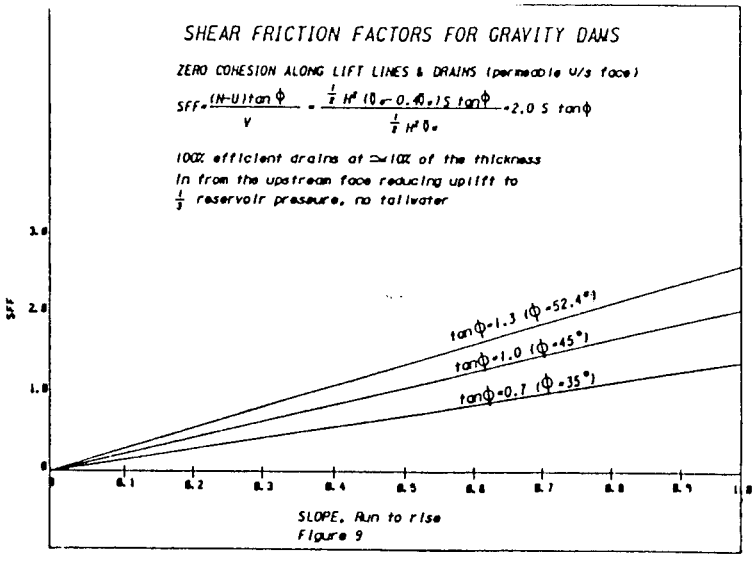


Figura 38 – Coeficientes de segurança para atrito ao cisalhamento à várias inclinações do talude de jusante, considerando "C" = 0 nas juntas e 100% de eficiência dos drenos a 10% da face. (30)

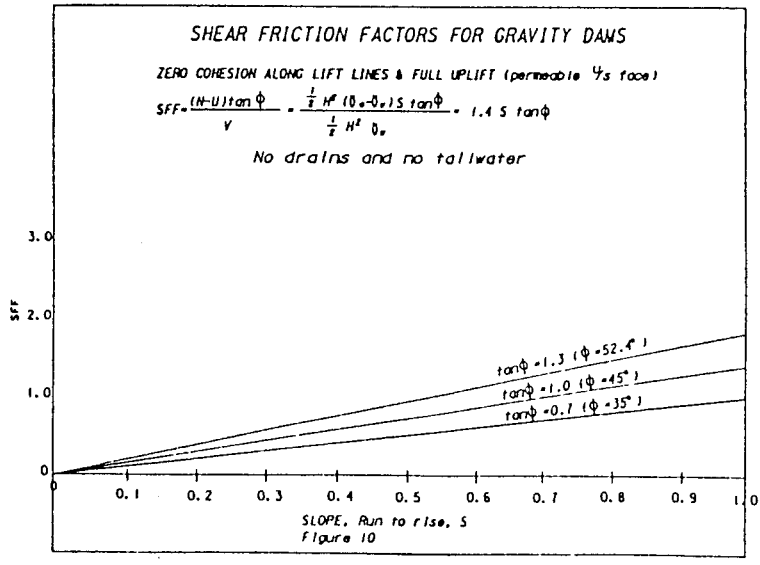


Figura 39 – Coeficientes de segurança para atrito ao cisalhamento à várias inclinações do talude de jusante e sub-pressão atuante. (30)

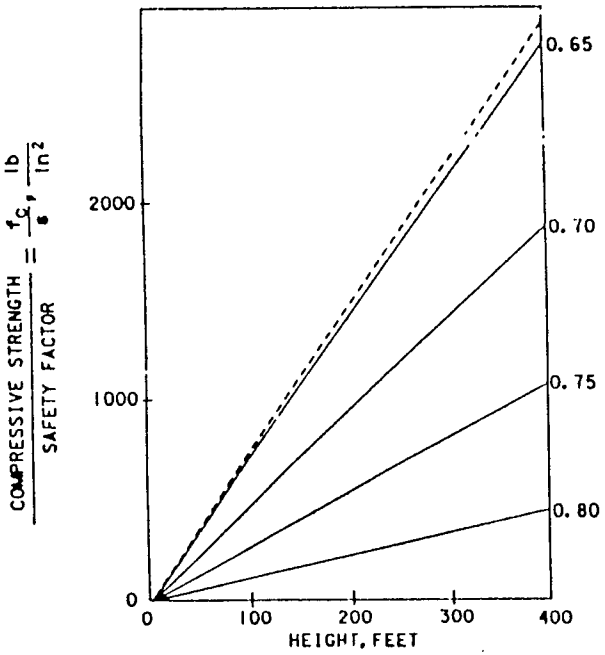


Figura 40 – Inclinações do talude de jusante, com face vertical a montante, para várias alturas, sem drenagem, em correlação com a resistência do concreto e o coeficiente de segurança. (30)

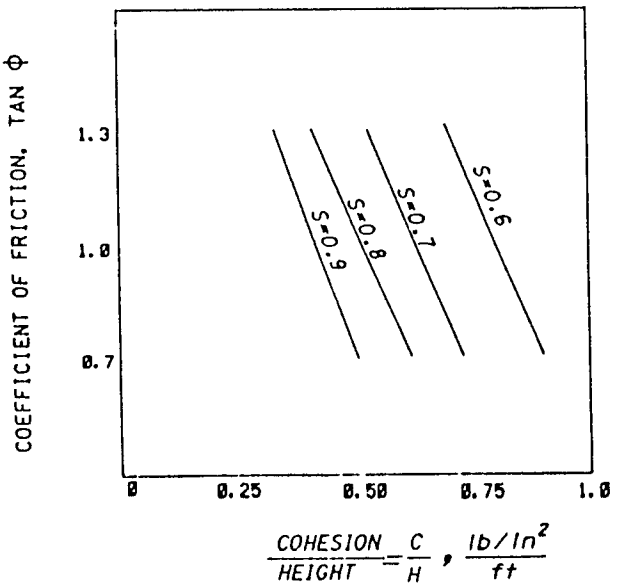


Figura 41 – Inclinações do talude de jusante, com face vertical à montante, para várias alturas em correlação com os coeficientes de atrito, coesão, e coeficientes de segurança igual a 3,0. (30)

4.3. Aspectos Térmicos

Em virtude das restrições da fundação e do próprio concreto, podem ocorrer fissuras na massa sempre que as deformações induzidas pelas quedas de temperatura forem superiores à capacidade de deformação do concreto. Tais fissuras tendem a se iniciar em superfícies adjacentes à fundação ou onde a restrição for grande, propagando-se à medida que o restante da massa vai se resfriando. Podem, também ser formadas a partir da superfície, resfriada repentinamente enquanto o interior do concreto permanece quente e faz o papel de elemento de restrição.

Esses fatos podem ocorrer, normalmente, nas barragens de concreto massa convencional devido às tensões de origem térmica, inclusive em locais onde a variação anual de temperatura ambiente não é elevada.

Para fazer frente ao problema, as medidas a serem tomadas para o CCR são similares às adotadas para o concreto massa convencional, devendo, no projeto, serem estudadas as opções mais convenientes e que incluem:

- o uso intenso de material pozolânico substituindo parte do cimento, causando com isso menor geração de calor;
- o controle de temperatura de lançamento de concreto;
- a adequação da altura da camada;
- o controle da velocidade de lançamento do concreto;
- a adequação, quando possível, das concretagens às condições climáticas locais;
- a utilização de juntas de contração;
- o uso de agregados que proporcionem maior capacidade de deformação e a difusão conveniente.

A FIGURA 42 mostra um estudo (36), em que se evidencia as vantagens de se utilizar as épocas frias do ano para lançamento do concreto.

As vantagens da aplicação do Concreto Rolado podem ser observadas através do conjunto de FIGURAS de 43 a 57 onde são comparados vários casos de lançamento de concreto massa e concreto rolado, sendo que na FIGURA 58 há um resumo dos casos estudados.

Pelo conjunto de valores observa-se:

- A redução da altura da camada proporciona uma diminuição da temperatura máxima atingida (ver casos – VII, XII e XIII);

- O espaçamento do intervalo de tempo dentre camadas permite uma pequena redução no pico máximo de temperatura (ver casos de I a IX);

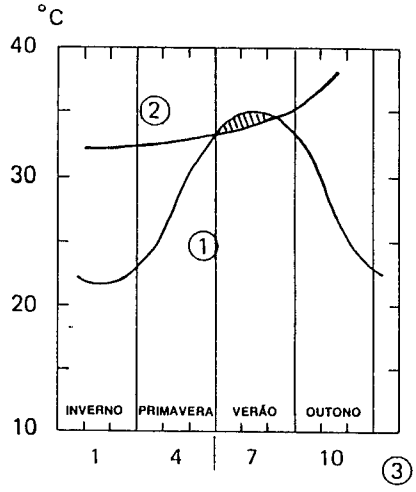
- O lançamento do concreto à temperaturas mais baixas também reduz o pico térmico (ver casos VII e X).;

- A redução do consumo de aglomerante possibilita a redução do pico térmico (ver casos I a IX e XIII a XV).

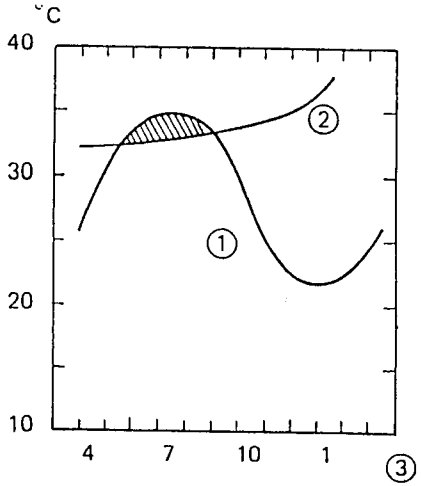
Nota-se que a redução do consumo, evidenciada pelos casos XIII a XV, mesmo para intervalos de lançamento pequenos, da ordem de 1 dia, estabelece a potencialidade de pequenos gradientes de temperatura, na massa do concreto.

Os exemplos XIV e XV, simulando a execução do Concretro Rolado, Ø max 76 mm, com consumos entre 85 kg/m^3 e 60 kg/m^3, normalmente obtido com o RCC, permite atingir picos de temperatura ligeiramente próximos à temperatura, de lançamento, e a do ambiente, dando em decorrência, pequenos gradientes térmicos, para o equilíbrio com o ambiente.

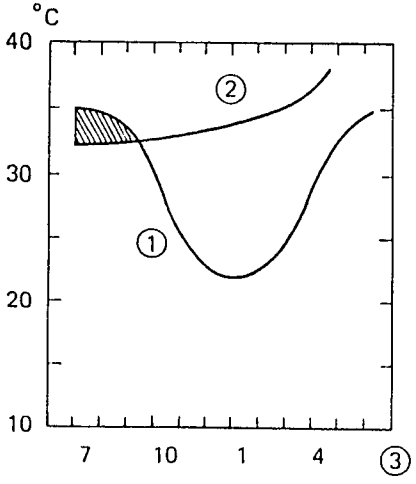
Dessa forma evidencia-se uma das vantagens do uso do RCC, para concretos massa.



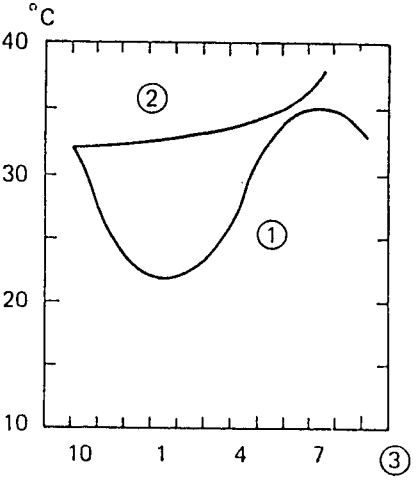
1. Case where concrete placement is started in January



2. Case where concrete placement is started in April



3. Case where concrete placement is started in July



4. Case where concrete placement is started in October

Comparison between maximum temperature of concrete and allowable maximum temperature

Comparaison entre la température maximale du béton et la température maximale admissible

1. Maximum temperature of concrete
2. Allowable maximum temperature of concrete
3. Month

1. *Température maximale du béton*
2. *Température maximale admissible du béton*
3. *Mois*

Figura 42 – Estudo sobre o controle de fissuração em grandes barragens de Concreto Rolado. (36)

CASO Nº	=	I
TAMANHO MÁXIMO	=	152 mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	85 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5 m.
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	3 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0 °C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	34,1 °C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10 m^2/DIA

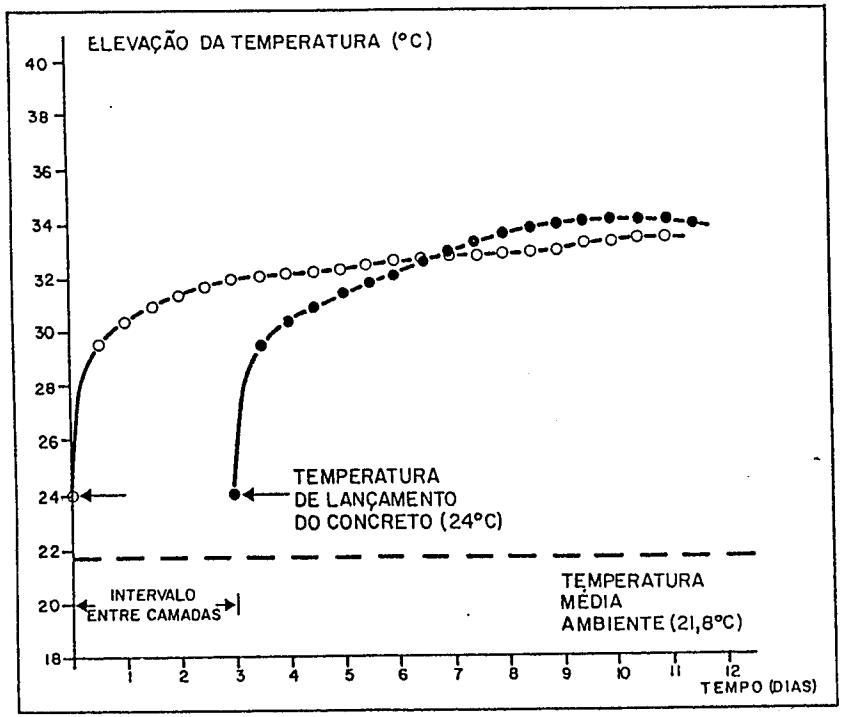


Figura 43 – Histórico de temperatura – Caso I.

CASO Nº	=	II
TAMANHO MÁXIMO	=	152mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	85Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	5 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	33,8°C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10m^2/DIA

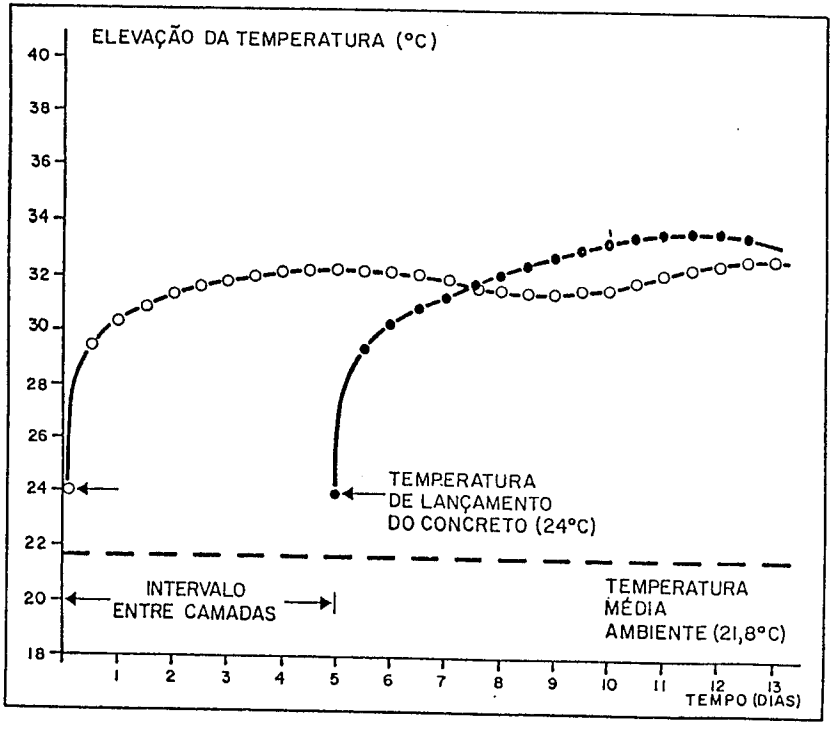


Figura 44 – Histórico de temperatura – Caso II.

CASO Nº	=	III
TAMANHO MÁXIMO	=	152mm.
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	85 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	7 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	33,5°C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10 m^2/dia

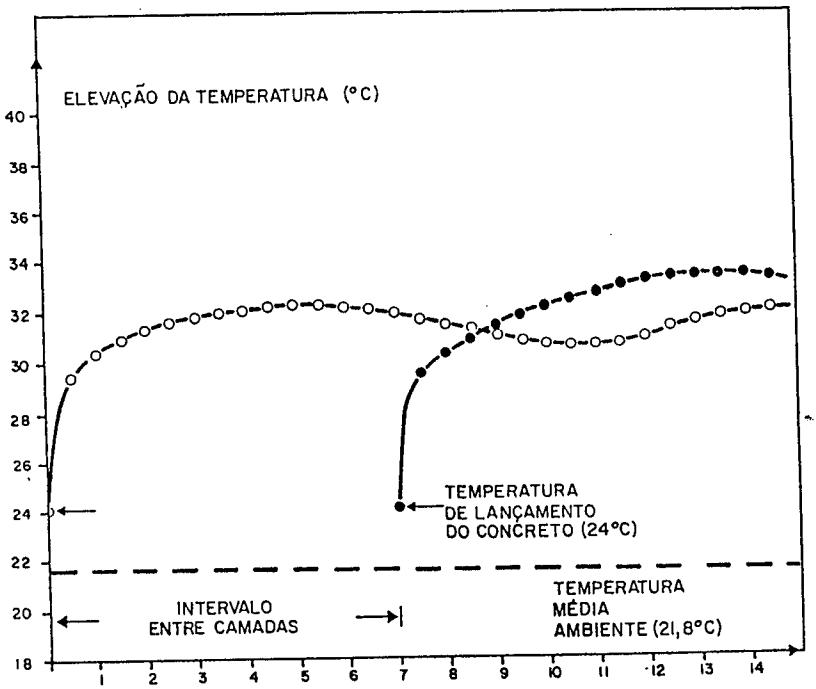


Figura 45 – Histórico de temperatura – Caso III.

CASO Nº	=	IV
TAMANHO MÁXIMO	=	152 mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	110 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	3 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	37,0°C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10 m^2/DIA

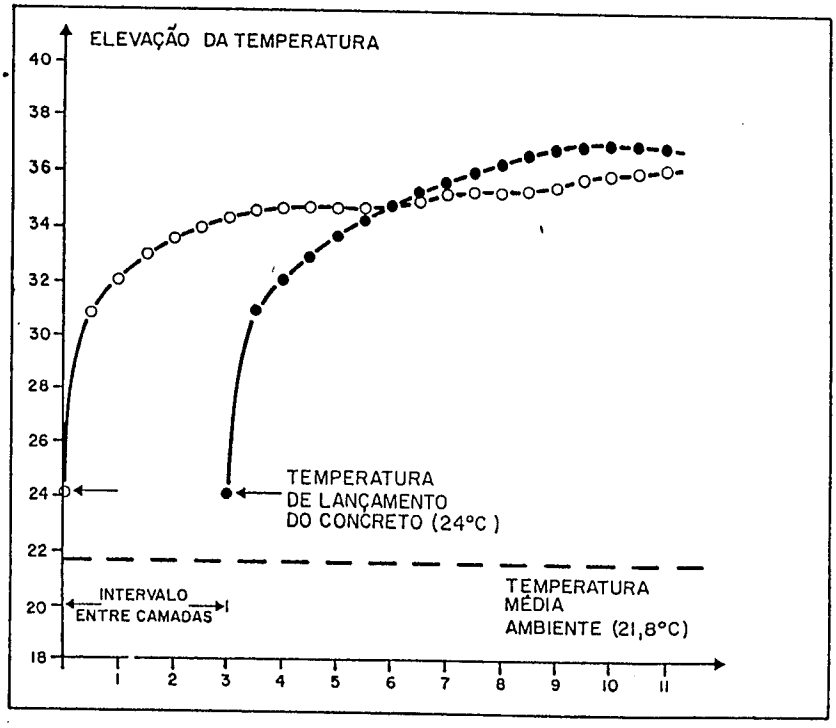


Figura 46 – Histórico de temperatura – Caso IV.

CASO Nº	=	V
TAMANHO MÁXIMO	=	152mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	110 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	5 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	37,0°C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10m^2/DIA

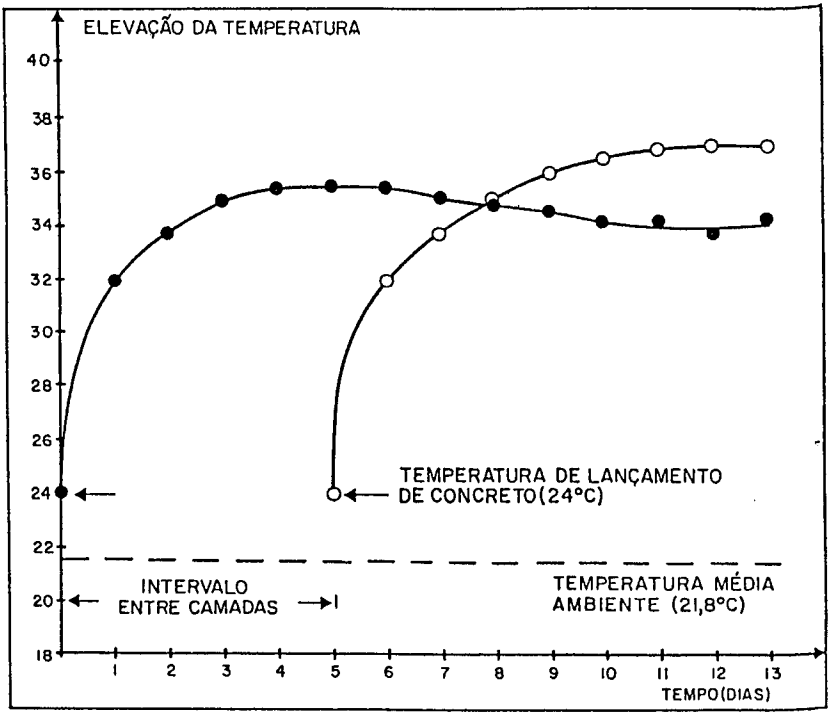


Figura 47 – Histórico de temperatura – Caso V.

CASO Nº	=	VI
TAMANHO MÁXIMO	=	152 mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	110 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	7 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	36,7ºC
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10 m^2/DIA

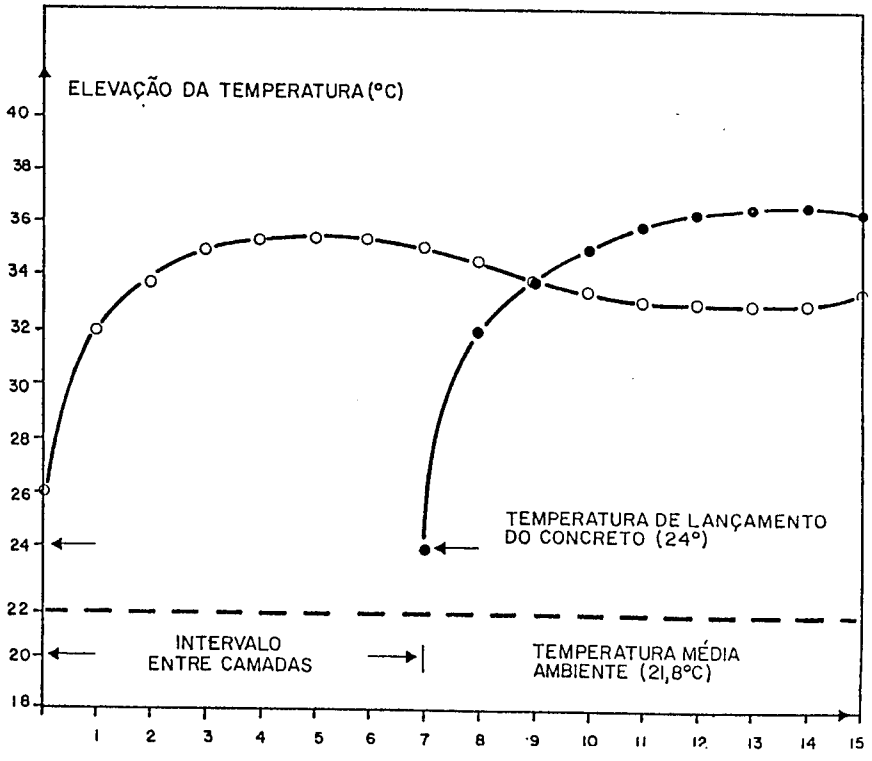


Figura 48 – Histórico de temperatura – Caso VI.

CASO Nº	=	VII
TAMANHO MÁXIMO	=	152 mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	140 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	3 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0 °C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8 °C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	40,2 °C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10 m^2/DIA

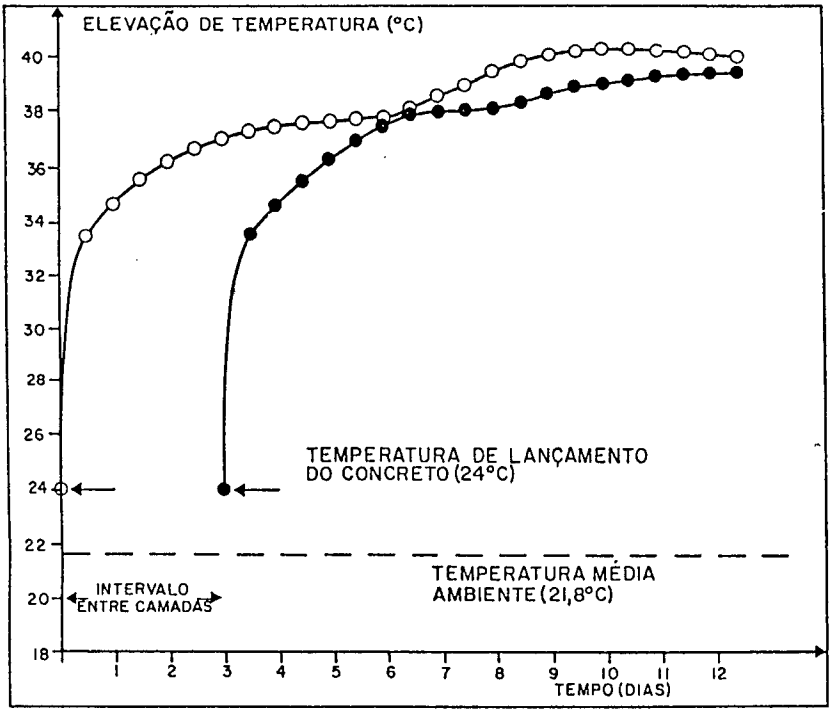


Figura 49 – Histórico de temperatura – Caso VII.

CASO Nº	=	VIII
TAMANHO MÁXIMO	=	152mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	140 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	5 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	40,3°C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10 m^2/DIA.

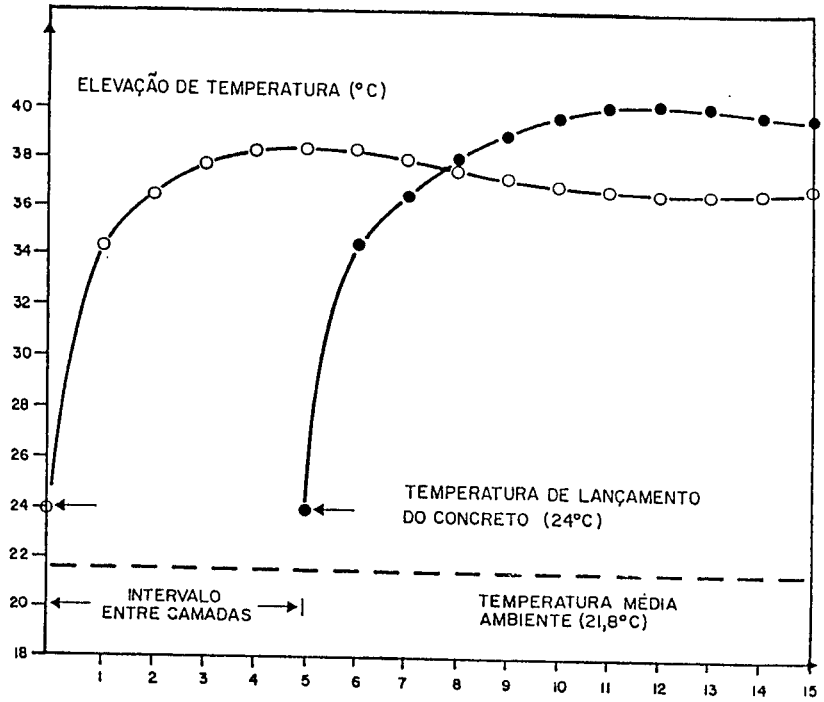


Figura 50 – Histórico de temperatura – Caso VIII.

CASO Nº	=	IX
TAMANHO MÁXIMO	=	152 mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	140 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	7 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	40,0°C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10 m^2/DIA

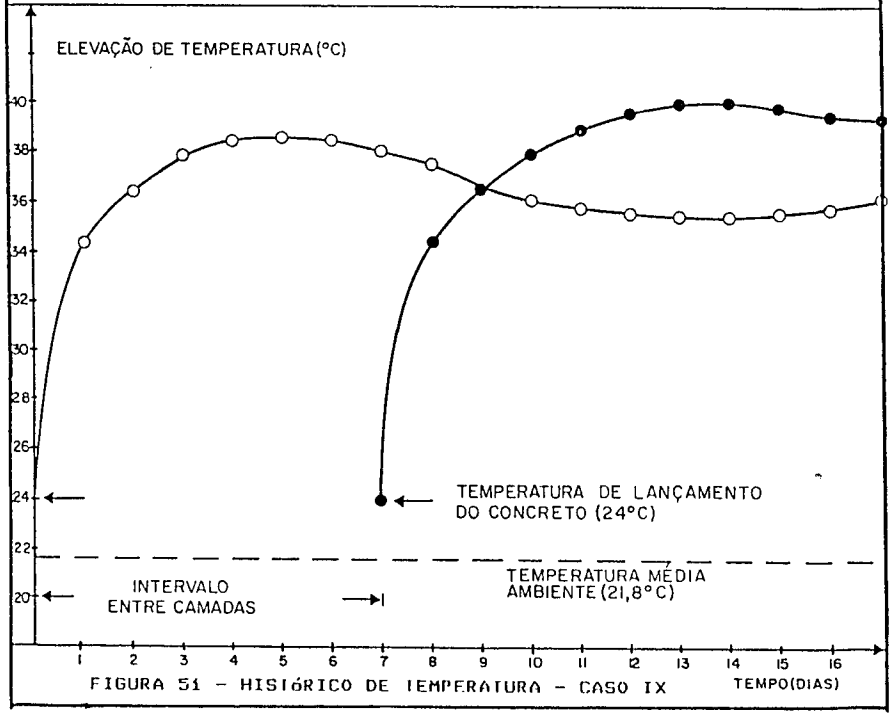


FIGURA 51 – HISTÓRICO DE TEMPERATURA – CASO IX

Figura 51 – Histórico de temperatura – Caso IX.

CASO Nº	=	X
TAMANHO MÁXIMO	=	152 mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	140 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	2,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	3 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	18,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	35,7°C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10 m^2/DIA

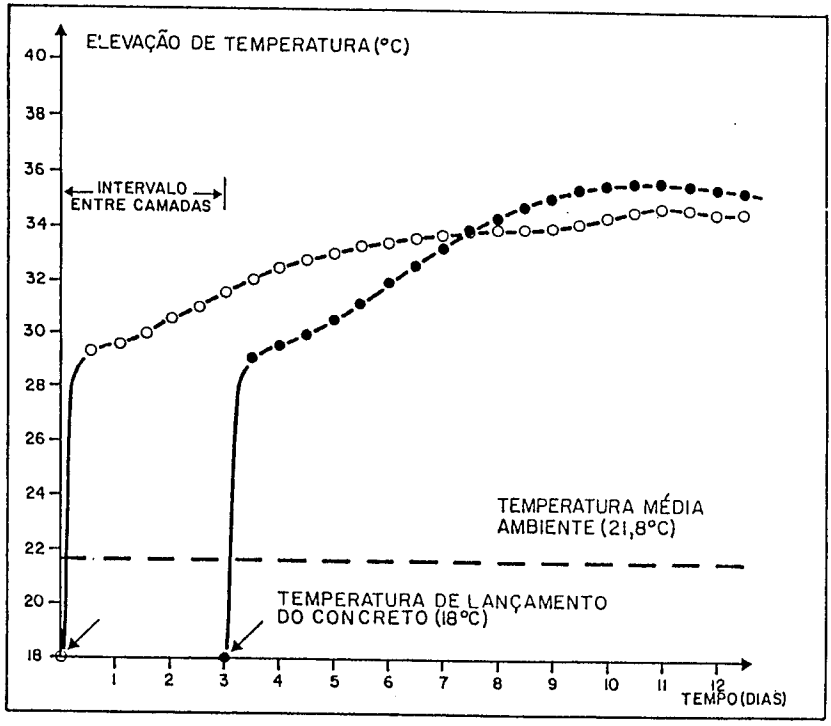


Figura 52 – Histórico de temperatura – Caso X.

CASO Nº	XI
TAMANHO MÁXIMO	152 mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	140 Kg / m^3
ALTURA DAS CAMADAS	2,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	3 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	21,8 °C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	39,3° C
DIFUSIVIDADE h^2	0,12 m^2 /DIA

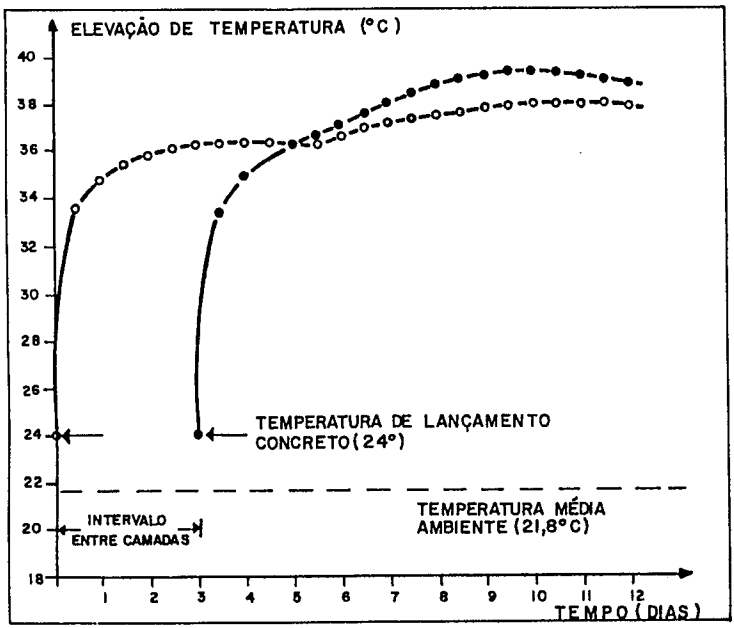


Figura 53 – Histórico de temperatura – Caso XI.

CASO Nº	=	XII
TAMANHO MÁXIMO	=	152mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	140Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	1,25m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	3 DIAS
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	34,0°C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10m^2/DIA

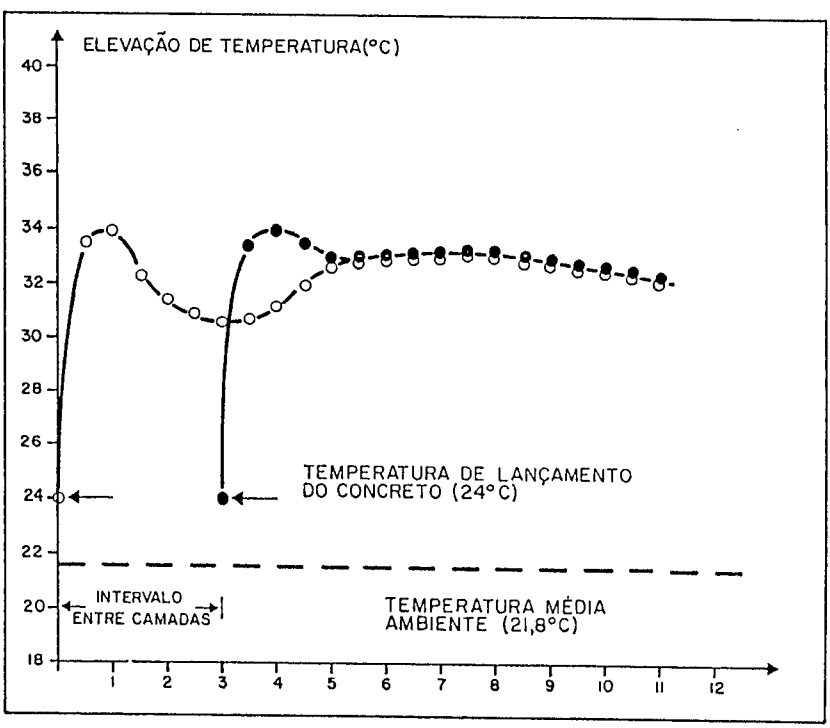


Figura 54 – Histórico de temperatura – Caso XII.

CASO Nº	=	XIII
TAMANHO MÁXIMO	=	152mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	=	140Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	=	0,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	=	1 DIA
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	=	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	=	21,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	=	32,4°C
DIFUSIVIDADE h^2	=	0,10 m^2/DIA

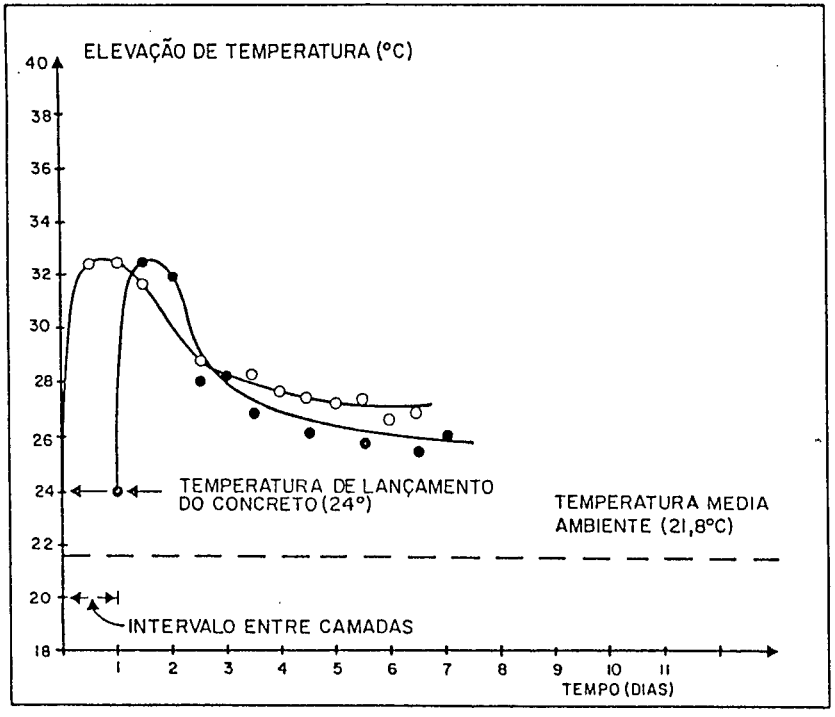


Figura 55 – Histórico de temperatura – Caso XIII.

CASO Nº	XIV
TAMANHO MÁXIMO	76 mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	85 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	0,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	1 DIA
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	24,0 °C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	21,8 °C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	25,8 °C
DIFUSIVIDADE h^2	0,10 m^2/DIA

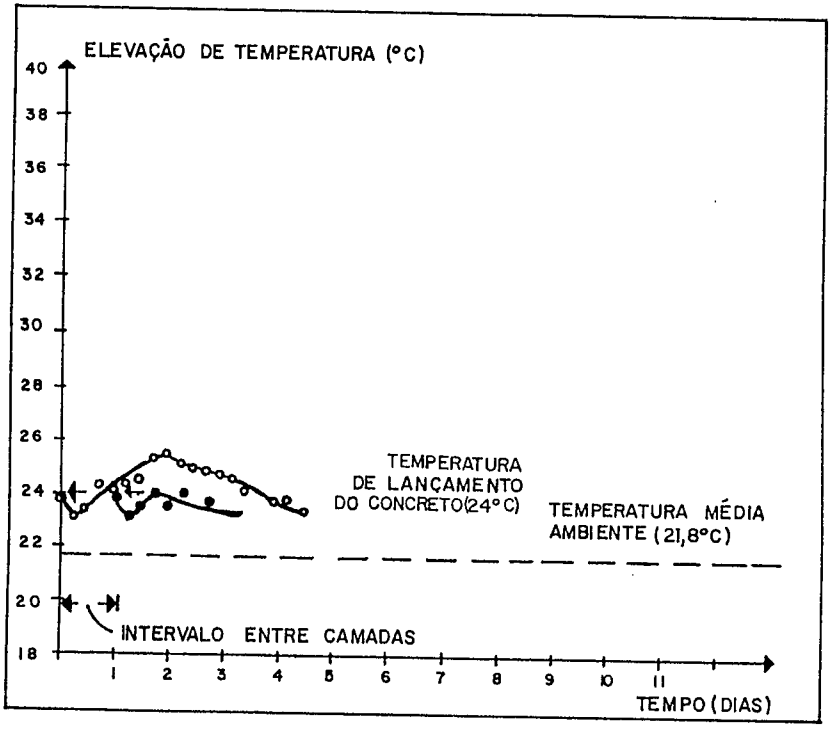


FIGURA 56 - HISTÓRICO DE TEMPERATURA - CASO XIV

Figura 56 – Histórico de temperatura – Caso XIV.

CASO Nº	XV
TAMANHO MÁXIMO	76 mm
CONSUMO DE AGLOMERANTE	60 Kg/m^3
ALTURA DAS CAMADAS	0,5 m
INTERVALO ENTRE CAMADAS	1 DIA
TEMPERATURA DE LANÇAMENTO	24,0°C
TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTE	24,8°C
TEMPERATURA MÁXIMA CONSIDERADA	24,7°C
DIFUSIVIDADE h^2	0,10 m^2/DIA

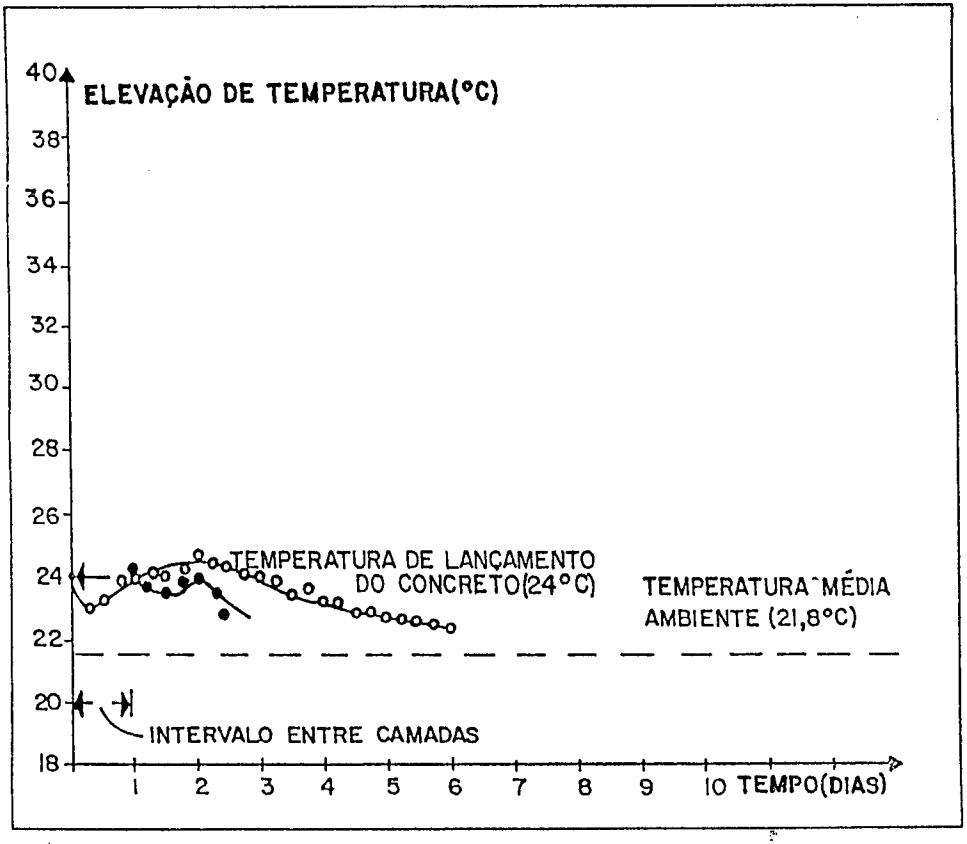


Figura 57 – Histórico de temperatura – Caso XV.

SIMULAÇOES						TEMPERATURAS (C)			
Caso	Tamanho Máximo do Agregado (MM)	Consumo de Aglomerante Kg/m3	Altura das Camadas (M)	Intervalos de Concretagem (Dias)	Difusividade (m2/Dia)	De Lançamento	Máxima Observada	Média Ambiente	Idade do Início de Refriamento (Dias)
I	152	85	2,50	3	0,10	24	34,1	21,8	10,5
II	152	85	2,50	5	0,10	24	33,8	21,8	12,0
III	152	85	2,50	7	0,10	24	33,5	21,8	14,0
IV	152	110	2,50	3	0,10	24	37,0	21,8	10,0
V	152	110	2,50	5	0,10	24	37,0	21,8	12,0
VI	152	110	2,50	7	0,10	24	36,7	21,8	14,0
VII	152	140	2,50	3	0,10	24	40,2	21,8	10,0
VIII	152	140	2,50	5	0,10	24	40,3	21,8	12,0
IX	152	140	2,50	7	0,10	24	40,0	21,8	13,5
X	152	140	2,50	3	0,10	18	35,7	21,8	10,5
XI	152	140	2,50	3	0,12	24	39,3	21,8	10,0
XII	152	140	1,25	3	0,10	24	34,0 - 30,5	21,8	1,0
							34,0		1,0
XIII	152	140	0,5	1	0,10	24	32,4 - 32,0	21,8	1,0
							32,4		1,0
XIV	76 RCC	85	0,5	1	0,10	24	25,8	21,8	2,0
XV	76 RCC	60	0,5	1	0,10	24	24,7	21,8	2,0

Figura 58 – Quadro resumo das simulações.

4.4. Fundações

O projeto de barragens em CCR, tal qual o de uma barragem convencional em concreto inclui a correta interpretação dos dados geológicos e de como a barragem pode afetar a estabilidade e deformação das fundações. O conjunto fundações-estruturas pode ser analisado tridimensionalmente para a avaliação correta das solicitações impostas às fundações e respectivas respostas, para a verificação da percolação de água pelas fundações etc...

Um programa completo de injeções consiste de consolidação e cortina de injeções profundas próxima ao paramento montante. A cortina de injeções pode ser feita a partir de galeria de fundação ou por intermédio de perfurações inclinadas a partir do contato do paramento montante com a rocha da fundação.

Caso sejam necessários drenos para controle de infiltrações da água ou mesmo devido aos critérios de estabilidade, eles podem ser perfurados a partir da galeria. Sua profundidade deve ser estabelecida de maneira similar à utilizada para barragens de concreto convencional.

4.5. Juntas de Contração

Uma das principais funções das juntas de contração numa barragem de concreto é controlar os efeitos da restrição das fundações, minimizando a probabilidade de ocorrência de fissuração devido a tensões de origem térmica, cujos efeitos seriam relacionados a permeabilidade, durabilidade e à estética da estrutura. Além disso, são necessárias para a divisão das grandes estruturas em blocos, facilitando o planejamento construtivo (produção, lançamento, etc.) em barragens de concreto convencional.

Estudos sobre a geração de calor e elevação de temperatura de CCR indicam que o lançamento seqüencial e uniforme de camadas tem um efeito benéfico na redução de fissuras, essencialmente devido a distribuição de temperatura na massa. (Ver item 4.3). Dependendo do meio ambiente, a velocidade de lançamento média e o tempo de cobertura podem ter efeitos menos significativos na temperatura máxima atingível que a altura da camada. Isto significa que a necessidade de juntas de contração é reduzida pela adoção de camadas de pouca espessura o que, portanto, resultaria em dissipação mais rápida do calor de hidratação. No entanto, em algumas barragens, mesmo adotando outros métodos para minimizar os problemas térmicos, pode ser necessária a adoção de juntas de contração devido aos citados efeitos térmicos ou mesmo, na geometria da fundação ou da seção da barragem, onde poderia ser induzido a fissuração. Nestes casos, em barragens de CCR, é mais prático adotar-se a solução de juntas formadas, seja por meio de corte com lâmina vibratória acoplada a trator, algumas horas após o término da concretagem da camada ou, então, o corte com lâmina manejada manualmente. O primeiro método foi adotado no Japão (Barragens de Shimajigawa, Ohkawa, Tamagawa, etc.) e na Barragem de Elk Creek, nos EUA, enquanto que o segundo método foi usado na Barragem de

Copperfield, na Austrália, e em Urugua-i, na Argentina, como pode ser visto à frente.

Os japoneses demonstraram que se pode eliminar as juntas longitudinais de contração mesmo para barragens com mais de 100 m de altura, porém não eliminam as juntas transversais (36).

4.6. Paramentos

As considerações de projeto, relativas as inclinações dos paramentos – montante e jusante – de barragens de CCR, são iguais às efetuadas para barragens de concreto convencional e estão relacionadas, principalmente, às análises de estabilidade e aos níveis de tensões atuantes.

As considerações sobre a inclinação do talude de jusante, para uma barragem tipo gravidade, podem tomar em conta os diveros valores de coesão e atrito como sugerem as FIGURAS 36 a 41. (Ver item 4.2).

Em barragens onde o núcleo é executado em CCR de baixo consumo de aglomerante e o paramento de montante em concreto convencional, pode-se usar uma camada de concreto convencional, adensado com vibradores de imersão, de espessura variável possuindo coeficiente de permeabilidade conhecido. Esta espessura é dimensionada para que não ocorra contato da água de percolação com o concreto compactado com rolo, situado no núcleo, para o período de vida útil da Obra.

Para o cálculo teórico da espessura pode ser utilizada a expressão desenvolvida por Bazant (37):

$$e = \sqrt{2 . p . k . \frac{t}{a}}$$

onde:
e = espessura do paramento (m)
p = altura da coluna de água (em m)
k = coeficiente de permeabilidade (m/s)
t = tempo de vida útil considerado (s)
a = absorção (%)

A FIGURA 59 exemplifica a metodologia de cálculo dos valores de espessura para dois coeficientes de permeabilidade distintos e diferentes alturas de coluna de água, pela expressão de Bazant, a partir de gráfico específico (38).

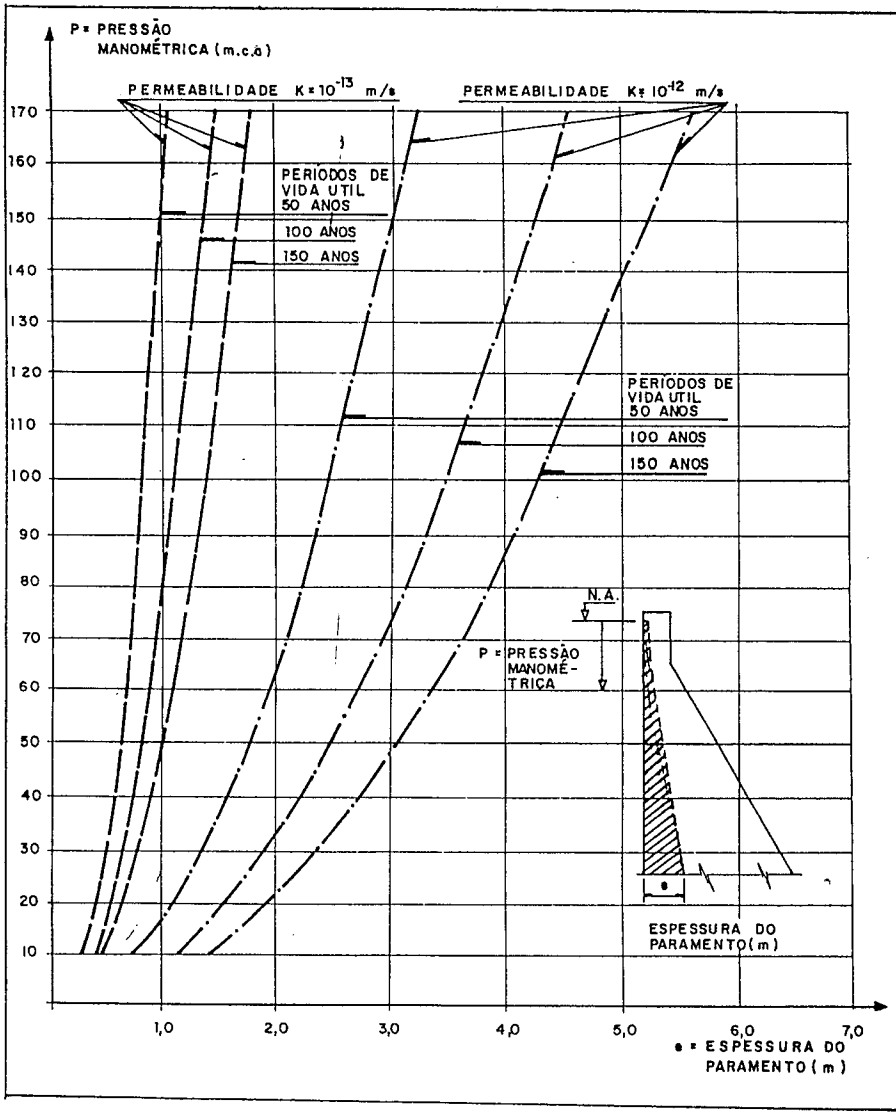


Figura 59 – Gráfico para avaliação da espessura do paramento impermeável. (37) (38)

A inclinação do paramento jusante de barragens de CCR tem variado entre 0,6 e 1,0 na horizontal para 1,0 na vertical. Estas inclinações têm sido usadas de maneira a obedecer aos critérios vigentes sobre tensões atuantes nas estruturas, de maneira similar às estruturas de concreto massa convencional. Normalmente essa inclinação intercepta a face jusante, vertical, num ponto próximo à crista, de maneira a resultar em largura de crista da ordem de 5 a 10 metros. Essa largura é adequada para possibilitar a utilização de equipamentos, de maiores ou menores dimensões, de lançamento, espalhamento e compactação.

Pelo fato do CCR ser um material seco, em princípio, pode dispensar o uso de formas durante seu adensamento, ao contrário do concreto convencional que, obrigatoriamente, necessita de uma forma que o contenha. Assim, muitas obras, tais como Willow Creek, Middle Fork e Copperfield, não utilizaram formas na moldagem do paramento de jusante.

Em algumas delas o material acabou ficando com seu ângulo de repouso natural porém verificou-se que, para algumas obras esse ângulo era de 0,8:1,0, enquanto em outros casos chegava a 1,0:1,0 ou mais, dependendo do tipo de agregado utilizado. Normalmente acaba ocorrendo perda de material, por escorregamento.

Há ainda a possibilidade de moldagem com máquinas ou com pré-moldado.

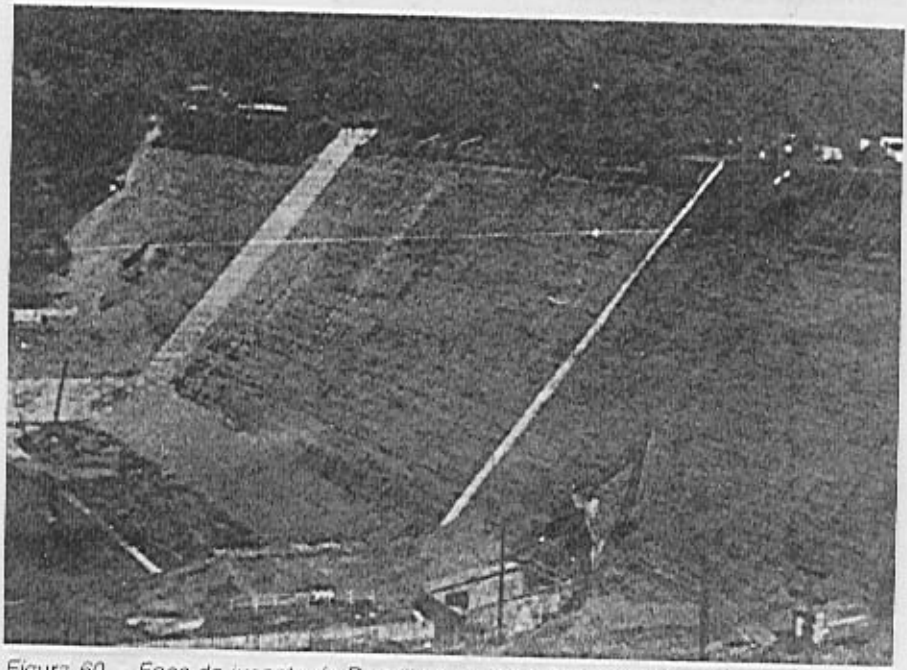


Figura 60 – Face de jusante da Barragem de WILLOW CREEK – U.S.A., executada sem forma.

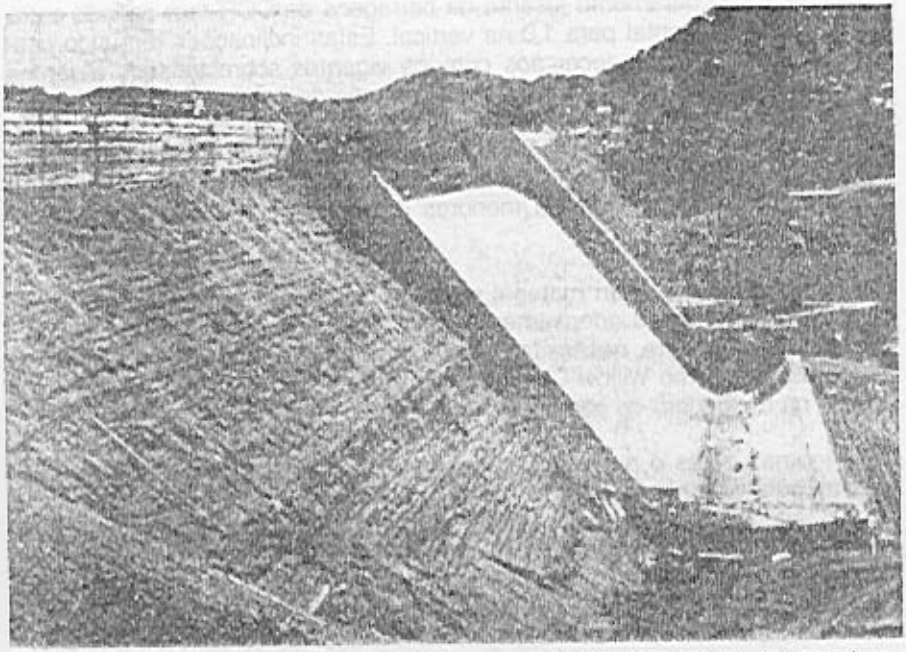


Figura 61 – Vista da face de jusante da Barragem de COPPERFIELD – AUSTRÁLIA, com material de repouso natural.

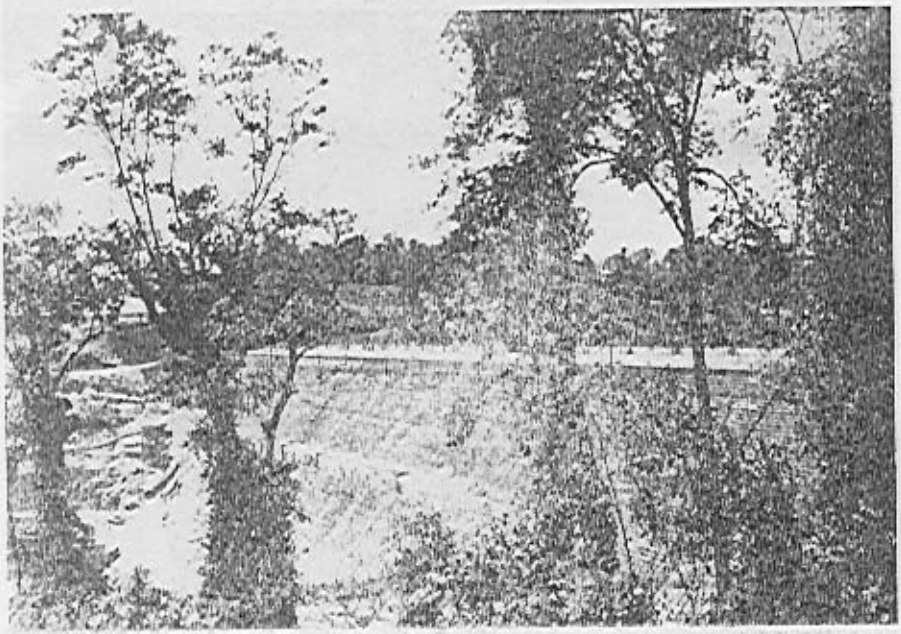


Figura 62 – Vista de jusante da Barragem de URUGUA-I, moldada com blocos pré-moldados e/ou forma.

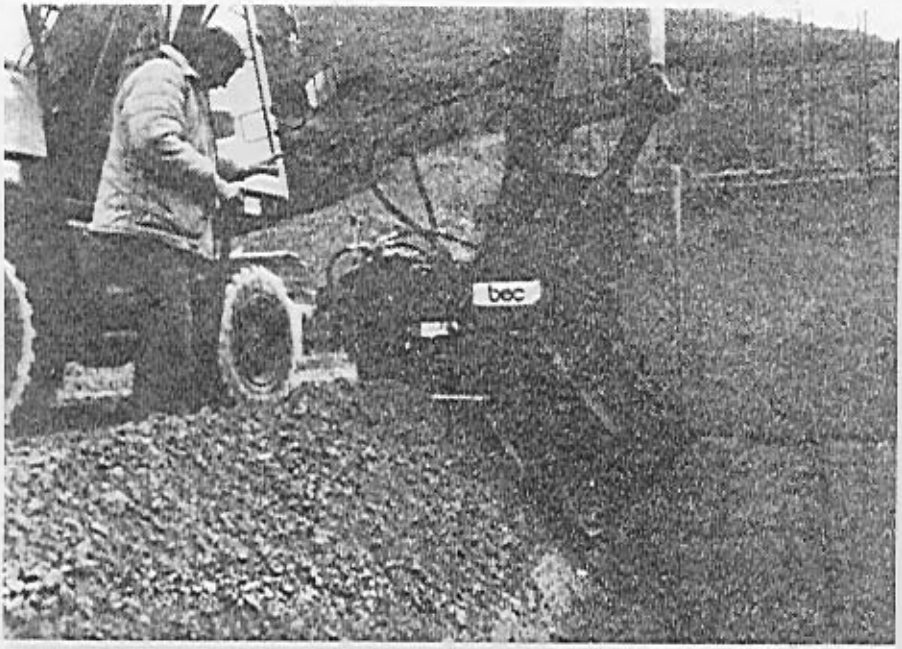


Figura 63 – Moldagem do talude de jusante com ferramenta vibratória acoplada em lança de retro escavadora – LES OLIVETTES – FRANÇA.

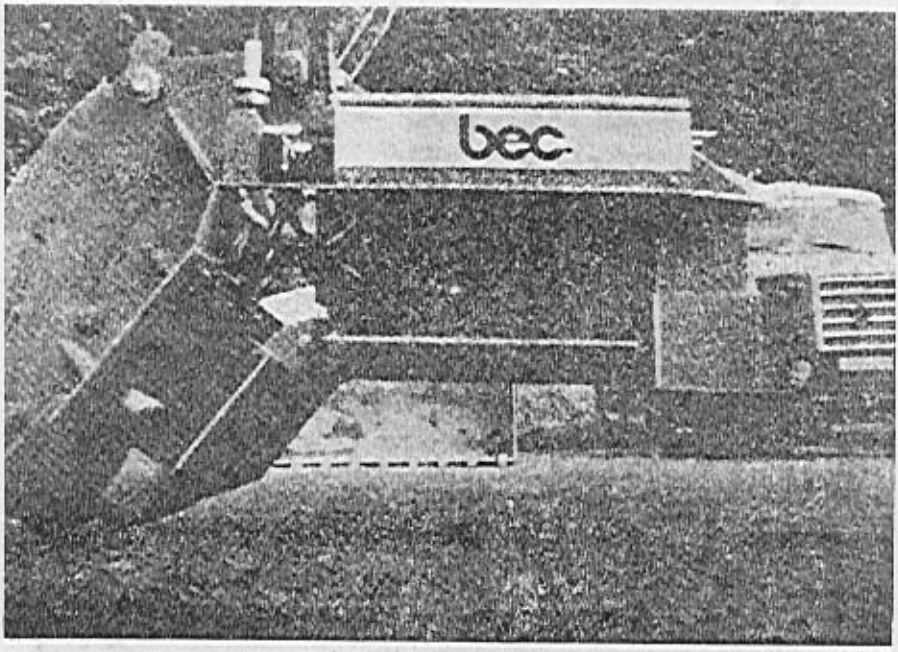


Figura 64 – Detalhe da ferramenta vibratória.

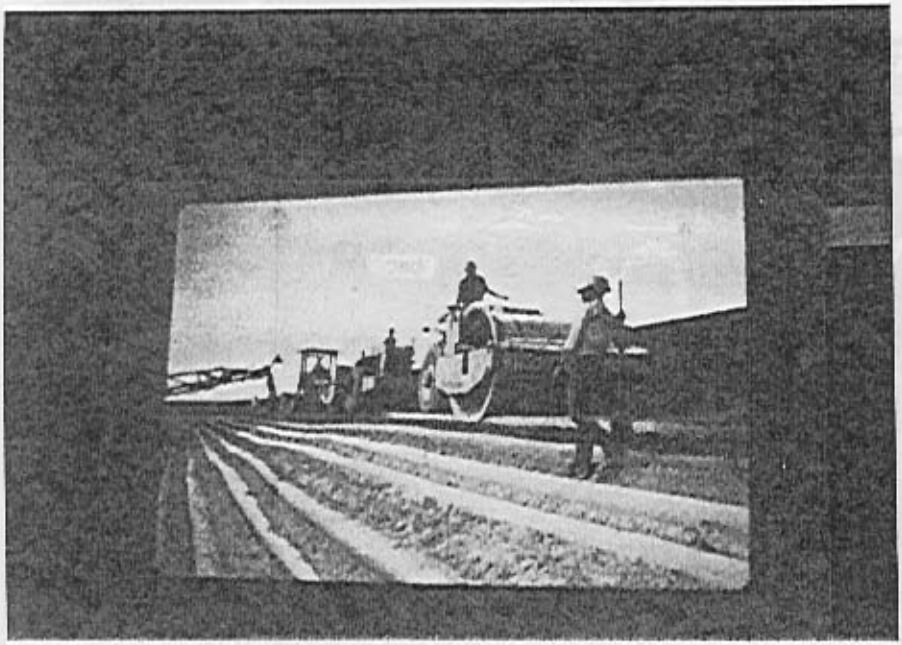


Figura 65 – Moldagem com anel acoplado ao tambor do rolo vibratório – utilizado em solo cimento.

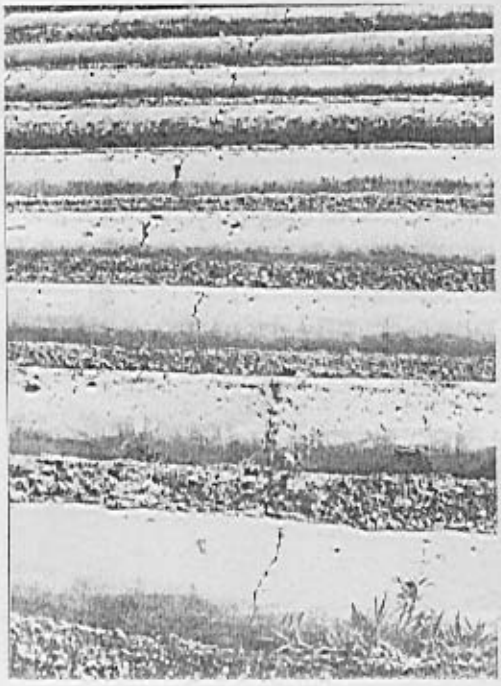


Figura 66 - Talude executado com solo cimento, através do uso de anel de confinamento acoplado no tambor do rolo vibratório.

4.7. Juntas de Construção Horizontais

A resistência ao deslizamento numa seção de concreto, seja de concreto convencional ou de CCR, depende de aderência ou coesão do concreto, das tensões de tração e cisalhamento atuantes, da resistência a compressão na superfície potencial de ruptura e do coeficiente de atrito do material, como sugerem as FIGURAS 36 a 41.

A resistência ao cisalhamento na interface entre as camadas de CCR é inferior àquela da massa, a menos que sejam tomadas precauções especiais tais como:

- limitar o tempo de exposição das camadas;
- utilizar argamassa de berço entre camadas;
- aumentar o consumo de pasta da mistura;
- efetuar limpeza rigorosa das juntas;
- uso simultâneo das providências anteriores.

Diversos ensaios realizados tem mostrado que as resistências a cisalhamento típicas, obtidas em juntas de CCR, onde o tempo de exposição da camada foi adequadamente limitado, variam de 7 kg/cm^2 a 14 kg/cm^2, como se vê no item 6.

Nos projetos executados no Japão, a preparação de juntas é feita por corte (verde) empregando-se mistura de berço em toda a área de lançamento.

A seguir são listados processos adotados em algumas barragens de Concreto Rolado.

TRATAMENTO DE JUNTAS HORIZONTAIS E MISTURA DE BERÇO

BARRAGEM	TIPO DE TRATAMENTO	ÁREA DE LANÇAMENTO DA MISTURA DO BERÇO
Urugua-i	ar	parcial
Willow Creek	nenhum	parcial
Copperfield	nenhum	parcial
Saco Nova Olinda	ar	parcial
Monksville	nenhum	parcial
Upper Stillwater	nenhum	parcial
Milton Brook	nenhum	parcial
Shimajigawa	corte verde	total
Tamagawa	corte verde	total
Ohkawa	corte verde	total

É importante, entretanto que para o projeto, as condições requeridas para o tratamento das juntas, sejam avaliadas, por ensaio (39) como indica o conceito exposto no item 6.

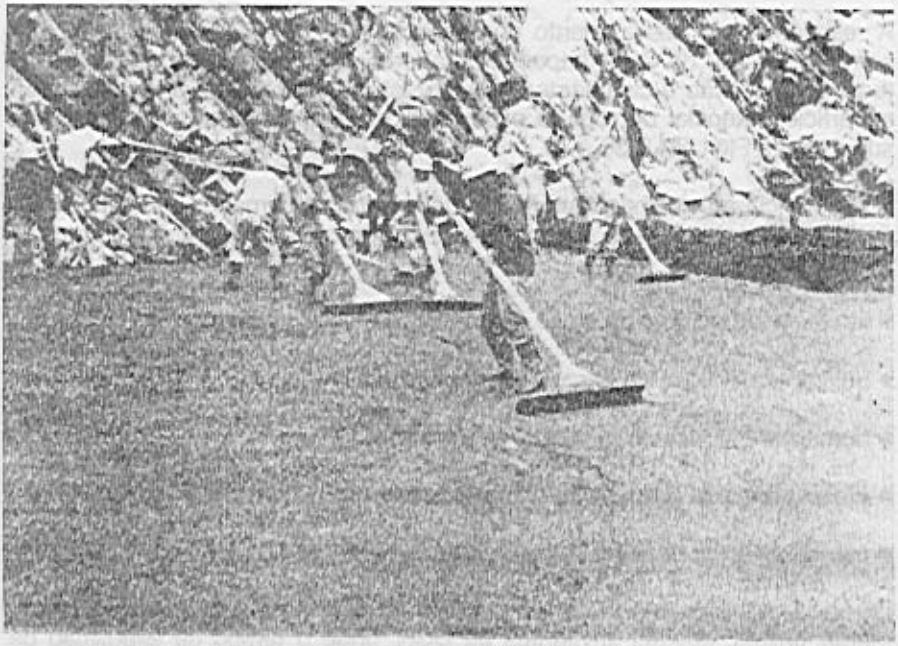


Figura 67 – Aplicação de argamassa sobre a junta de construção – SHIMAJIGAWA – JAPÃO.

Figura 68 – Aplicação de argamassa sobre junta de construção de Concreto Rolado – TUCURUÍ – BRASIL.

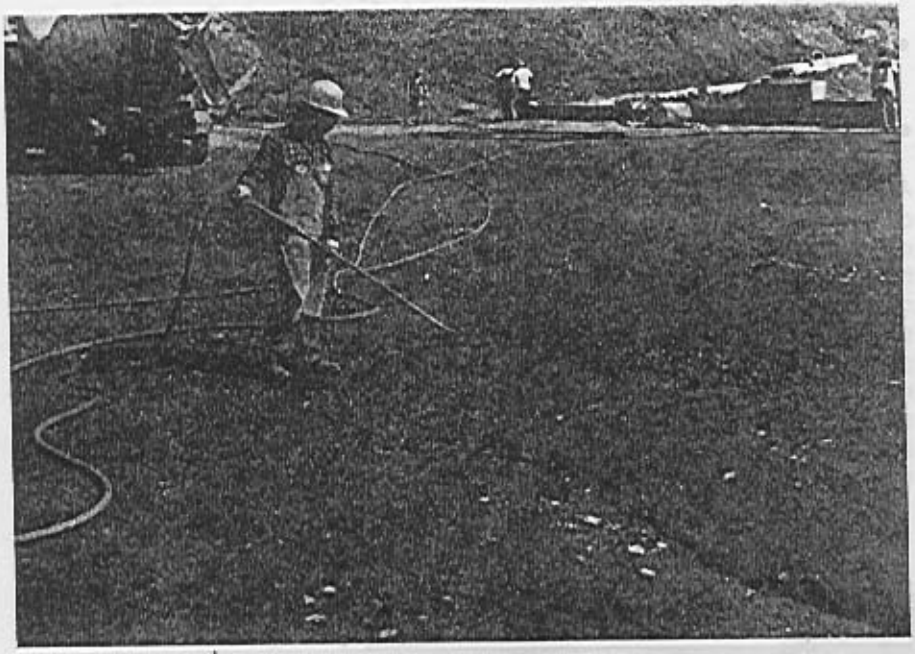


Figura 69 – Execução de limpeza da junta de construção com espingarda de ar – URUGUA-I, ARGENTINA.

4.8. Percolação de Água

A percolação de água em barragens de concreto, é causa de preocupação, especialmente quanto aos aspectos de lixiviação e de redução de estabilidade. É um fenômeno que pode ocorrer em barragens de concreto convencional, em maior ou menor grau, e algumas medidas são adotadas nos projètos visando controlá-lo. Nas barragens de CCR a preocupação é a mesma e as medidas que tem sido adotadas, não necessariamente aplicadas ao mesmo projeto, tem sido:

- uso de drenos verticais, próximos à face de montante, como por exemplo os utilizados em Tucuruí, etc. No caso de Tucuruí os drenos foram construídos à medida que as camadas iam sendo lançadas. Em Galesville foi prevista perfuração posteriormente a concretagem;

- uso de membranas elastoméricas no paramento montante. É um tipo de solução que, apesar de utilizado em Galesville, deixa muito a desejar e, nesse caso em particular, não evitou a percolação da água pois rompeu-se quando do aparecimento de fissuras térmicas;

- uso de pré-moldados com membrana, como na obra de Urugua-i, Argentina;

- uso do concreto convencional junto ao paramento de montante, como nas obras japonesas, e Elk Creek, EUA.

- uso de cortina de drenagem a montante, na fundação.

A percolação d'água através do corpo de algumas barragens de CCR, tais como Willow Creek e Galesville, tem sido considerada, em muitos setores, como exemplos de má utilização de solução de CCR. Há que se considerar, no entanto, que, em ambos os casos, havia previsão de eventual ocorrência da percolação. Considerou-se, na oportunidade, que seria preferível efetuar-se medidas corretivas após a obra ficar pronta do que adotar-se medidas preventivas. O fato de haver ocorrência de percolação nessas duas obras não afeta a segurança das estrutuuras e muito importante é o fato de que as infiltrações d'água estão se reduzindo sensivelmente (em Willow Creek após o enchimento a vazão na galeria era de 175 l/s, em 1983, e em 1986 era de 15 l/s). (34) (40)

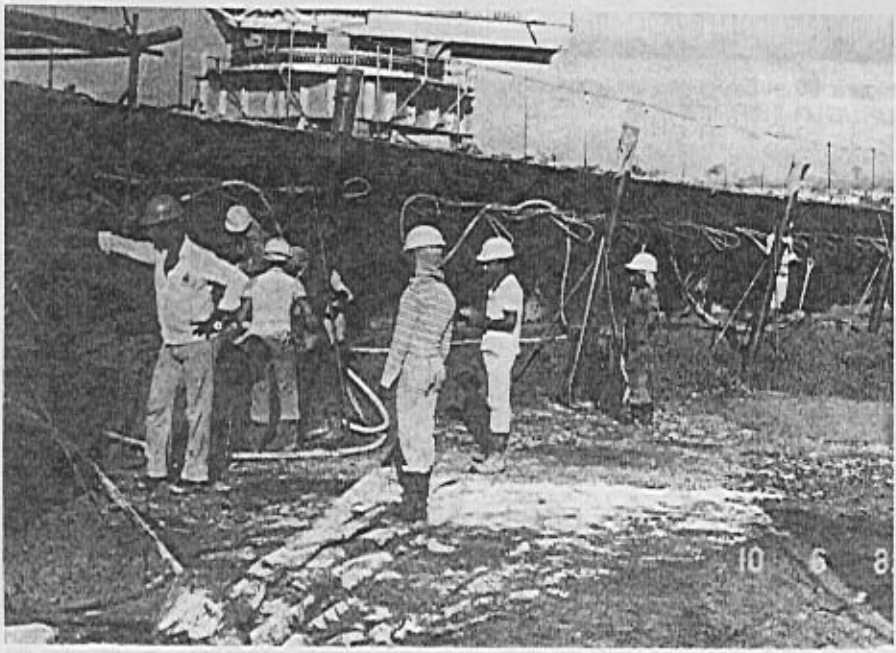


Figura 70 – Moldes de drenos na execução de concretagens com CCR em Tucuruí – Brasil.

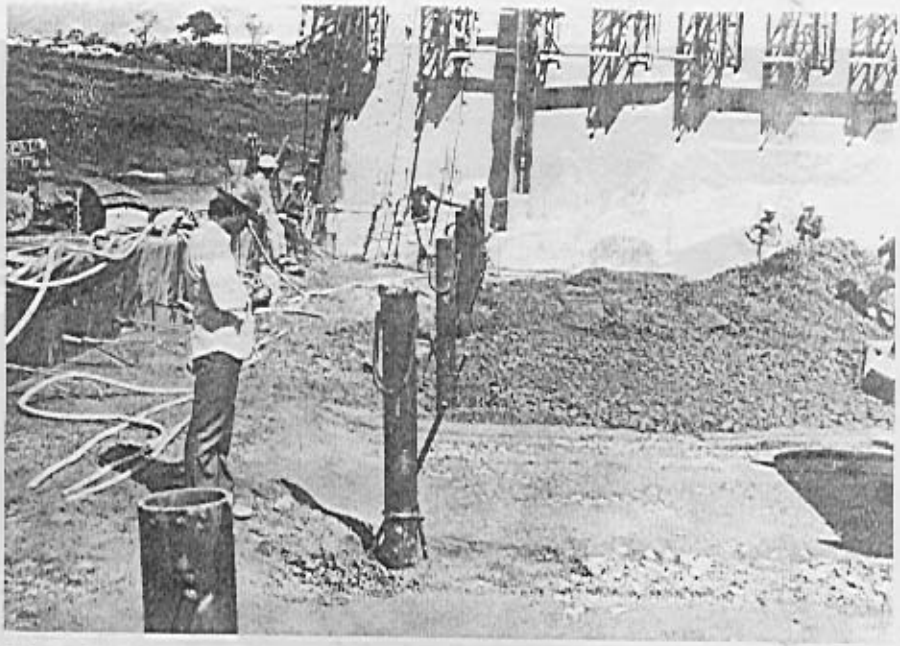


Figura 71 – Moldagem dos drenos juntamente com a execução do CCR – TUCURUI – BRASIL.

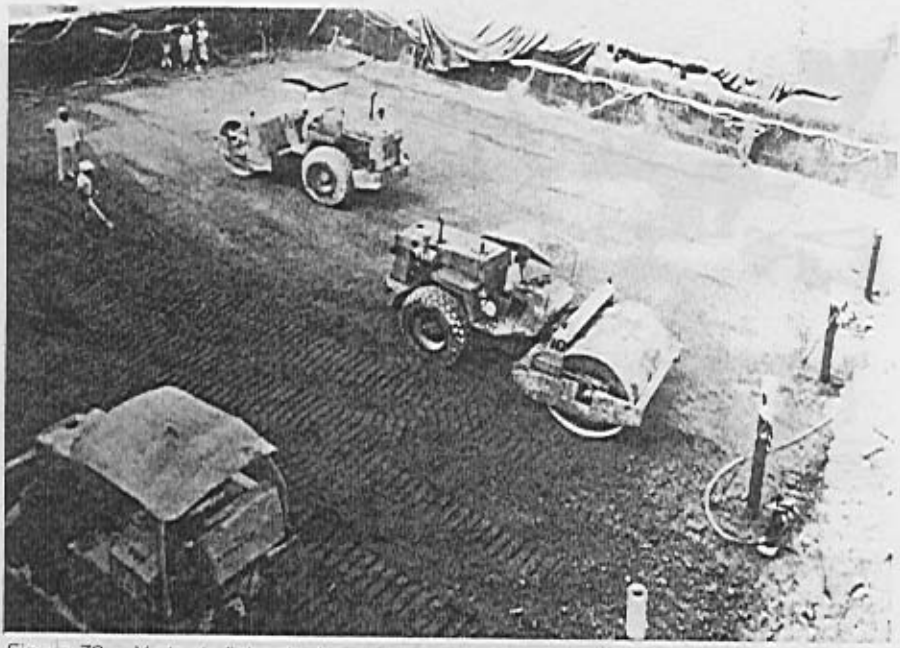


Figura 72 – Vista da linha de drenos na transição entre concreto de face e o Concreto Rolado, no paramento hidráulico – TUCURUÍ – BRASIL.

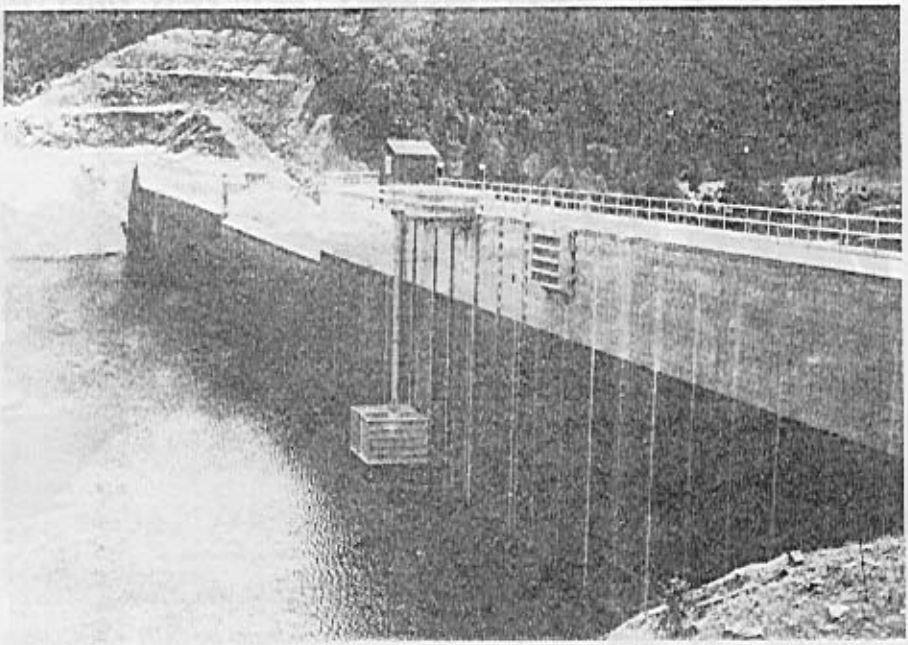


Figura 73 – Membrana elastomérica, aplicada em GALESVILLE – U.S.A.

Figura 74 – Membrana de elastómero aplicada no pré-moldado, de face de montante, URUGUA-I, ARGENTINA.

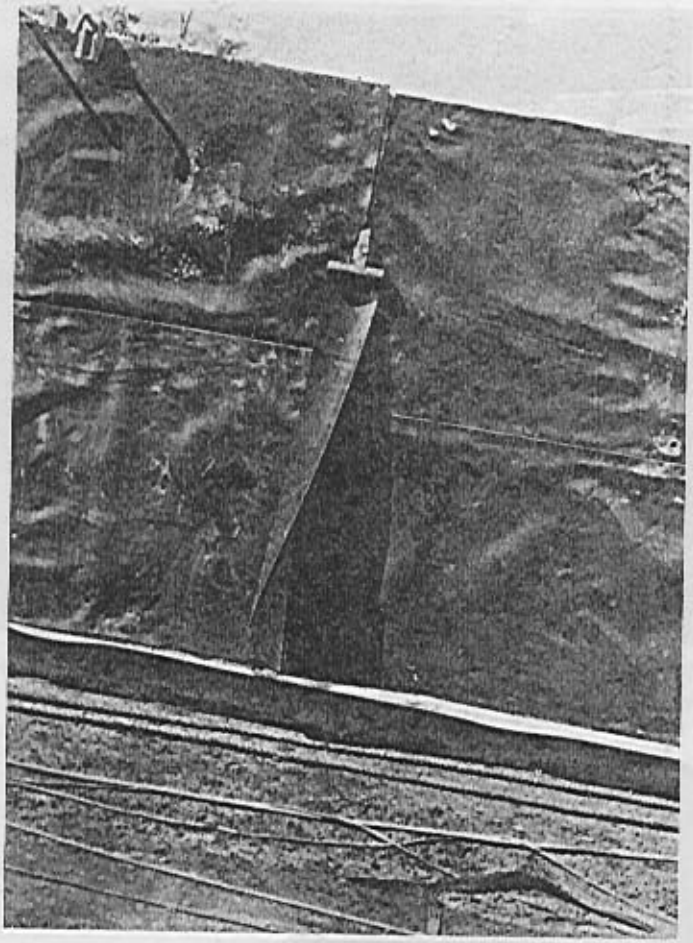


Figura 75 – Execução de emenda da mebrana elastomérica Barragem URUGUA-I, ARGENTINA.

Figura 76 - Execução do paramento impermeável com concreto convencional SHIMAJIGAWA – JAPÃO.

Figura 77 - Adensamento do concreto convencional, à montante - SHIMAJIGAWA – JAPÃO.

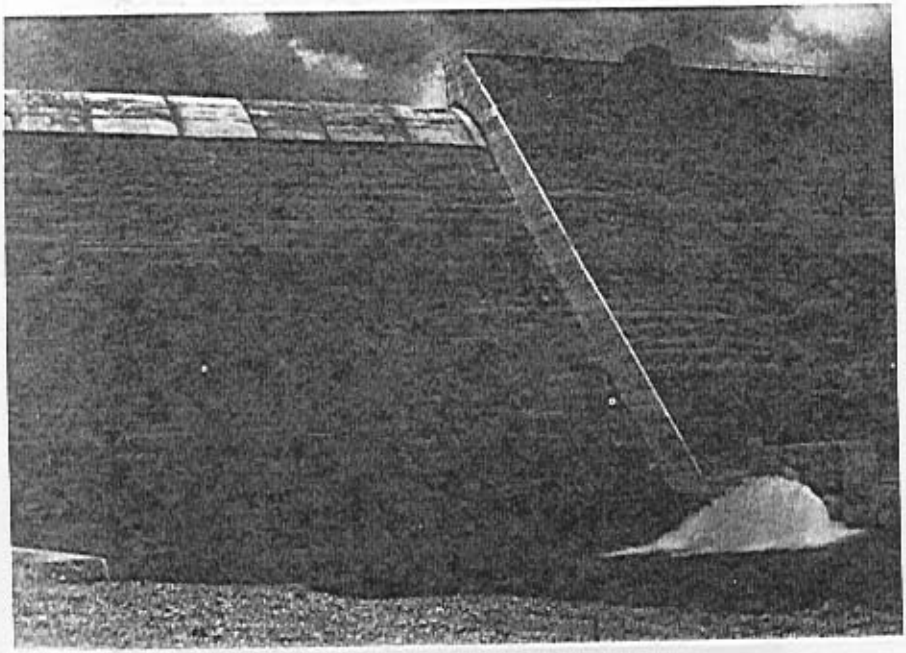


Figura 78 – Aspecto do paramento de jusante, mostrando a percolação ocorrida por montante – GALESVILLE – E.U.A.

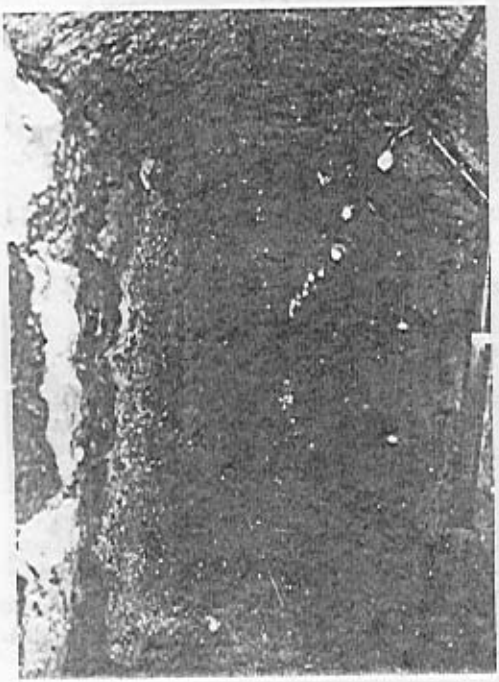


Figura 79 – Aspecto da entrada de água por uma fissura desde o paramento de montante, até a galeria, em GALESVILLE – EUA.

4.9. Galerias e Drenagem

O propósito das galerias no CCR é o mesmo que em barragens de concreto convencional: acesso ao interior da barragem para inspeção, injeções, drenagem da fundação, localização de terminais de instrumentação e acesso para equipamentos. Usualmente é considerada drenagem interna para interceptar qualquer infiltração de água que penetre no interior da massa. Os benefícios da drenagem interna são: canalizar a água para uma galeria ou outro ponto de coleta ao invés de permitir que ela apareça como uma surgência no paramento jusante, reduzir a sub pressão próxima ao paramento montante e aumentar a durabilidade de estrutura, ao reduzir a percolação de água pela massa de concreto.

Em barragens de CCR, tem sido adotadas como soluções para drenagens:

- drenos verticais perfurados, conectados a galerias, similar ao conceito adotado em barragens de concreto connvencional;
- tubos de drenagem instalados nas superfícies das camadas, dirigidos a pontos de coleta;
- dreno em meia cana nas superfícies das camadas;
- linhas de drenagem, porosas;
- drenos de material granular, de graduação adequada, lançados conjuntamente com o CCR.

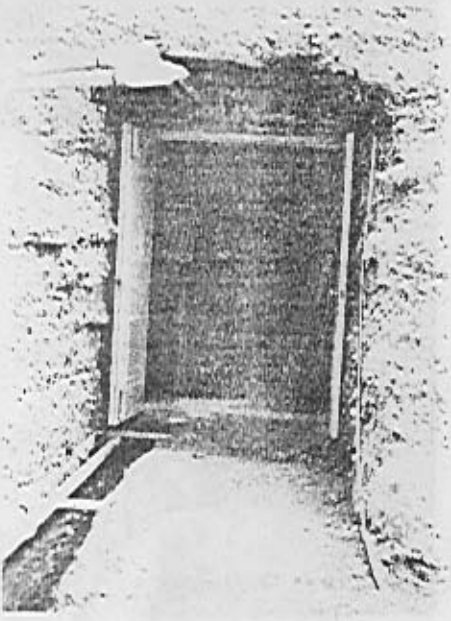


Figura 80 – Portal de entrada da galeria de GALESVILLE – EUA.

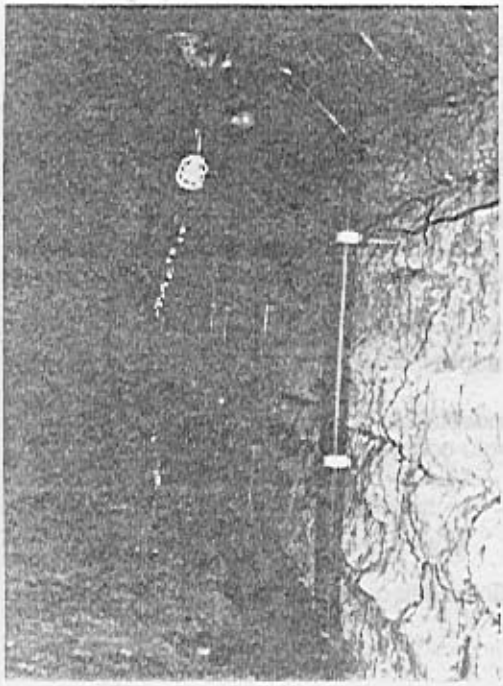


Figura 81 – Galeria de GALESVILLE – EUA.

Figura 82 – Aspecto da face da uma galeria, executada no maciço de RCC, sem forma – GALESVILLE – EUA.

Figura 83 – Moldagem de galeria, em URUGUA-I, ARGENTINA.

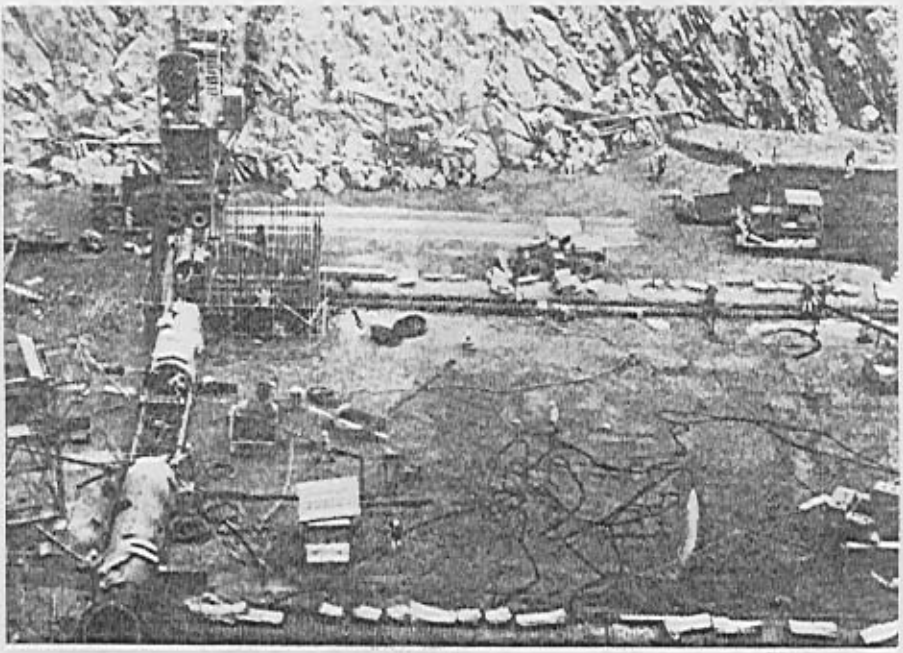


Figura 84 – Execução de galeria, no RCC, com forma – SHIMAJIGAWA – JAPÃO.

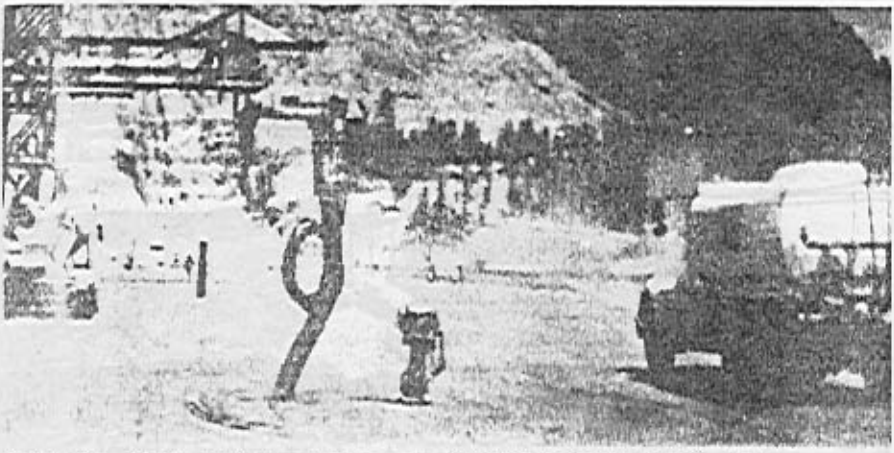


Figura 85 – Molde de dreno, na Barragem de UPPER STILLWATER – EUA.

4.10. Superfícies Vertentes

Uma grande parte das barragens de CCR, construídas, até hoje, possuem verterdouro na forma de um perfil tipo Creager, sem comportas de controle, ou seja, soleira livre vertente. Para pequenas vazões específicas, duas soluções inovadoras tem sido usadas: soleira em degraus (30 a 60 cm de altura), de concreto convencional, destinados a dissipar parte da energia do fluxo e aumentar a resistência à erosão, como é o caso de Upper Stillwater, Middle Fork e Monksville; crista da soleira com concreto projetado e o restante da superfície de CCR, sem uso de formas, como é o caso de Willow Creek e Galesville.

Figura 86 – Aspecto de soleira do perfil CREAGER – em concreto projetado, acabado, sobre o Concreto Rolado – WILLOW CREEK – E.U.A.

Figura 86A – Aspecto do vertedouro com soleira em concreto projetado e calha em Concreto Rolado – GALESVILLE – EUA.

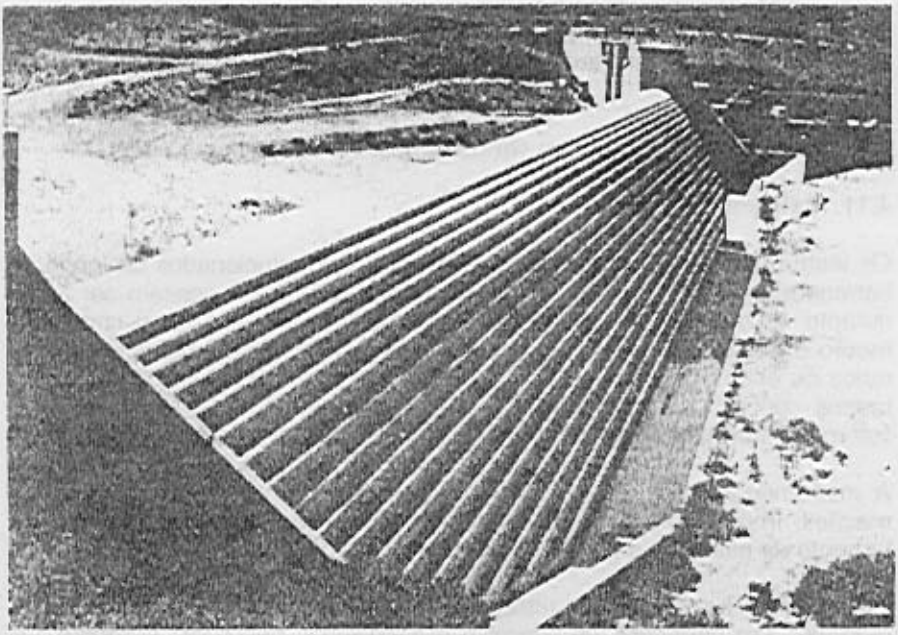


Figura 87 – Vertedouro da barragem de MIST KRAAL – ÁFRICA DO SUL – moldada em degraus, em concreto convencional.

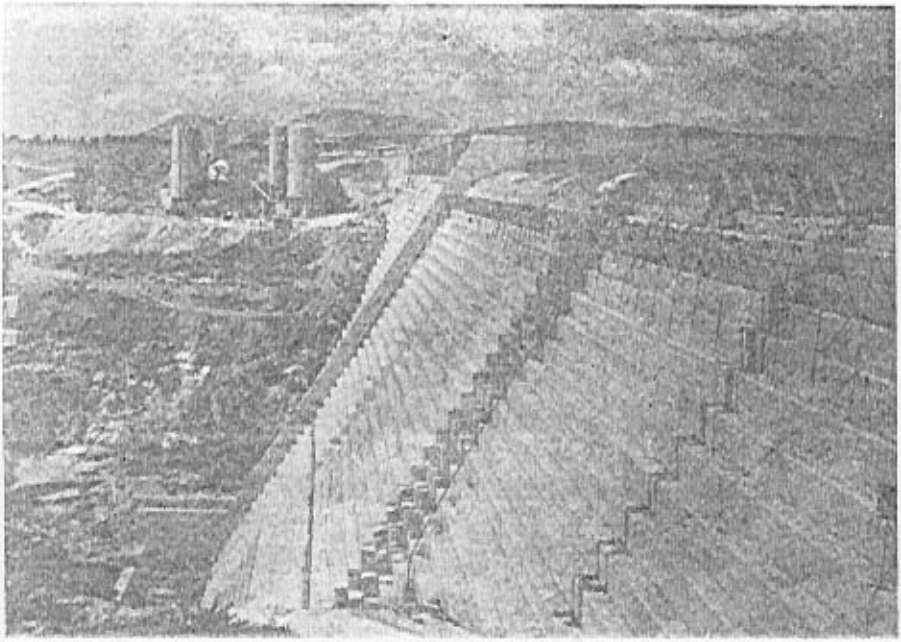


Figura 88 – Vertedouro da barragem de ZAAIOHEK na ÁFRICA DO SUL, moldado em degraus.

Diversas barragens e CCR, tais como Tamagawa, Shimajigawa, Cooperfield e Winchester utilizaram concreto convencional na face da soleira do vertedouro.

As estruturas em CCR, podem ser galgáveis, como se citou no item 3.1.

4.11. Instrumentação

Os instrumentos devem ser instalados em locais selecionados ao longo da barragem e/ou da fundação, de modo que as medições possam ser feitas durante a construção e subseqüente operação, para verificar o comportamento da estrutura. A coleta de informações destina-se, a verificar a segurança da estrutura e ao uso dessas informações em projetos de futuras barragens de CCR. A instrumentação em estruturas de CCR tornou-se cada vez mais importante para o uso do CCR em barragens maiores e mais altas.

A instrumentação deve ser a mínima necessária, e tal que forneça informações, imediatamente após instalação e a longo prazo, sobre o comportamento da estrutura e da fundação.

Os instrumentos embutidos utilizáveis em CCR são similares àqueles empregados em barragens de concreto convencional, tais como termômetros, extensômetros, medidores de pressão intersticial, piezômetros, extensômetros de hastes, etc.

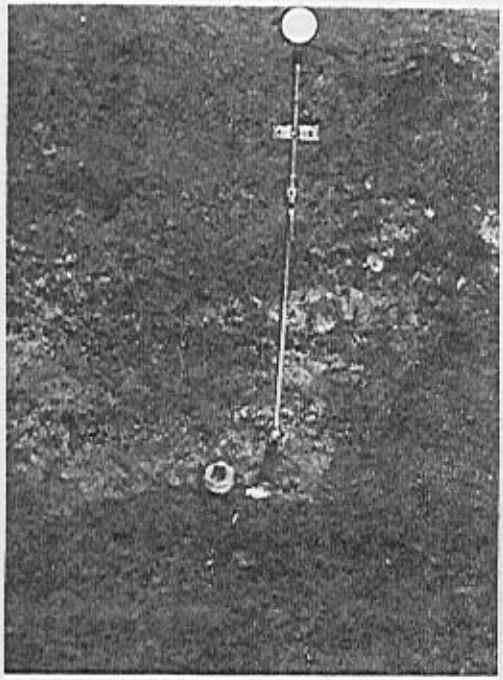


Figura 89 – Piezômetro existente na Barragem de GALESVILLE – EUA.

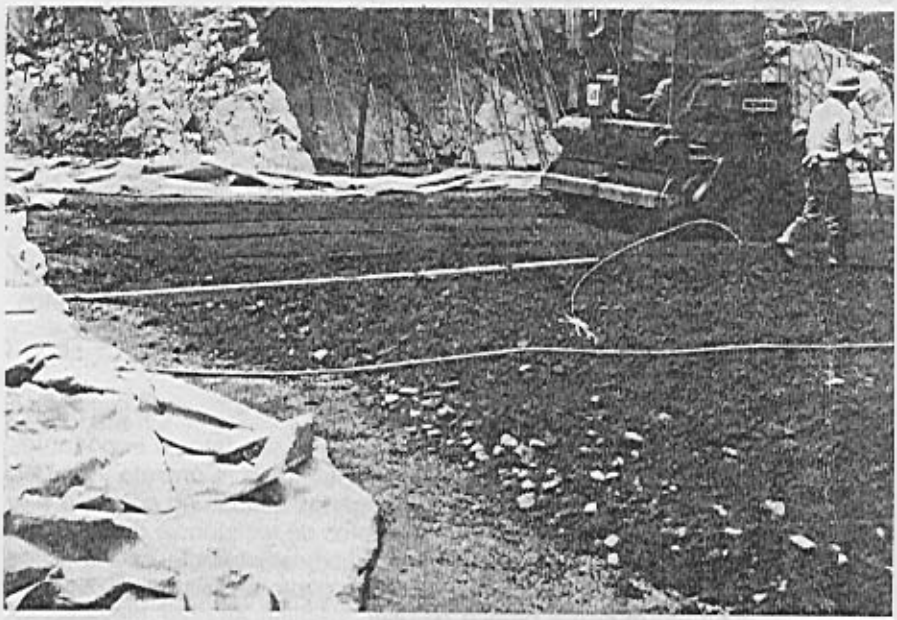


Figura 90 – Sarrafo aplicado junto ao Concreto Rolado, para a formação de sulco, destinado ao posicionamento da cablagem de instrumentação – SAKAIGAWA – JAPÃO.

5.1. Generalidades

O "Concreto Rolado" é um concreto de consistência seca que é adensado por vibração externa através do uso de rolos vibratórios. Difere do concreto convencional, principalmente no que se refere à trabalhabilidade e consistência. Para a sua efetiva consolidação o "Concreto Rolado" deve ser suficientemente "seco" para suportar o peso do equipamento de adensamento, mas convenientemente úmido para permitir a adequada distribuição da pasta ligante na massa de concreto durante as operações de mistura e compactação. Os requisitos de consistência têm uma influência direta no proporcionamento da mistura.

O "Concreto Rolado" adequado para a compactação com rolos vibratórios difere significativamente no aspecto, em seu estado ainda não adensado, do concreto convencional que possui um valor mensurável de trabalhabilidade. A evidência da pasta, na mistura do "Concreto Rolado" não adensado, é pequena, sendo que o teor de pasta só é notado na mistura compactada. Qualquer mistura ganular desse tipo, pode ser compactada até a máxima massa específica sob determinada vibração. A massa específica máxima de uma certa mistura, depende do teor de vazios e do teór de argamassa usado.

A diferença de teores de água entre o "Concreto Rolado" e o concreto convencional é decorrente da diferença básica entre os dois tipos de concretos, devido à energia de compactação necessária para cada tipo.

5.2. Agregados

A escolha e controle granulométrico dos agregados são fatores importantes que influenciam na qualidade e nas propriedades do "Concreto Rolado". Embora, os requisitos de qualidade dos agregados usados no concreto não sejam diretamente influenciados pelos requisitos de resistência do concreto, as variações dos agregados podem afetar significativamente os teores de água e aglomerante da mistura e conseqüentemente a resistência. Nas estruturas de concreto massa a prática de usar, irrealisticamente, elevadas resistências, aumenta desnecessariamente o custo da obra e é o contribuinte principal para os problemas de fissuração decorrentes do calor de hidratação do aglomerante.

Algumas substâncias, tais como as partículas mais finas que a malha nº 200, certos materiais friáveis que em quantidades acima dos limites especificados (pelas especificações usualmente adotadas) afetam o teor de água requerida (e então a resistência) do concreto plástico convencional, podem não ser prejudiciais para misturas secas como o "Concreto Rolado". Entretanto, não devem ser incluídas, nessa tolerância, materiais e/ou minerais que venham propiciar expansões ou reações incontroláveis.

Para várias barragens, os requisitos de resistência (39) podem ser razoavelmente baixos, de tal ordem a poder tolerar o aumento de eventuais quantidades de materiais deletérios, como citado anteriormente.

Materiais mais finos que a peneira de malha nº 200 (75μm), em quantidades mais elevadas que o normal (39), podem reduzir o teor de pasta necessário para uma determinada energia de compactação.

Ensaios executados (41) (42) (43) (44) bem como várias especificações e recomendações atuais (45) (46) (47) (48) permitem para o "Concreto Rolado" teores entre 5% a 15% de material passando na peneira de malha nº 100 (150 μm) e de 1% a 10% de material passando na peneira de malha nº 200 (75 μm), levando e consideração a plasticidade dos finos.

As especificações usuais para os concretos massa toleram o material passante na peneira de malha nº 100 (150 μm) entre 2% e 10%. Entretanto, os estudos já demonstraram que no "Concreto Rolado" os teores permitidos possibilitam obter melhores propriedades, sendo que essa fração atua como um "Filler". Dessa forma pode-se utilizar uma fração de material do agregado que para o concreto massa convencional seria eliminada. Há dessa forma possibilidade de simplificação e redução de custo do sistema de beneficiamento do agregado.

Essa solução foi adotada na obra da Barragem de Urugua-i (Argentina) (49) (50), onde o agregado obtido a partir da britagem de rocha basáltica, continha o "pó de pedra" produzido pela britagem, aproveitado como "Filler". Nessa situação não se utilizou a lavagem dos agregados.

Outra situação observada é a utilização de agregados, na totalidade – graúdos e miúdos – obtidos pela britagem, na obra de Sakaigawa – Japão. Nessa obra se utilizou de areia artificial britada, e agregados graúdos britados, não se utilizando de areia natural.

A água utilizada para a produção, por moagem, da areia artificial, sofria uma sedimentação forçada, e os finos, voltavam para aproveitamento como "Filler".

A granulometria normalmente adotada para o Concreto Rolado, segue uma curva do tipo

$P = 100\% \times \sqrt[3]{\frac{d}{\phi}}$ sendo (51) (52).

p = porcentagem passante
d = tamanho da abertura da peneira (mm)
Ø = tamanho máximo do agregado (mm),
e que se mostra na FIGURA 91.

Há a necessidade de ajuste para os pontos extremos.

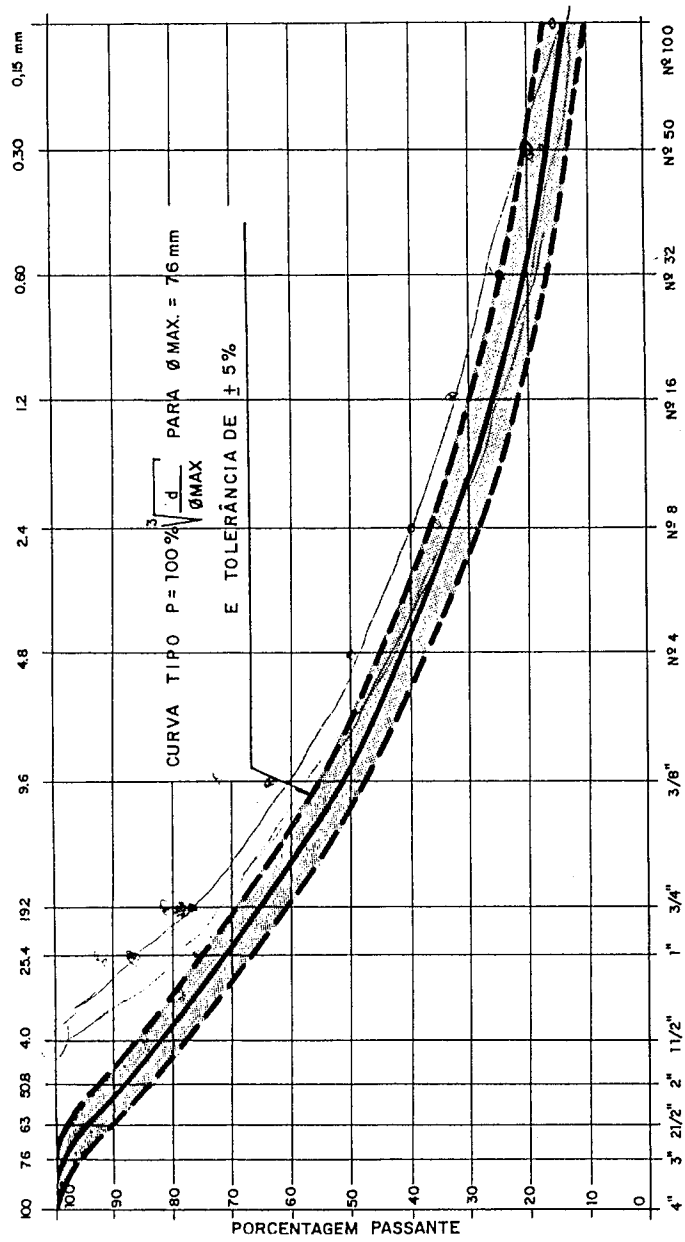


Figura 91 – Curva tipo para a composição dos agregados (graúdos e miúdos), para Ø máx. 76 mm, de uso em Concreto Rolado.

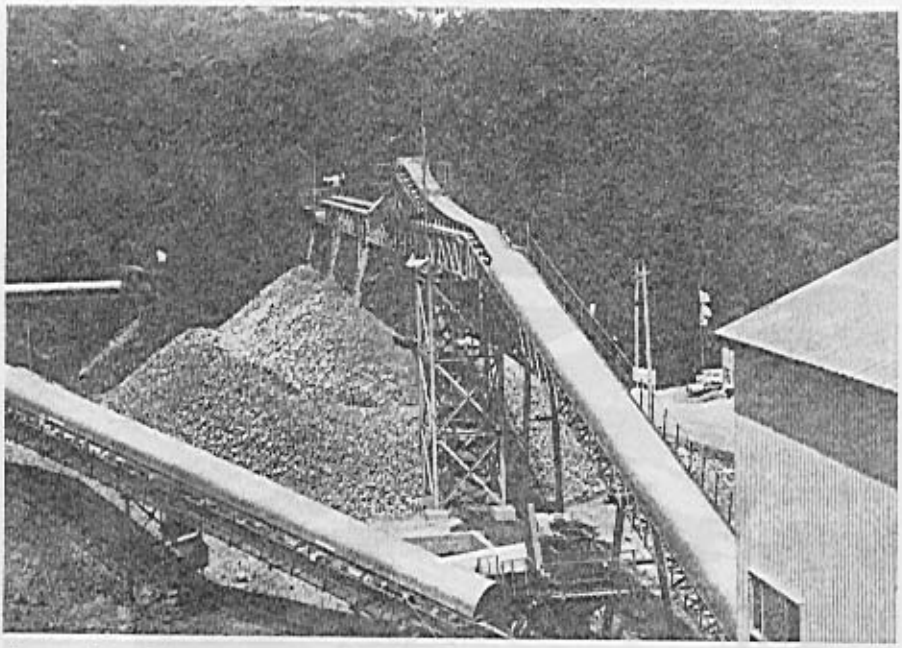


Figura 92 – Britador primário, esteiras para o pulmão (centro) e para o secundário (esquerda) – SAKAIGAWA – JAPÃO.

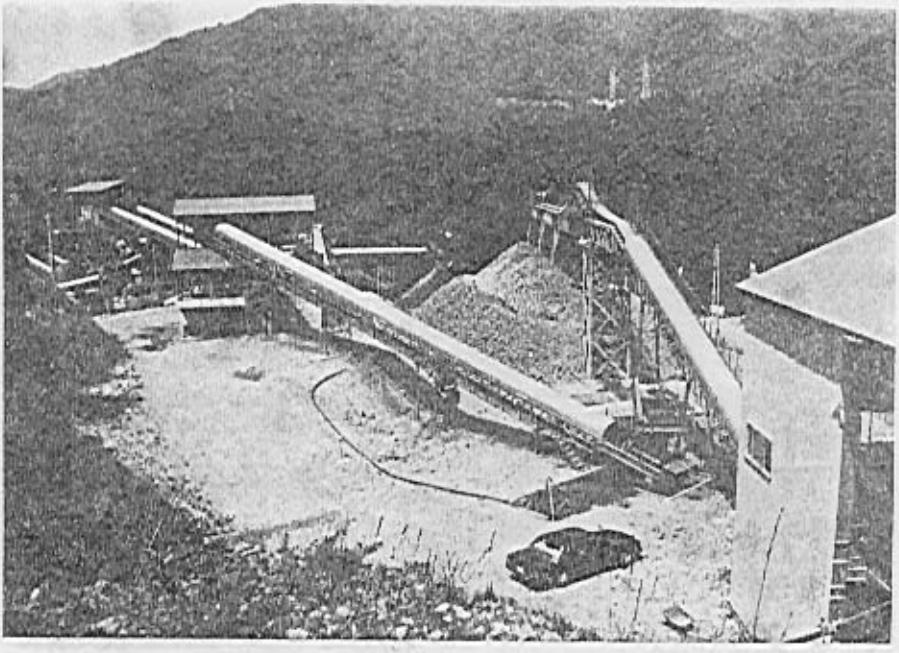


Figura 93 – Britadores secundário, terciário – SAKAIGAWA – JAPÃO.

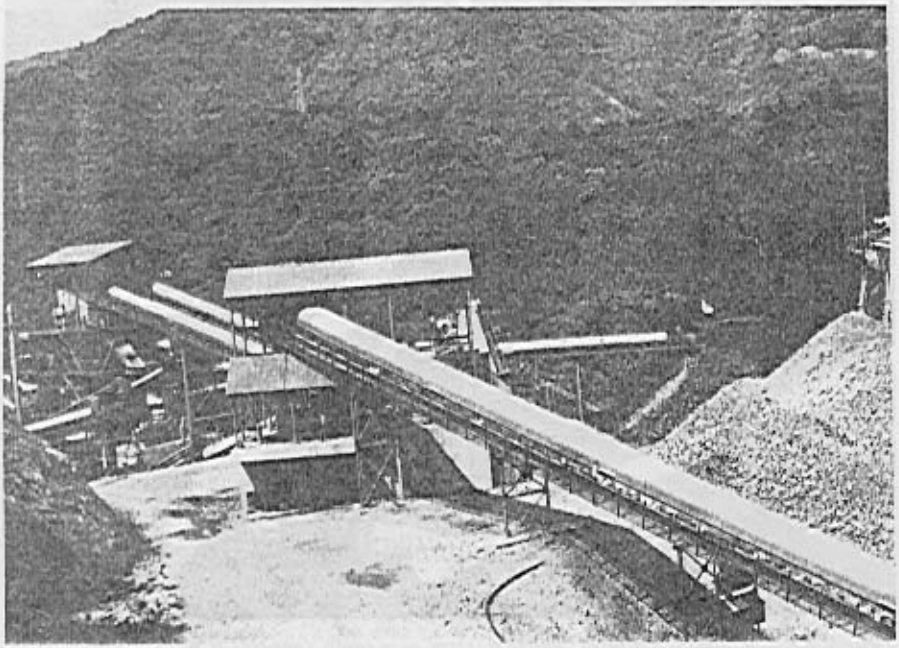


Figura 94 – Britadores secundário, terciário e peneiras de classificação – SAKAIGAWA – JAPÃO.

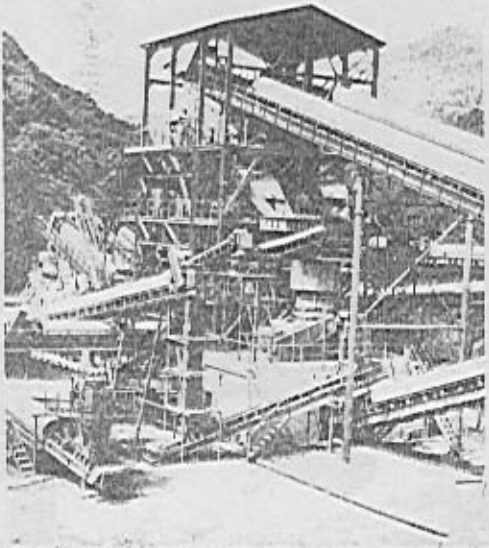


Figura 95 – Peneiras de classificação e britador terciário (cônico) – SAKAIGAWA – JAPÃO.

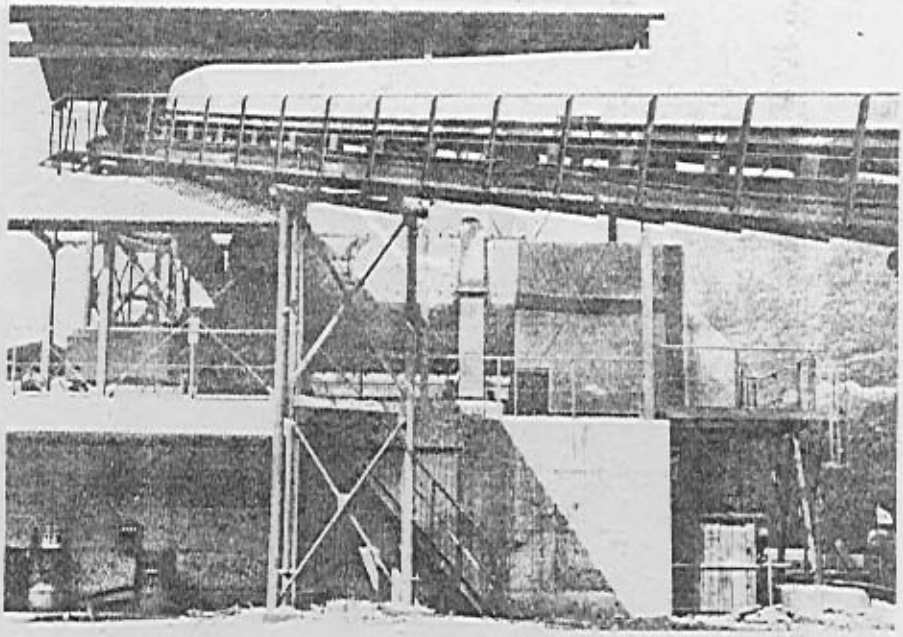


Figura 96 – Moinho para produção de finos – SAKAIGAWA – JAPÃO.

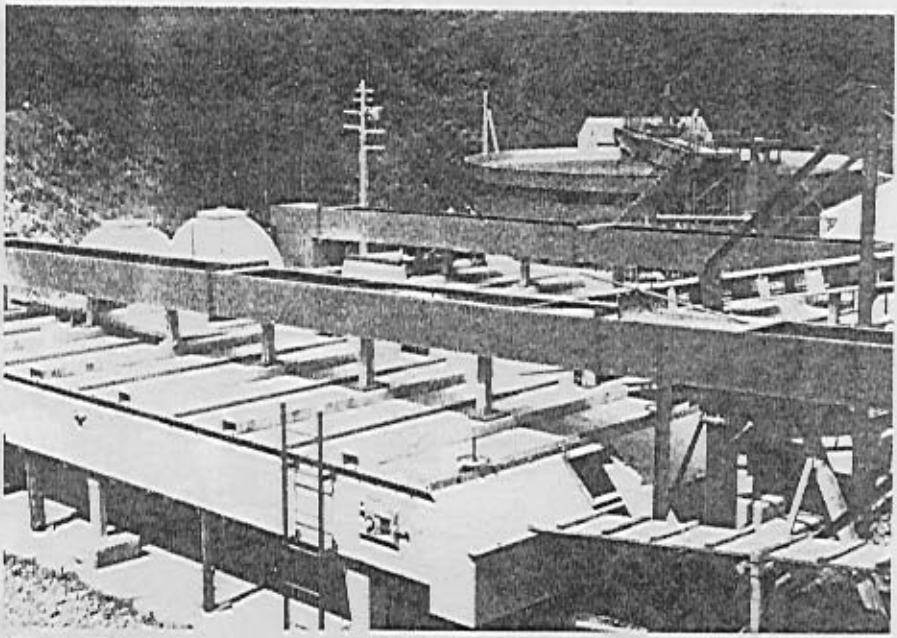


Figura 97 – Sedimentador (forçado) para extração de finos lavados, e tanque de recuperação de água – SAKAIGAWA – JAPÃO.

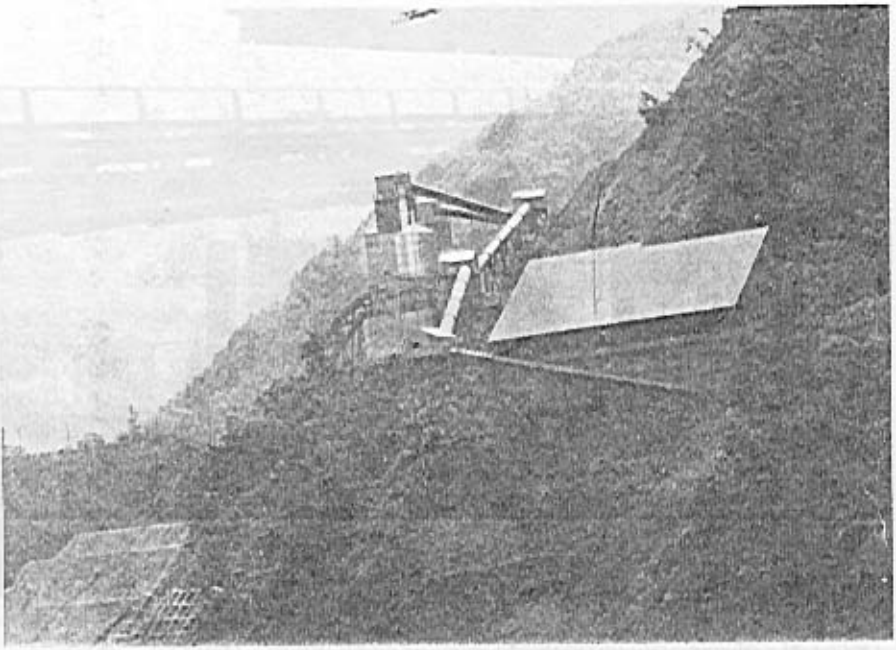


Figura 98 – Estoques (abrigados) dos agregados, e correia de alimentação da central de concreto – SAKAIGAWA – JAPÃO.

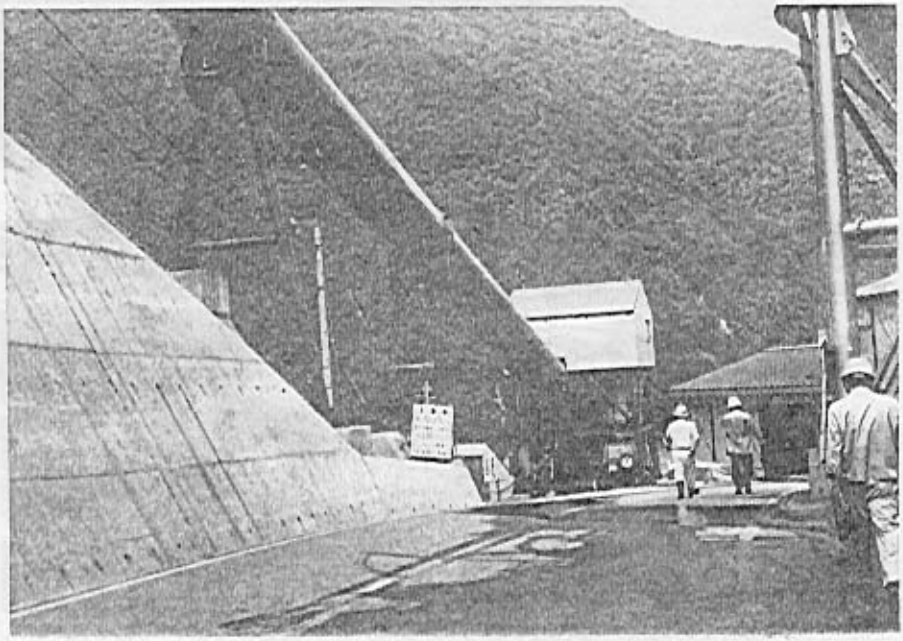


Figura 99 – Correia (abrigada) de alimentação de agregados, desde o estoque até a central de concreto – SAKAIGAWA – JAPÃO.

Nas construções em concreto massa o controle do calor de hidratação deve ter maior importância (39) que o custo para determinação do tamanho máximo do agregado. Dessa forma, e sabendo-se que o aumento do tamanho máximo do agregado proporciona (53) (54) uma redução do teor de aglomerante, é recomendável usar agregado graúdo de maior dimensão prática possível. Na construção da barragem de Tamagawa – Japão utilizou-se "Concreto Rolado" com agregado de tamanho máximo de 150 mm (45).

Agregados para CCR devem ser avaliados quanto a qualidade e graduação. As experiências executadas indicam que podem ser obtidos a partir de origens as mais variadas e não precisam, obrigatoriamente, obedecer as curvas granulométricas e requisitos de qualidade usuais para concreto massa convencional. No entanto, sua escolha e controle granulométrico são fatores importantes que influenciam na qualidade e nas propriedades do CCR. Embora os reqisitos de qualidade dos agregados usados no concreto não sejam diretamente influenciados pelos requisitos de resistência do concreto, as variações dos agregados podem afetar significativamente os teores de água e aglomerante da mistura e conseqüentemente, a resistência do concreto. Do ponto de vista da distribuição granulométrica para CCR, três pontos merecem atenção: a escolha do diâmetro máximo, o teor aceitável de pulverulentos no agregado e a adição de "finos".

As limitações quanto ao diâmetro máximo não dependem, geralmente, dos equipamentos de compactação pois há rolos vibratórios capazes de compactar camadas de até 60 cm em barragens de enrocamento. No caso de CCR com agregados britados o uso de diâmetros máximos superiores a 76mm não tem por enquanto, exceto o exemplo de Tamangawa, vantagens suficientes para contrabalançar os custos adicionais de mistura, manuseio e prevenção da segregação. Há a tendência, para agregados maiores de 38mm, de segregar, quando do lançamento. Embora a diferença no consumo de cimento, quando o diâmetro máximo passa de 38mm para 76mm, seja menor no CCR que no concreto massa convencional, ainda pode haver uma economia de cerca de 15% ao se usar os diâmetros maiores. Entretanto, quando da definição do diâmetro máximo, deve ser verificado o custo de equipamentos adicionais ou de adaptações aos equipamentos de transporte e lançamento a serem utilizados no sentido de reduzir eventual segregação.

A FIGURA 35 cita os tamanhos máximos utilizados nas obras onde se empregou CCR.

Quanto a separação de frações para uso, sua definição é função da distribuição granulométrica de material nas jazidas, das necessidades do CCR e do concreto massa convencional, porventura existente, do planejamento do canteiro, dos custos das diversas opções, etc. Deve ser considerada, entretanto, que a homogeneidade do CCR (e portanto seu desempenho) está ligada, basicamente, a uniformidade dos agregados e principalmente a sua granulometria. A adoção de frações separadas ou de material "corrido", do ponto de vista técnico, produz o mesmo resultado teórico final, porém quanto ao controle a ser exercido, deverá ser mais rígido e freqüente no segundo

caso. Ambos os procedimentos já foram adotados, com sucesso, em obras de CCR.

A FIGURA 100 apresenta um esquema simplificado, para a produção de concretos rolado e convencional com Ø max 76mm.

5.3. Aglomerantes

O "Concreto Rolado" pode ser dosado com qualquer tipo de cimento, e material pozolânico, que atenda os requisitos para uso no concreto convencional. A escolha do tipo de cimento é feita com base nos requisitos estruturais e de durabilidade e não pelo método usado para lançamento e compactação do concreto. Embora as especificações padrões sobre pozolana, devam ser usadas para julgar a adequabilidade e selecionar o tipo de material pozolânico, a escolha final do tipo e do teor de material pozolânico deve ser feita com base no desempenho requerido para o concreto da obra, determinado através de ensaios. A principal diferença na escolha e proporcionamento de cimento e material pozolânico usado no "Concreto Rolado", em comparação com os concretos convencionais é referente a possibilidade de usar altos teores de material pozolânico e a reduzida ênfase sobre o efeito do material pozolânico na trabalhabilidade.

No proporcionamento de misturas para um mínimo teor de pasta, uma das principais funções do material pozolânico, ou da adição de finos, é o preenchimento dos vazios que de outra forma poderiam ser ocupados pelo cimento ou pela água. Seria a atuação do material pozolânico como um "Filler".

A escolha, entretanto, da quantidade do material pozolânico deve, além de se fundamentar nas características técnicas, ser feita com base nas vantagens econômicas considerando a atividade pozolânica com o cimento e os custos, decorrentes de transporte e manuseio. Embora, outros países venham usando largas porcentagens de material pozolânico em reposição à parte do cimento, para os concretos, massa convencional, e "Rolado", no Brasil, até o momento – 1988 – os materiais pozolânicos disponíveis não tem apresentado vantagens que possibilitem o uso de percentuais de reposição (em volume sólido) à parte de cimento, superiores à 15% ou eventualmente 30%. Estudos executados em Itaipu (55) (56) e Tucuruí (57) confirmam essa impossibilidade, até o presente momento (outubro-1988). Entretanto, a possibilidade de uso de grandes percentuais de material pozolânico não deve ser descartada, como também não deve ser desprezada a viabilidade de uso de materiais do tipo Micro-Sílica (materiais de elevada finura).

5.4. Aditivos

O uso de aditivos para controlar o tempo de pega, melhorar a trabalhabilidade e aumentar a durabilidade, é uma prática conhecida e adotada para o concreto convencional.

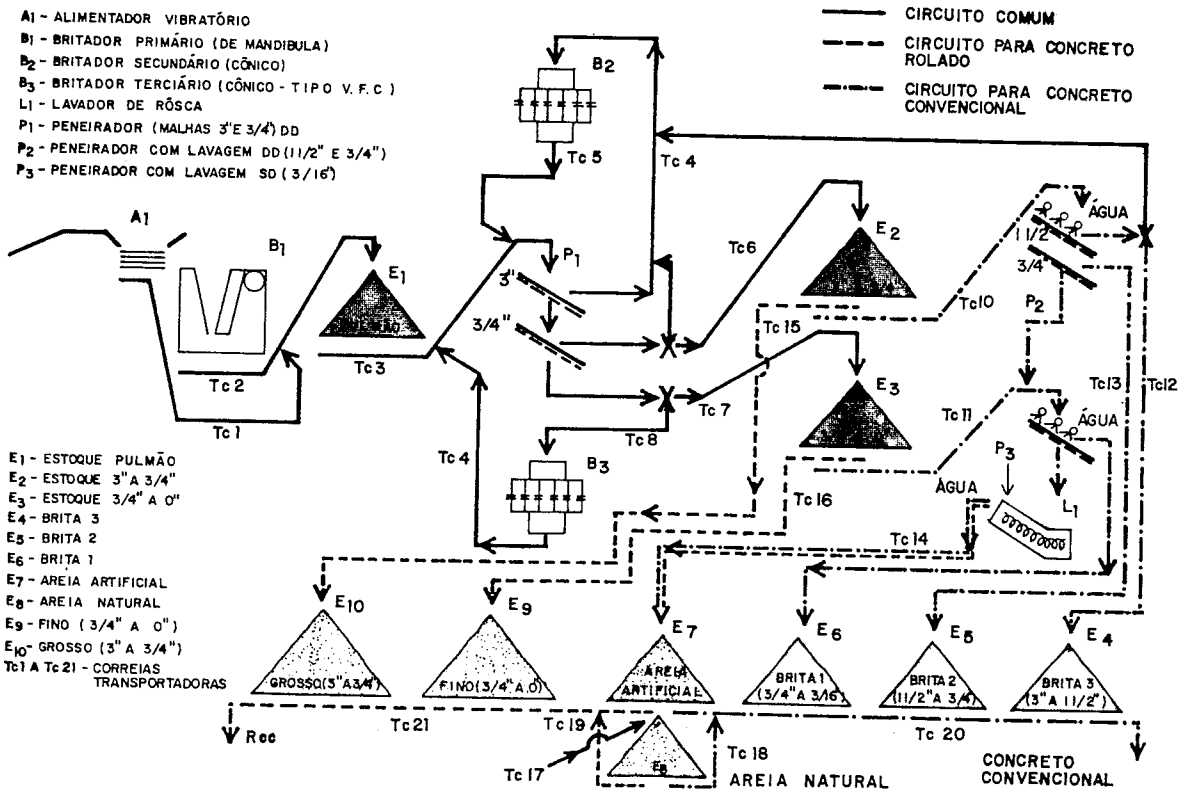


Figura 100 – Esquema simplificado para produção de agregados.

Os estudos executados (26) (27) (28) (37) (38) (39) (40) (42) (45) até o momento com "Concreto Rolado" não têm mostrado benefícios com a utilização de aditivos para incorporação de ar, mesmo na redução do teor de água. Por outro lado, tem sido observado que os aditivos retardadores de pega auxiliam sobremaneira o controle do tempo de pega do "Concreto Rolado", minimizando a possibilidade de ocorrência de juntas frias, facilitando, então, as condições de colocação do "Concreto Rolado".

Os aditivos passam a ser mais efetivos à medida quue contêm quantidades maiores de aglomerantes.

5.5. Água

A água a ser utilizada no "Concreto Rolado" não exige requisitos diferentes da água normalmente utilizada nos concretos convencionais, massa e estrutural.

5.6. Composição da Mistura

A rotina normalmente adotada para o proporcionamento de concretos convencionais, utiliza como parâmetros fundamental a trabalhabilidade, medida pelo tronco de cone, e desta maneira não se adequa para a dosagem do "Concreto Rolado", visto o baixo teor de água deste tipo de concreto.

O CCR difere do concreto convencional pelo fato de que possui uma consistência que lhe permite suportar um rolo vibratório com uma graduação e um conteúdo de pasta adequados para compactação, pelo rolo ou por outros meios externos. O objetivo da dosagem do CCR é o de se obter um material que seja compactável, estável, e que atinja os requisitos de resistência e durabilidade necessários para a obra. Por essa razão tanto os materiais quanto os métodos de dosagem, para o CCR, tem variado de acordo com as necessidades do projeto: desde agregado tipo brita corrida, com um mínimo de processamento, e baixo consumo de aglomerantes até agregados totalmente proccessados, com consumo de aglomerantes de médios para elevados. Assim, por exemplo, na Barragem de Shimajigawa, no Japão, empregou-se agregados que obedeciam as curvas granulométricas usadas em concretos convencionais com diâmetro máximo de 76mm, e 130 kg/m^3 de aglomerantes. Na Barragem de Upper Stillwater, EUA, usou-se diâmetro máximo de 50mm e consumo de 245 kg/m^3 de aglomerantes. Já para a obra de Willow Creek, EUA, foi utilizada uma combinação de brita com silte, e um mínimo de processamento, sem lavagem. O diâmetro máximo foi de 76 mm e três estoques foram usados, sem separação para areia. Middle Fork, EUA, e Saco de Nova Olinda, BR, possuíam dois estoques primários, sem separação para areia, enquanto a Barragem de Copperfield, na Austrália, usou só um estoque, incluindo todas as dimensões de agregados.

Para acomodar os vários tipos de processamento de agregados bem como os consumos de aglomerantes, diversas filosofias de dosagem foram desenvolvidas ou adaptadas. Elas diferem, primariamente, na ênfase quanto

ao tipo de CCR, análises de laboratório, economia e simplicidade de construção.

Um dos princípios básicos da dosagem de concreto massa é obter misturas com o maior volume absoluto de agregados para o menor consumo possível de cimento de modo a atender as propriedades requeridas. Teoricamente a pasta deve recobrir todas as partículas do agregado, encher todos os vazios (exceto aqueles resultantes de ar intencionalmente incorporado) e, ao mesmo tempo, assegurar a trabalhabilidade necessária ao lançamento com a menor água unitária.

A diferença fundamental entre as misturas de CCR utilizadas nas barragens japonesas (Shimajigawa) e as medidas que visam a "otimização de agregados", como, por exemplo, Willow Creek, é o grau de recobrimento das partículas "finas", provenientes da adição de silte ou pó de pedra que, também, devem ser consideradas como pasta.

A água unitária necessária para a mistura de CCR é influenciada pelo tamanho, forma, e graduação dos agregados e pela quantidade de aglomerantes. Variações na água unitária da ordem de 5 l/m^3 são usuais, quando do controle da consistência do CCR. As misturas definidas em laboratório devem ser consideradas como ponto de partida para a produção, devendo ser ajustadas de acordo com as observações de campo.

Existem para o proporcionamento do CCR, como já evidenciado, diversas rotinas para dosagem, que, tal como para concreto convencional, visam a obtenção de misturas que atendam aos limites estabelecidos.

O método alternativo que se tem adotado (28) (38) (39) fundamenta-se no conceito de máxima densidade como descreve a rotina a seguir:

- Determina-se a composição das várias gamas granulométricas, para o menor índice de vazios.

O proporcionamento do agregado graúdo dependeda combinação dos efeitos dos vazios dos agregados, área superficial e forma das particulas (58). Normalmente o volume de vazios decresce à medida que aumenta o tamanho máximo do agregado. As composições devem ser feitas de modo a se ter o máximo tamanho de partículas.

Dependendo da quantidade de misturas a serem usadas na obra, a granulometria pode ser constituída de um menor número de gamas granulométricas, procurando reduzir a condição de manuseio dos agregados e simplificando o conjunto de instalações para produção e beneficiamento dos agregados.

- Determina-se o teor de argamassa para se obter a máxima massa específica com base no método de compactação adotado;

- Determina-se o teor de pasta (aglomerante + água) para a massa específica máxima, a partir da porcentagem ideal de argamassa;

- Estabelecem-se as adequadas relações cimento/material pozolânico e água/aglomerante (cimento equivalente) para atender às propriedades requeridas.

Com "Concreto Rolado" composto por agregado graúdo a partir de Basalto (massa específica 2,93 t/m^3) se atingiu uma massa específica de 2,57 t/m^3 (28) sendo que com agregados com massa específica ao redor de 2,7 t/m^3 obteve-se "Concreto Rolado" com massa específica ao redor de 2,5 t/m^3 (28) (38).

A dosagem pode ser feita com auxílio de equipamento de compactação portátil que apresente eficiência semelhante a dos compactadores a serem usados na obra. Dessa forma os teores de materiais são proporcionados com base nas massas específicas obtidas, após um determinado tempo de compactação, por pesagem de volume compactado.

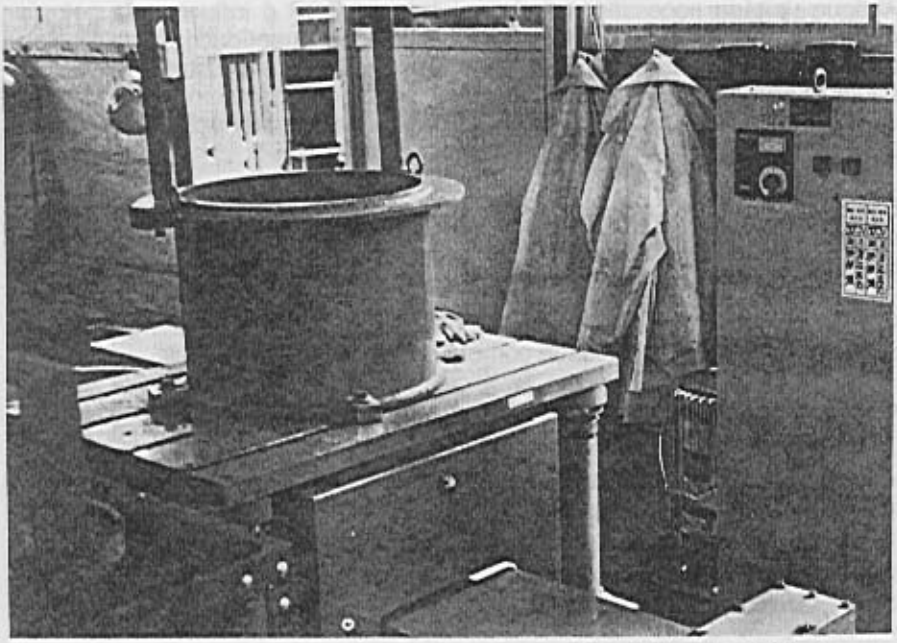


Figura 101 – Medidor de consistência para avaliação da "trabalhabilidade" do Concreto Rolado – SAKAIGAWA – JAPÃO.

Os métodos para medição da consistência (trabalhabilidade), atualmente adotados, tem-se mostrado pouco eficazes e práticos para utilização intensa no controle de mistura no campo. Dentre tais métodos destacam-se o Ensaio Vebe e o Ensaio de Cannon.

O ensaio Vebe é um método padronizado para medição da trabalhabilidade de misturas secas mas não é adequada ao emprego em concretos "pobres" de trabalhabilidade tão baixa quanto a requerida pelo CCR.

Foi desenvolvido, devido a isto, um método modificado, adaptando-se um peso sobre o disco plástico para apressar o colapso do cone de CCR inicialmente moldado. O Vebe modificado foi utilizado em estudos diversos (Lost Creek, por exemplo) e um método similar foi empregado no Japão. Na Figura 102 é apresentado o esquema do Vebe modificado.

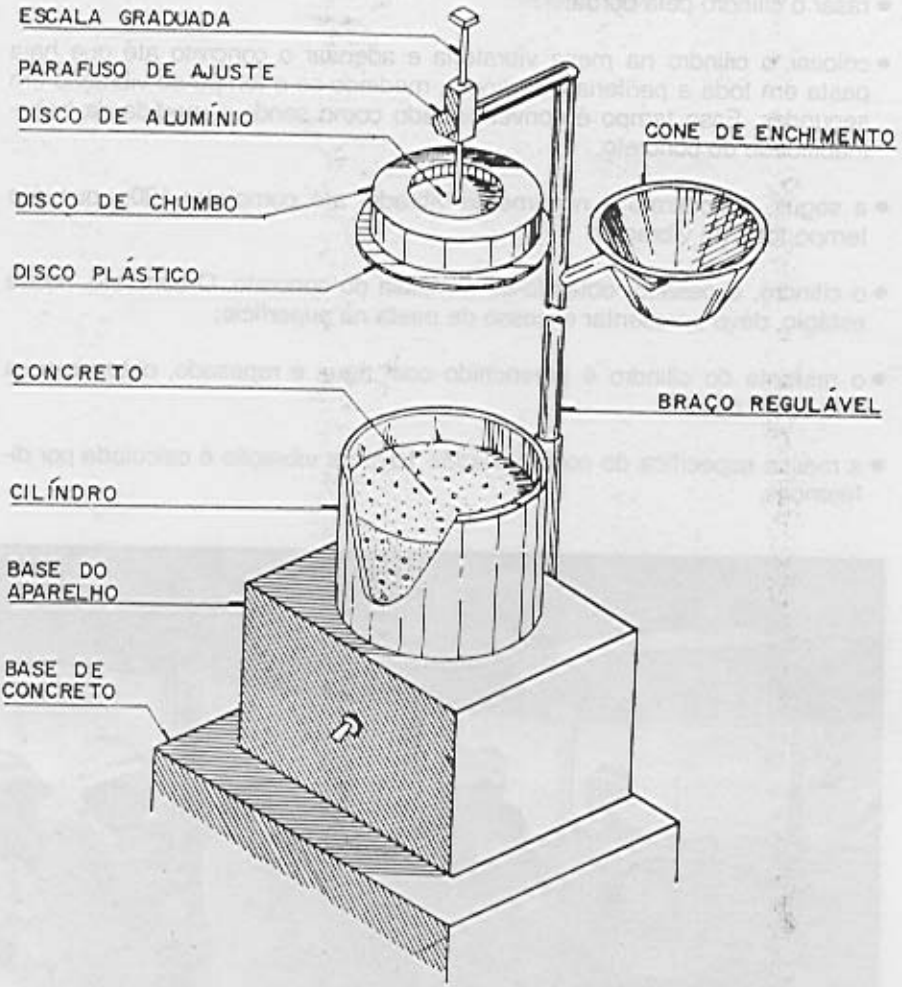


Figura 102 – Aparelho Vebe modificado para ensaios de Concreto Rolado.

Outro método, concebido por R. W. Cannon, da Tennessee Valley Authority, recebeu o nome de seu autor e foi utilizado por M. R. H. Dunstan em estudos patrocinados pela CIRIA (46). O ensaio consiste de duas partes: a verificação da compactabilidade do material e a medida da massa específica. A aparelhagem empregada consiste, apenas, na mesa vibratória e no cilindro

do Vebe, além de conchas, cronômetros, etc. O procedimento adotado é o seguinte:

- encher o cilindro com concreto até a borda, sem compactação;
- rasar o cilindro pela borda;
- colocar o cilindro na mesa vibratória e adensar o concreto até que haja pasta em toda a periferia do cilindro, medindo-se o tempo de vibração em segundos. Esse tempo é convencionado como sendo a medida da trabalhabilidade do concreto;
- a seguir, o concreto é novamente vibrado, até completar 120s, que é o tempo total de vibração;
- o cilindro, é pesado, obtendo-se a massa do concreto. O concreto, nesse estágio, deve apresentar excesso de pasta na superfície;
- o restante do cilindro é preenchido com água e repesado, obtendo-se a massa da água;
- a massa específica do concreto após 120s de vibração é calculada por diferenças.

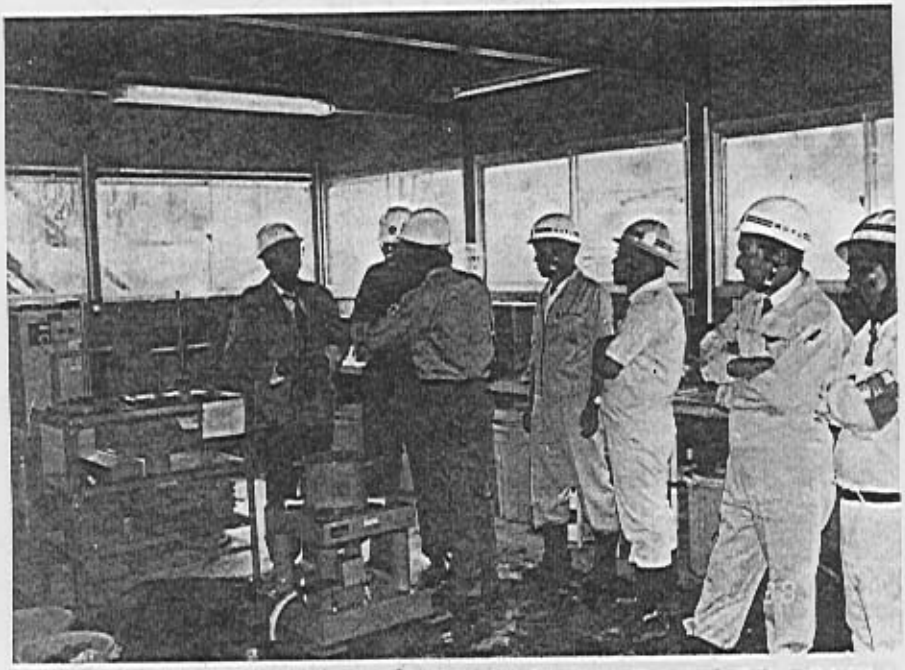


Figura 103 – Aparelho Vebe, para ensaios de Concreto Rolado – SAKAIGAWA – JAPÃO.

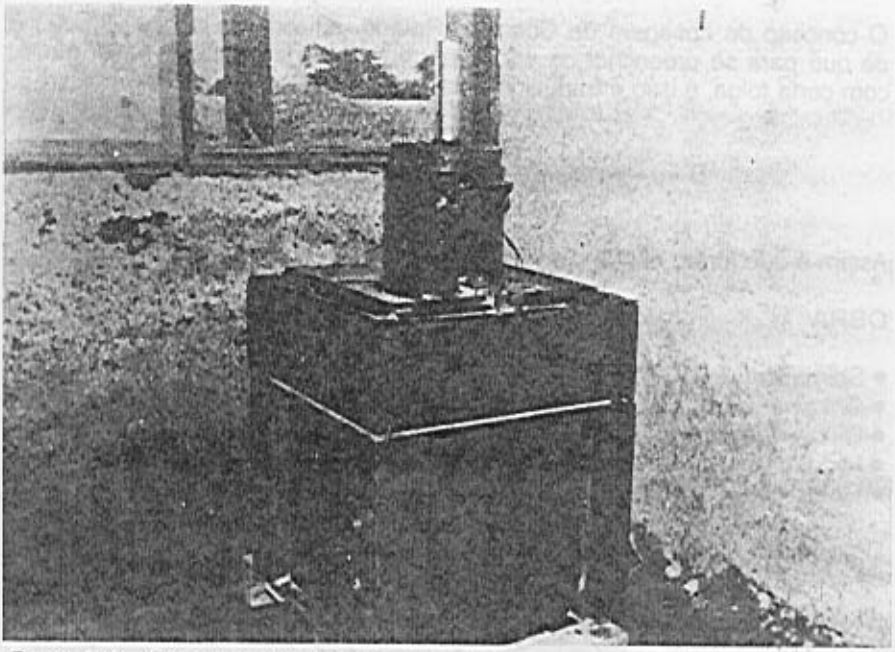


Figura 104 – Ensaio de consistência, executado com concreto rolado, usando-se um sistema vibratório (peneirador de agregados), com molde e peso – TUCURUÍ – BRASIL.

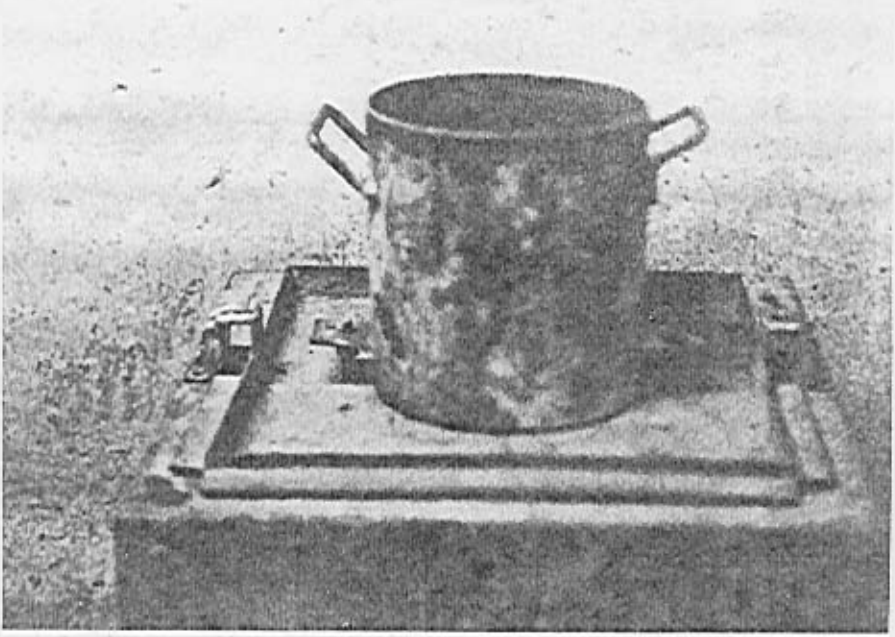


Figura 105 – Recipiente sobre (peneirador) mesa vibratória, para ensaios de consistência – TUCURUÍ – BRASIL.

O conceito de dosagem de Concreto Rolado utilizado no Japão (R.C.D.) é de que para se preencher os vazios entre os agregados, deve haver pasta, com certa folga, e isso é traduzido pela relação:

$$B = \frac{\text{volume de pasta}}{\text{volume de vazios no agregado miúdo}} \geqslant 1$$

Assim é que foram obtidos:

OBRA	B
• Shimajigawa	1,20
• Ohkawa	1,18
• Willow Creek	0,67
• Middle Fork	0,64
• Galesville	0,64

Dessa forma, pequenos valores de B (inferiores a 1,0), mostram a existência de vazios no interior do concreto, e a decorrente permeabilidade.

6.1. Generalidades

O "Concreto Rolado" tem as mesmas tendências das propriedades significativas do concreto convencional. Os valores obtidos para as diversas propriedades tem mostrado grande semelhança para os dois tipos de concreto. Algumas diferenças são imputadas em sua maior parte à diferença no proporcionamento, pois o "Concreto Rolado" possui menor teor de água que o concreto convencional, e menor teor de pasta (ao redor de 70% daquela do concreto convencional).

O que basicamente difere nos dois processos é o modo de adensamento. Caso não ocorra similitude entre CCR e o convencional as causas são devidas a a diferenças nas dosagens, granulométrica e índice de vazios. Assim como é possível projetar uma vasta gama de dosagens para o concreto convencional, de modo a fazê-lo atender a determinados requisitos, o mesmo ocorre com o CCR.

6.2. Massa Específica

A massa específica obtida para o CCR é ligeiramente superior, cerca de 1% a 3% do concreto massa convencional com os mesmos tipos de agregados. Isto ocorre devido ao menor teor de água e de pasta da mistura e da maior energia de compactação do CCR. Entretanto, caso sejam utilizados finos de menor massa específica como "Filler", ou o teor pasta seja aumentado com adiçõs de água ou de materiais pozolânicos, o aumento na massa específica do CCR pode não ocorrer.

Os valores obtidos, no Brasil, para massa específica de CCR foram de aproximadamente 2,4 t/m^3 em Tucuruí e Saco de Nova Olinda e 2,6 t/m^3 em Itaipu. Na FIGURA 35 são apresentados alguns outros valores de massa específica do "Concreto Rolado".

6.3. Resistência à Compressão Axial Simples

A resistência à compressão axial simples do concreto compactado é afetada principalmente pela relação água/aglomerante e pela energia de compactação.

Uma das maneiras eficazes de se comparar valores de resistência consiste em colocá-los sob a forma de rendimento, definido como a relação entre a resistência à compressão axial simples e o consumo de aglomerante. A FIGURA 106 mostra um conjunto de rendimentos de várias obras onde se utilizou o Concreto Rolado. Comparativamente são mostrados valores de rendimentos de concreto massa convencional usado em algumas obras.

As resistências obtidas (6) (12) (21) (27) (28) (31) (48) para o "Concreto Rolado" são aproximadamente 15 a 30% mais elevadas do que as do concreto massa convencional, como mostram os rendimentos nas FIGURAS 106 e 107.

Essa diferença é estremamente vantajosa para o "Concreto Rolado", no que que se refere às tensões de origem térmica, pois pode-se atingir um mesmo nível de resistência, com um menor consumo de aglomerante.

6.4. Resistência à Tração

As relações entre a resistência a tração por compressão diametral e a resistência à compressão axial do CCR variam de maneira similar às obtidas para concreto convencional.

O "Concreto Rolado" apresenta a resistência a tração com valores entre 5% e 20% dos valores das respectivas resistências a compressão axial simples (6) (9) (26) (27) (38)(48) (50) (51), como evidência a FIGURA 108.

6.5. Resistência ao Cisalhamento e Ângulo de Atrito

A resistência ao cisalhamento do "Concreto Rolado" e o ângulo de atrito também apresenta valores nas mesmas proporções (50) com relação à resistência à compressão axial simples, que as observadas para o concreto massa convencional.

É importante observar, com respeito ao cisalhamento, que praticamente são estabelecidos dois pares de parâmetros, ao se ensaiar ao cisalhamento.

- A tensão de cisalhamento de pico (que é a de ruptura), "C";
- Atrito de Pico, ϕ além de
- A tensão de cisalhamento residual, existente após a ruptura, desginada por ("C"), e
- Atrito residual ϕ', como se apresenta na FIGURA 109 (59).

Os ensaios de compressão triaxial tem o objetivo de determinar a envoltória de Mohr e em decorrência a coesão e o ângulo de atrito interno.

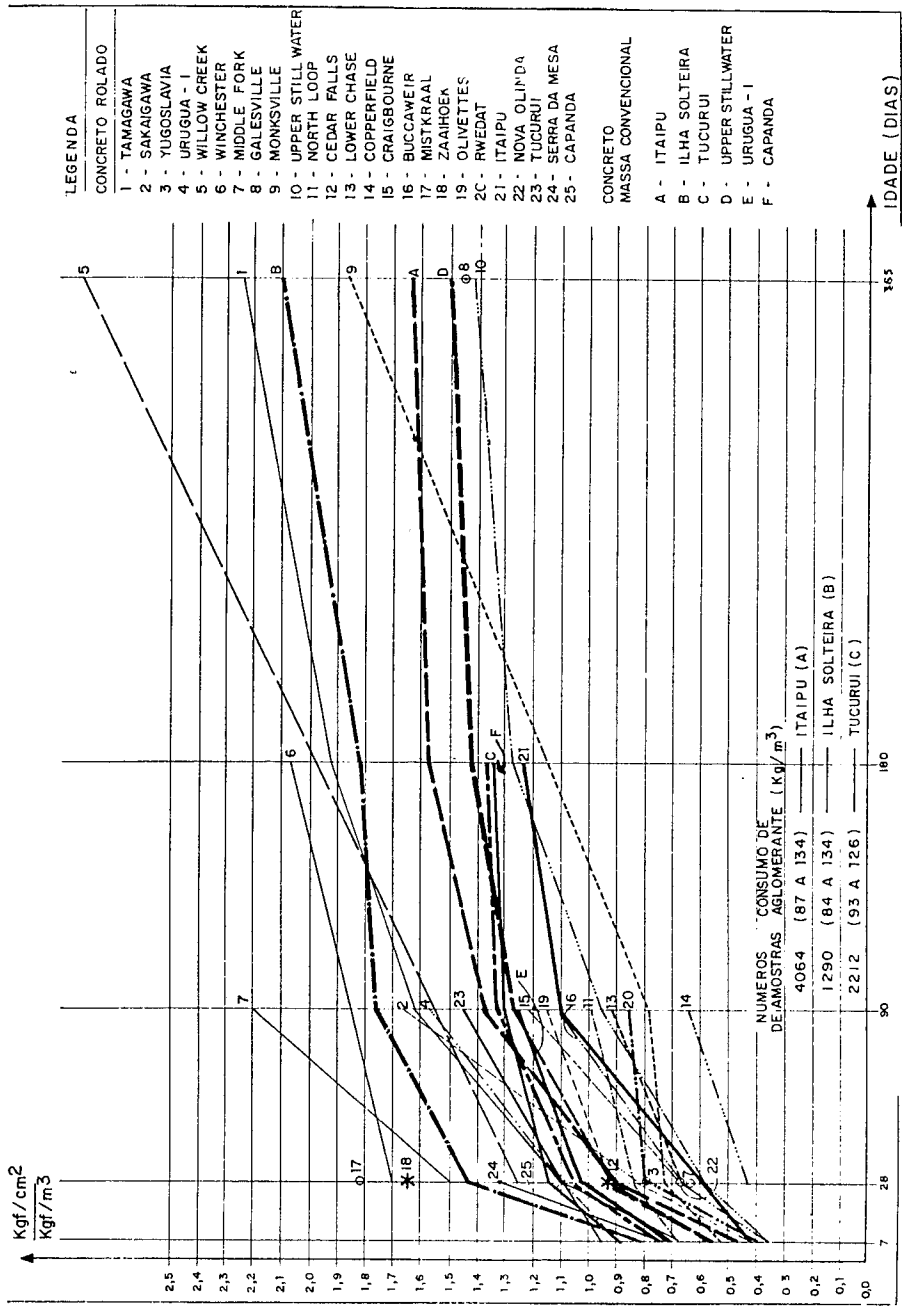


Figura 106 - Valores de Rendimentos para o Concreto Rolado e Concreto Massa Convencional.

MISTURA	TIPO CONCRETO	A/C	CIMENTO (KG/M3)	IDADE (DIAS)	RESISTENCIA AXIAL - kg/cm2	N	MODULO DE DEFORMAÇAO - Kg/cm2
L	CONVENCIONAL	0,68	148	7	79	0,53	169.000
				28	118	0,80	211.000
				90	125	0,84	218.000
				360	135	0,91	232.000
	CCR	0,58	155	7	135	0,87	211.000
				28	170	1,10	218.000
				90	183	1,18	253.000
				360	229	1,47	253.000
M	CONVENCIONAL	0,56	208	7	126	0,61	197.000
				28	169	0,81	253.000
				90	169	0,81	260.000
				360	184	0,88	253.000
	CCR	0,52	199	7	196	0,98	239.000
				28	255	1,28	232.000
				90	231	1,16	239.000
				360	289	1,46	302.000

Figura 107 – Valores Comparativos de Resistência, Rendimentos e Módulo, de Concretos Rolado e Convencional, com os Mesmos Materiais

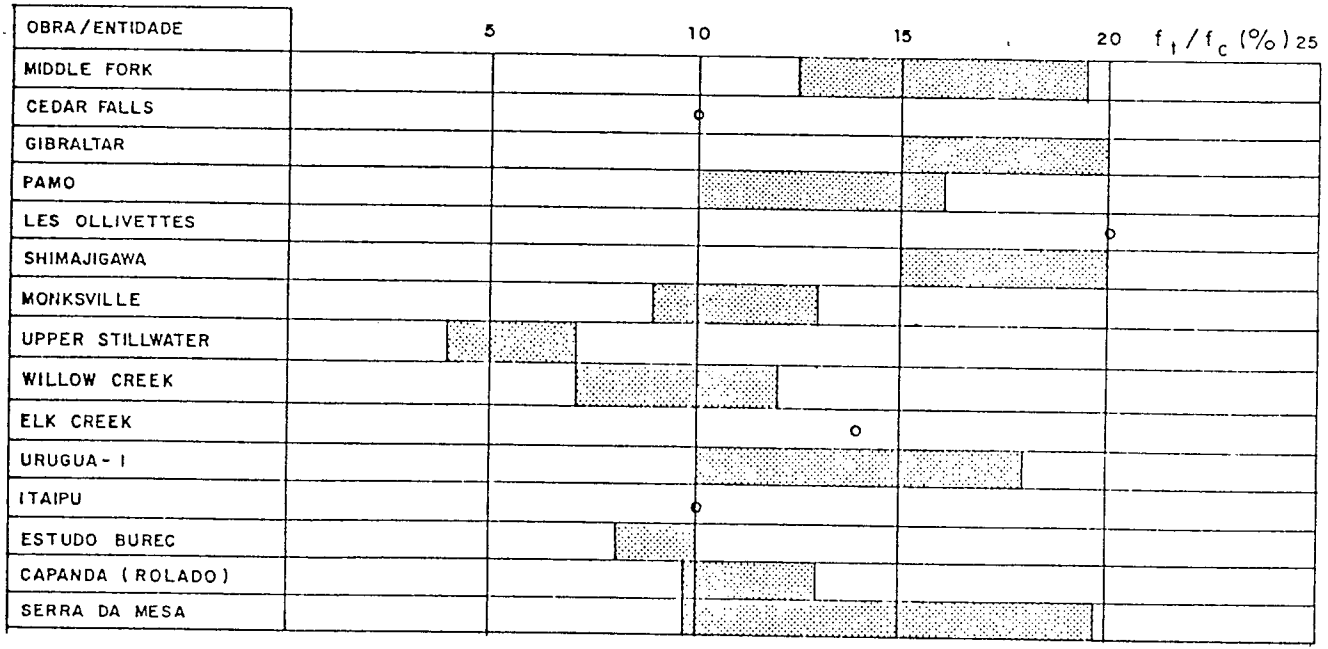


Figura 108 – Relação Percentual Entre FT/FC – Tração/Compressão

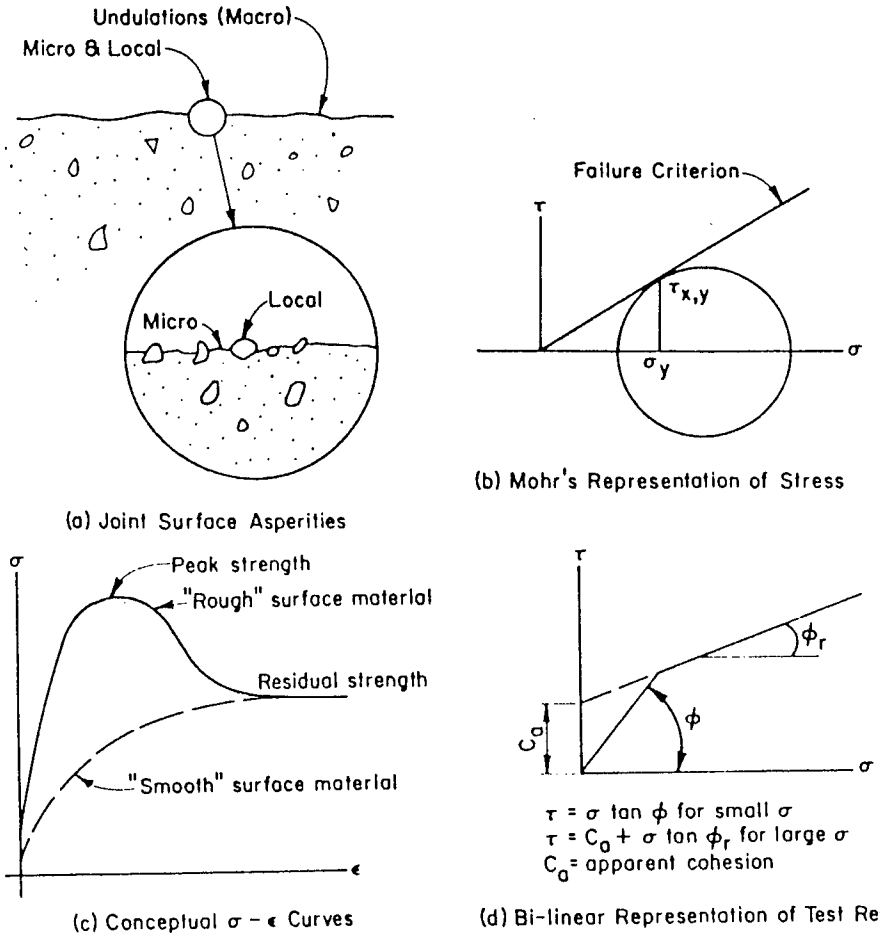


Figura 109 – Condições da Superfície e o Ensaio de Cisalhamento na Junta de Construção

O procedimento desse ensaio é baseado nos métodos CDR-C-93/70, CRD-C147/ do Corps of Engineers e ASTM-D 2664, consiste basicamente em submeter um corpo de prova, revestido por uma membrana impermeável e flexível à uma pressão confinante, constante, e uma carga axial até a ruptura, como se esquematiza a FIGURA 110.

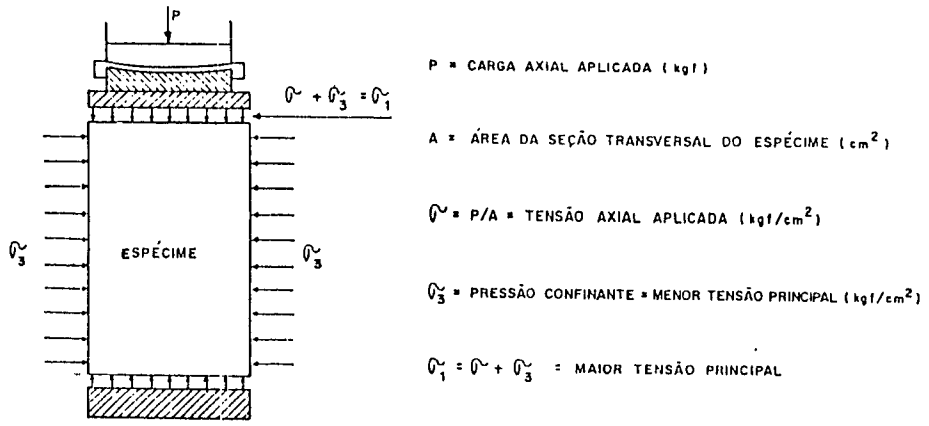


Figura 110 – Esquema de Carregamento de um Corpo de Prova Submetido ao Ensaio de Compressão Triaxial

Com as tensões principais (τ_1) de ruptura para cada tensão confinante (τ_3), determina-se graficamente o conjunto de círculos de Mohr, e posteriormente a envoltoria, obtendo-se a coesão (C) e o ângulo de atrito interno (Ø) do concreto, como mostra a FIGURA 111.

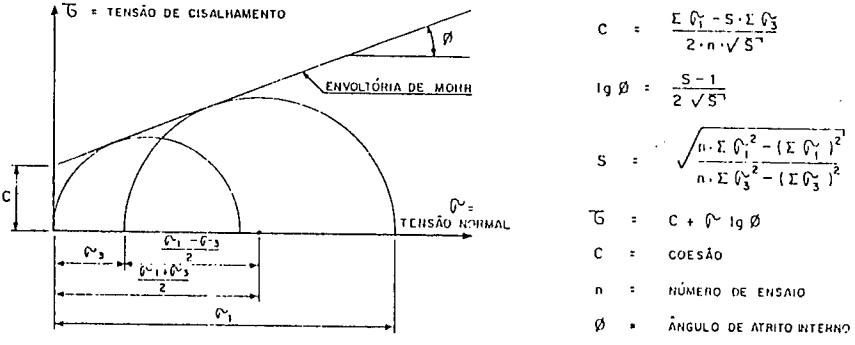


Figura 111 – Envoltoria de MOHR e Parâmetros de Cisalhamento

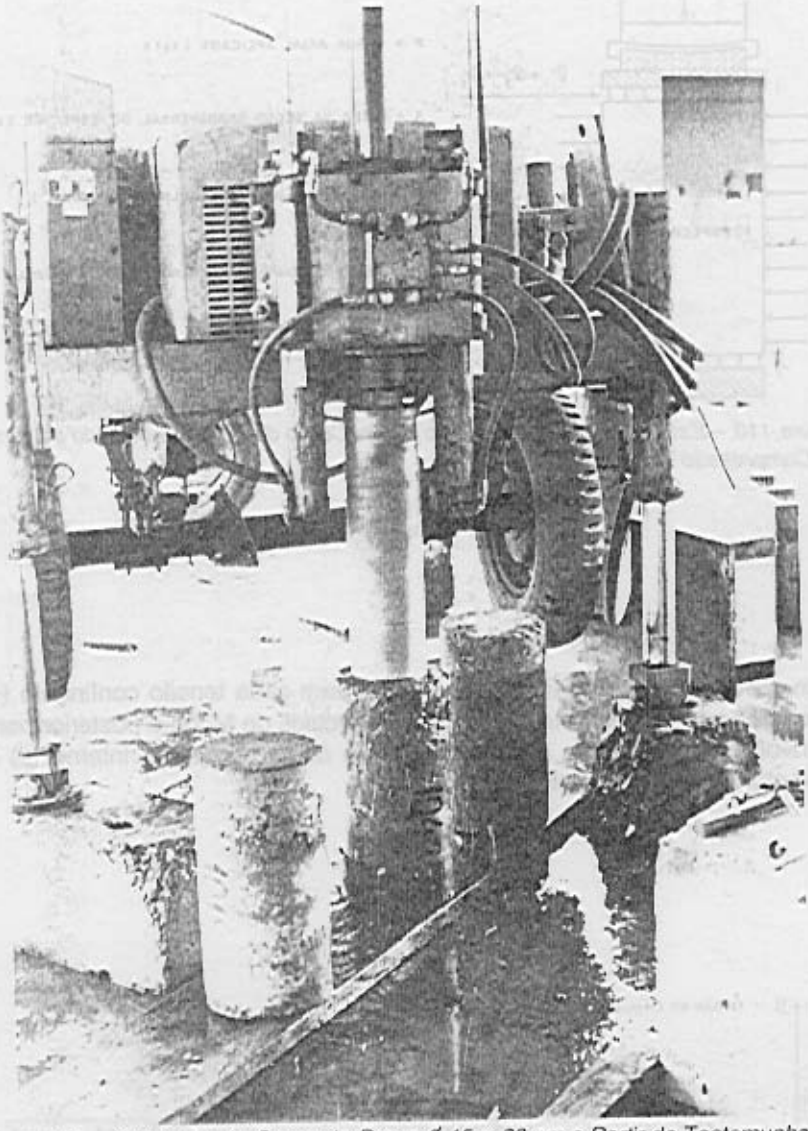


Figura 112 – Obtenção de Corpo de Prova Ø 15 x 30 cm a Partir de Testemunhos de Ø 25 x 50 cm

Os ensaios são executados, com corpos de prova 0 15 x 30 cm.

Os corpos de prova são protegidos e impermeabilizados com um revestimento como mostram as FIGURAS 113 e 114.

Para a realização do ensaio de compressão triaxial utilizou-se dos equipamentos mostrados nas FIGURAS 115 e 116.

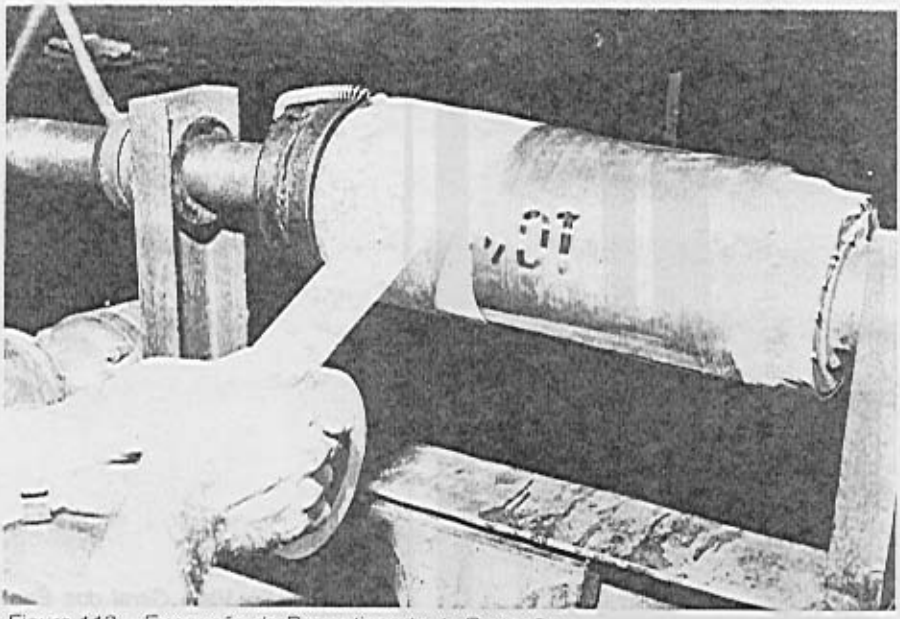


Figura 113 – Execução do Revestimento de Proteção

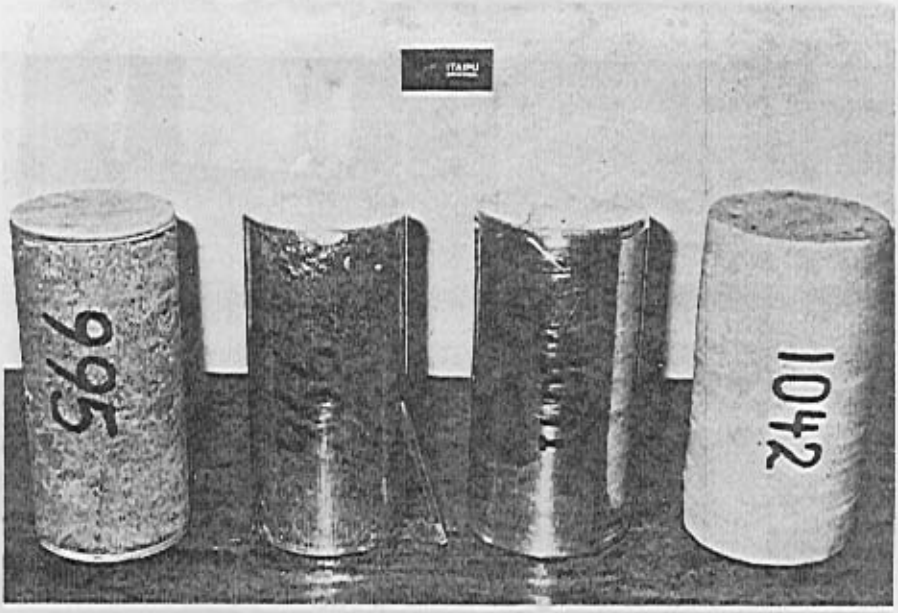


Figura 114 – Sequência de Corpos de Prova, Evidenciando as Etapas do Revestimento – À Esquerda, Corpo de Prova, sem Revestimento e com Placas de Regularização – Ao Centro, Corpo de Prova com Filme Plástico – À Direita, Fita Adesiva, e Fita Crepe, Aplicadas.

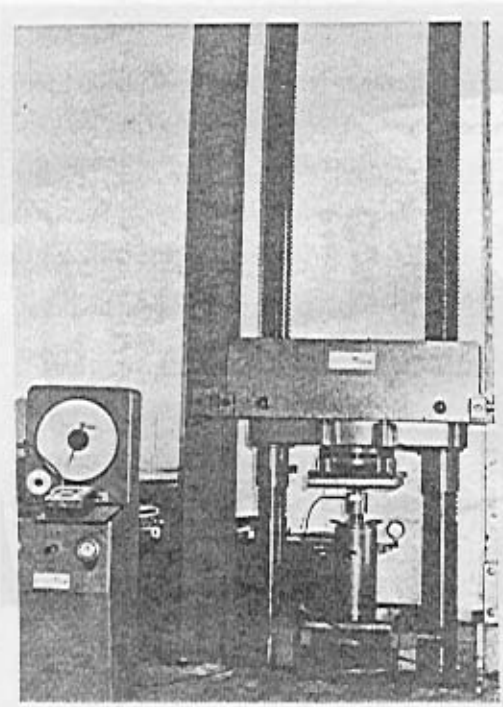


Figura 115 - Vista Geral dos Equipamentos Usados nos Ensaios de Compressão Triaxial: - Prensa, Câmara, Triaxial – Célula de Carga

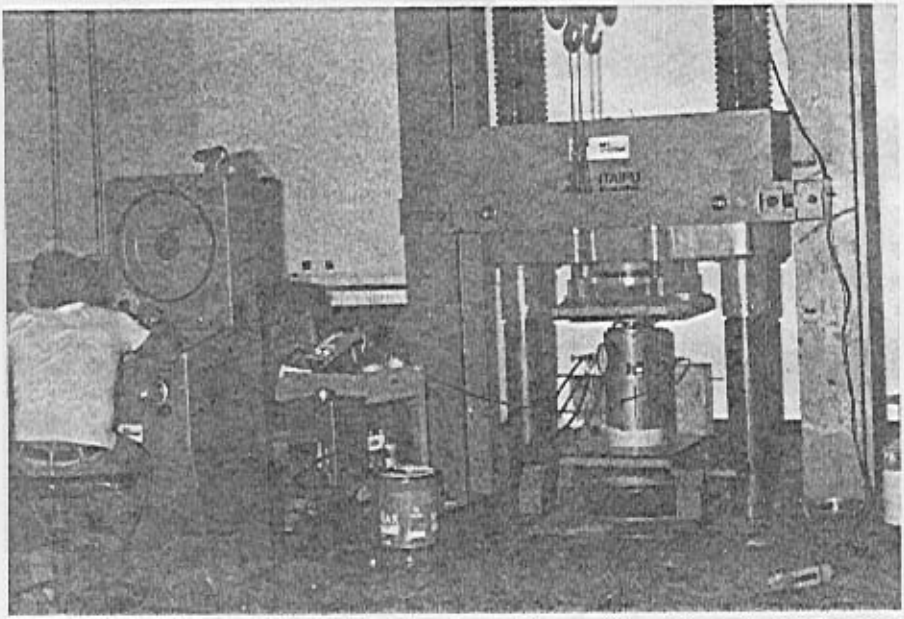


Figura 116 – Câmara Triaxial Posicionada na Prensa, (Para Carga Axial) Sendo a Confinante Aplicada por Bomba Manual. A Célula de Carga Entre o Topo da Câmara e o Prato da Prensa Mede a Carga Axial.

A Câmara triaxial utilizada é mostrada esquematicamente na FIGURA 117.

O cisalhamento pode ser determinado através de outros ensaios como mostram as figuras subsequentes.

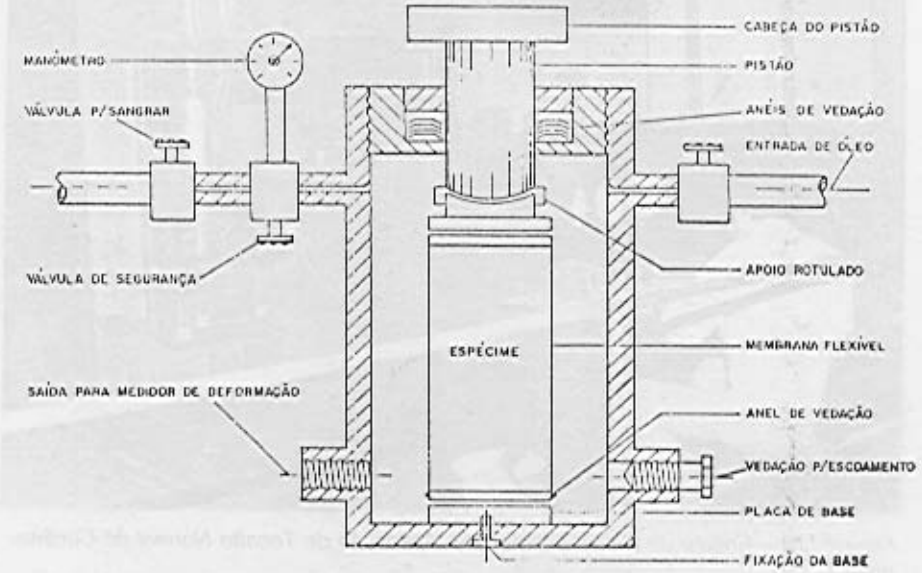


Figura 117 – Esquema da Câmara Usada no Ensaio de Compressão Axial

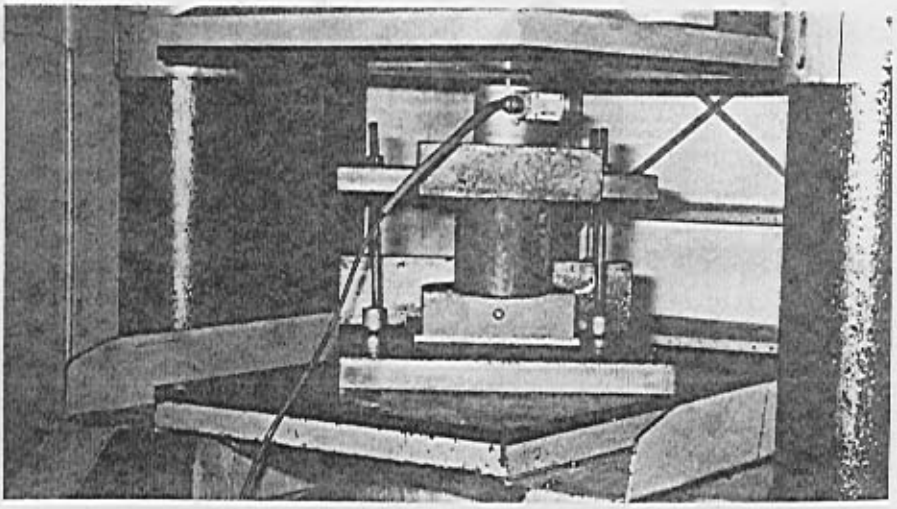


Figura 118 – Ensaio de Cisalhamento não Confinado, de Acordo com CRD-C-89 – "METHOD OF TEST FOR LONGITUDINAL SHEAR STRENGTH, UNCONFINED SINGLE PLANE – U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS

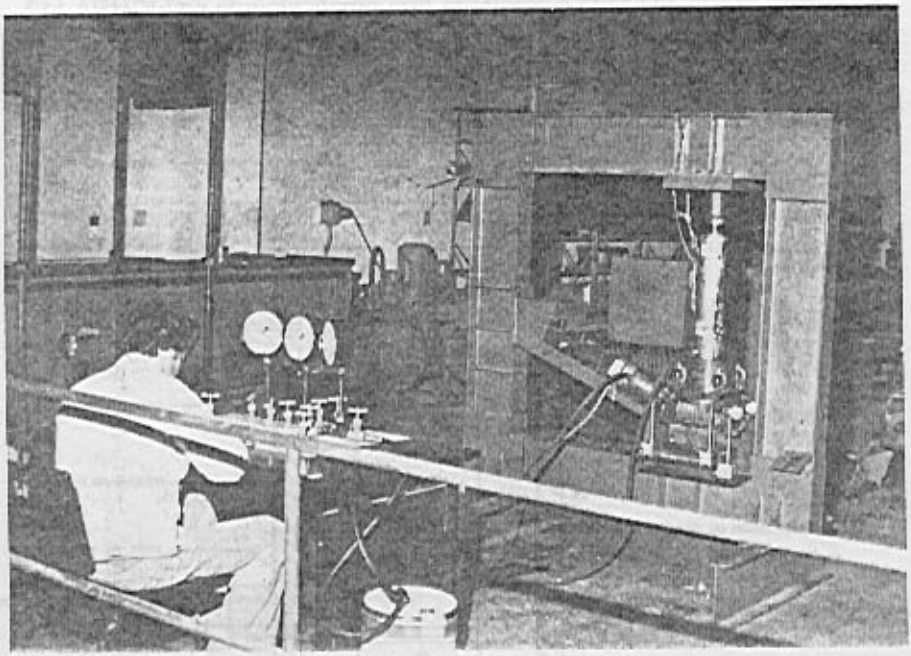


Figura 119 – Ensaio de Cisalhamento com Aplicação de Tensão Normal de Confinamento

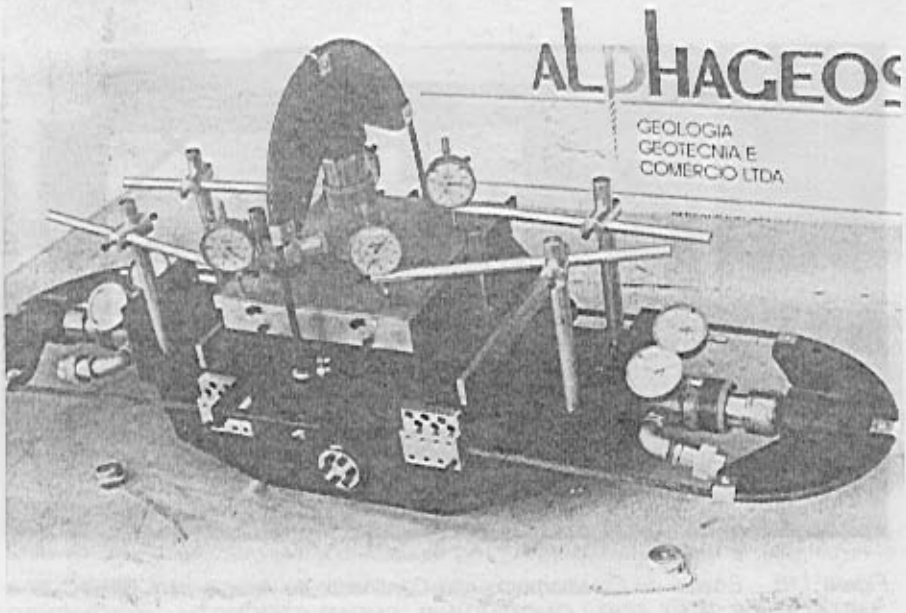


Figura 120 – Máquina Portátil de Ensaio de Cisalhamento com Aplicação de Tensão Normal de Confinamento

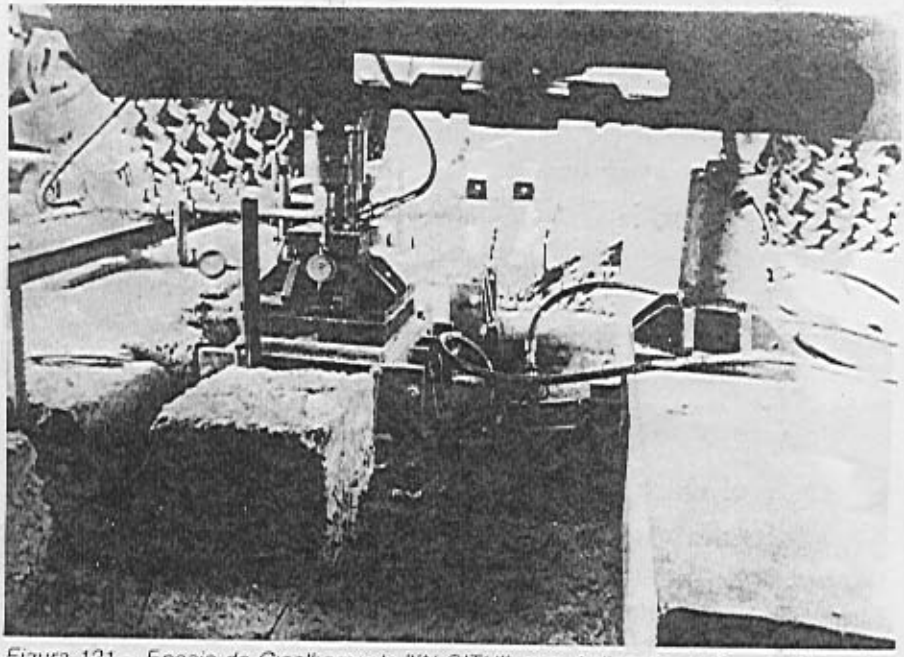


Figura 121 – Ensaio de Cisalhamento "IN-SITU", com Aplicação de Tensão Normal – URUGUA-I – ARGENTINA

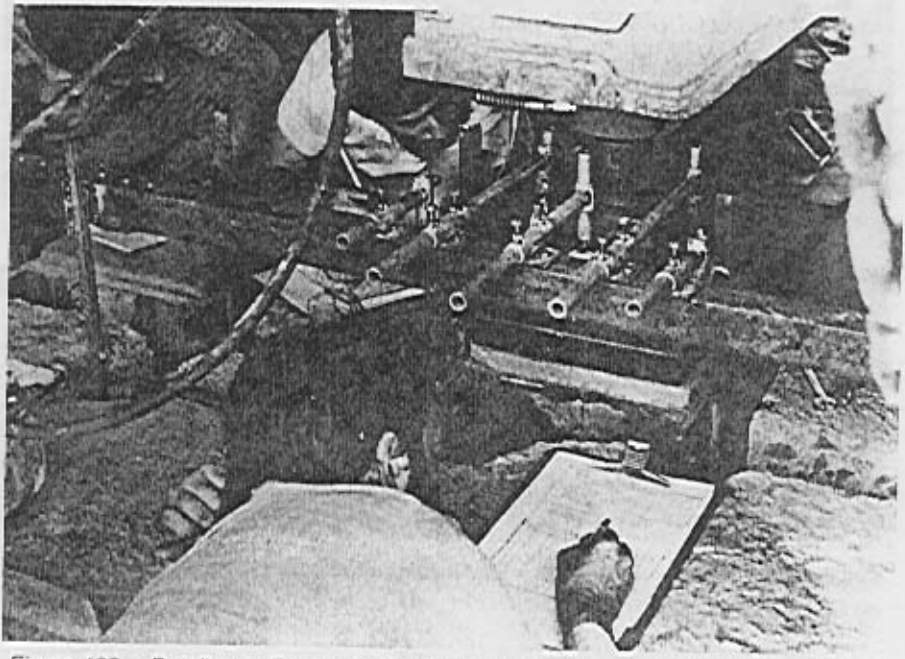


Figura 122 – Detalhe do Ensaio de Cisalhamento "IN-SITU" – URUGUA-I – ARGENTINA

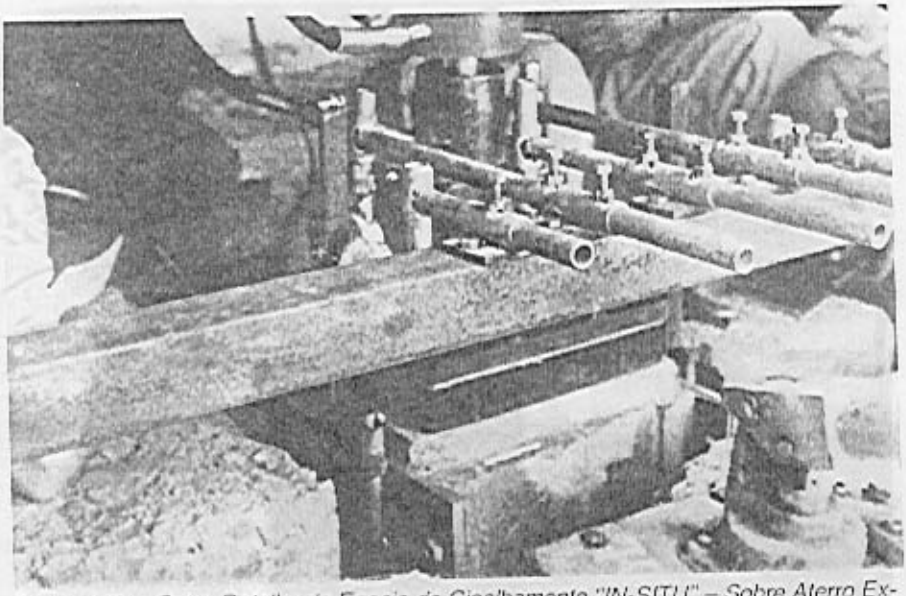


Figura 123 – Outro Detalhe do Ensaio de Cisalhamento "IN-SITU" – Sobre Aterro Experimental – URUGUA-I – ARGENTINA

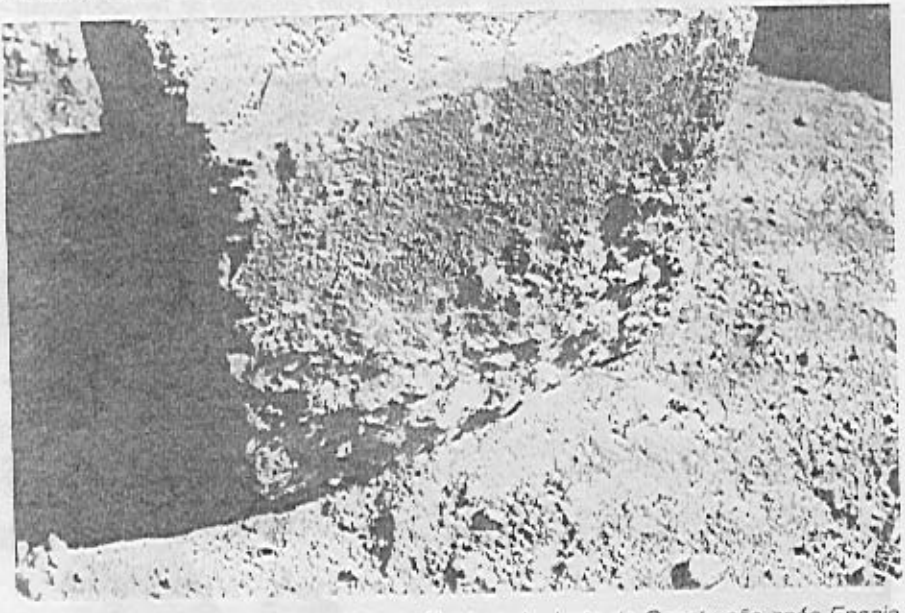


Figura 124 – Detalhe da Superfície de Ruptura de Junta de Construção após Ensaio de Cisalhamento "IN-SITU" – URUGUA-I – ARGENTINA

Um comjunto de valores de cisalhamento e ângulo de atrito é mostrado na FIGURA 125.

6.6. Modulo de (Elasticidade) Deformação e Coeficiente de Poisson

Os principais fatores que afetam as propriedades elásticas do concreto são, a idade, o tipo de agregado, o fator água/cimento ou qualidade da pasta. O módulo de deformação do concreto aumenta com a idade e é governado nas idades iniciais, principalmente, pelo teor de aglomerante, após o que passa a ser afetado, grandemente, pelas características elásticas dos agregados.

O módulo de deformação do "Concreto Rolado" é menor que o módulo de deformação do concreto convencional, nas baixas idades quando se usa baixo teor de pasta (cimento e água). A partir da idade de, aproximadamente, 90 dias, o módulo de deformação do "Concreto Rolado" tende a se assemelhar ao do concreto massa convencional.

Enquanto que o módulo de deformação do concreto massa convencional apresenta-se com valores de 120.000 kgf/cm^2 a 400.000 kgf/cm^2 (64) (65) (66) à idade de 7 dias o "Concreto Rolado" apresenta-se com valores de 60.000 kgf/cm^2 a 100.000 kgf/cm^2 (38) (49) (66).

A FIGURA 126 mostra um conjunto de valores de Módulo de Deformação do Concreto Rolado e de Concreto Convencional.

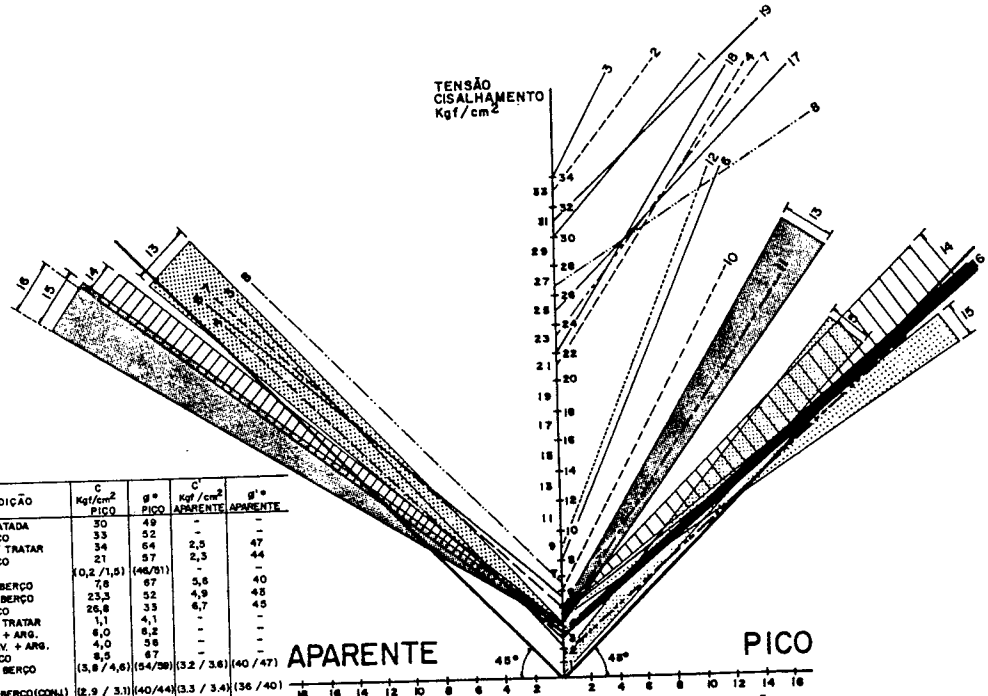
Os valores de coeficiente de Poisson para o "Concreto Rolado" não têm mostrado diferenças significativas para com aqueles conhecidos para o concreto massa convencional. Os valores encontrados têm se situado entre 0,15 e 0,22.

6.7. Deformação Lenta (Fluência)

A fluência é grandemente influenciada pelo módulo de deformação do agregado e pelo teor de finos na argamassa. De maneira geral os valores obtidos para o "Concreto Rolado", até o presente (45) e (60) (61), tem apresentado vantagens significativas com relação aos valores de coeficiente de fluência obtidos para o concreto massa convencional, como se evidencia pela FIGURA 130.

O ensaio de fluência à compressão consiste basicamente na determinação da deformação decorrente de uma solicitação constante aplicada axialmente, durante um certo período de tempo. A carga constante, aplicada normalmente se situa ao redor de 40% da resistência do concreto à compressão axial simples.

O ensaio de fluência aplicado sobre corpos de prova de concreto convencional, tem um procedimento padronizado e de amplo conhecimento. Nesse ensaio, as deformações ocorridas no concreto convencional são normalmente determinadas através de medidores elétricos embutidos nos corpos de prova, moldados com essa finalidade.



OBRA	CONDIÇÃO	C Kgf/cm² PICO	g° PICO	C' Kgf/cm² APARENTE	g'° APARENTE
1 - TAMAGAWA	JUNTA TRATADA	30	49	-	-
2 - TAMAGAWA	MONOLITICO	33	52	-	-
3 - UPPER STILLWATER	JUNTAS S/ TRATAR	34	54	2,5	47
4 - UPPER STILLWATER	MONOLITICO	21	57	2,3	44
5 - COPPERFIELD	CONJUNTO	(0,2 /1,5)	(46/51)	-	-
6 - GALESVILLE	JUNTA S/ BERÇO	7,8	67	5,6	40
7 - GALESVILLE	JUNTA C/ BERÇO	23,3	52	4,9	45
8 - GALESVILLE	MONOLITICO	26,8	33	6,7	45
9 - ELK CREEK	JUNTA S/ TRATAR	1,1	4,1	-	-
10 - ELK CREEK	JUNTA ST + ARG.	6,0	8,2	-	-
11 - ELK CREEK	JUNTA LAV. + ARG.	4,0	56	-	-
12 - ELK CREEK	MONOLITICO	8,5	67	-	-
13 - URUGUA - I	JUNTA C/ BERÇO	(3,8 / 4,6)	(54/59)	(3.2 / 3.6)	(40 / 47)
14 - URUGUA - I	280° CH JUNTA S/ BERÇO (CONJ.)	(2.9 / 3.1)	(40/44)	(3.3 / 3.4)	(36 / 40)
15 - URUGUA - I	500° CH JUNTA S/ BERÇO (CONJ.)	(4.2 / 4.4)	(33/37)	(3.8 / 3.9)	(30 / 36)
16 - URUGUA - I	+ 80° C JUNTA S/ BERÇO (CONJ.)	(2.5 / 2.7)	(3.9/42)	(3.6 / 3.7)	(32 / 37)
17 - URUGUA - I	MONOLITICO	24,6	48	-	-
18 - SERRA DA MESA	MONOLITICO	22	56	-	-
19 - CAPANDA	MONOLITICO	31,7	42	-	-

Figura 125 – Conjunto de Valores de Cisalhamento de Concreto Rolado

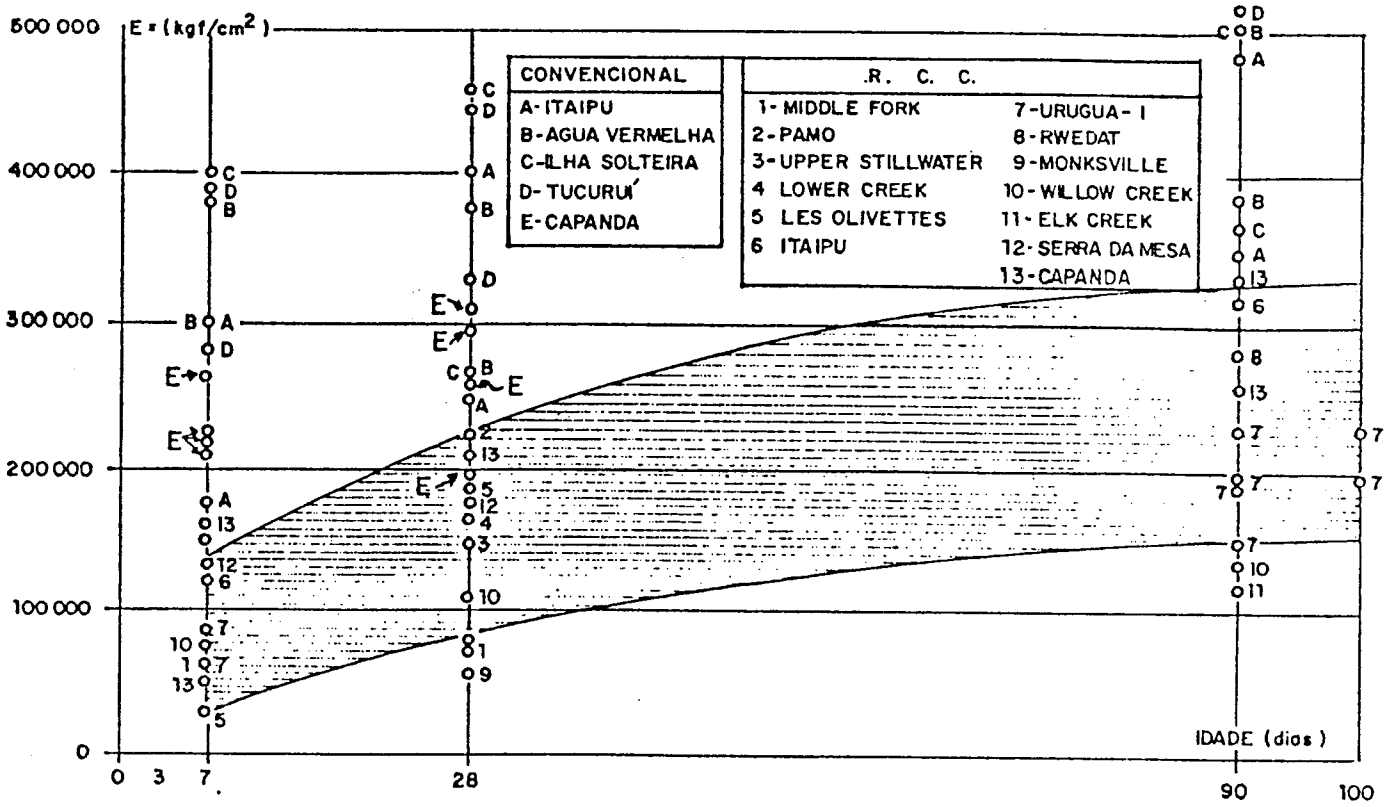


Figura 126 – Valores de Módulo de Deformação de Concretos Rolado e Convencional

Os corpos de prova de Concreto Rolado, normalmente são obtidos a partir de testemunhos extraídos, não sendo possível contar com extensômetros elétricos embutidos.

Restam então as seguintes opções:

- Efetuar medidas por extensômetros elétricos (Wire Strain Gages) colados à superfície do corpo de prova, ou
- Efetuar medidas com o extensômetro mecânico através de bases fixadas ao corpo de prova.

Tendo em vista a longa duração dos ensaios, e a precaução quanto a eventuais danos, é normal optar-se pela utilização de base de extensômetros mecânicos, como mostram as FIGURAS 127 e 128.

Os corpos de prova são protegidos contra a perda de umidade, por uma membrana de borracha natural (ver Fotos 127 e 128).

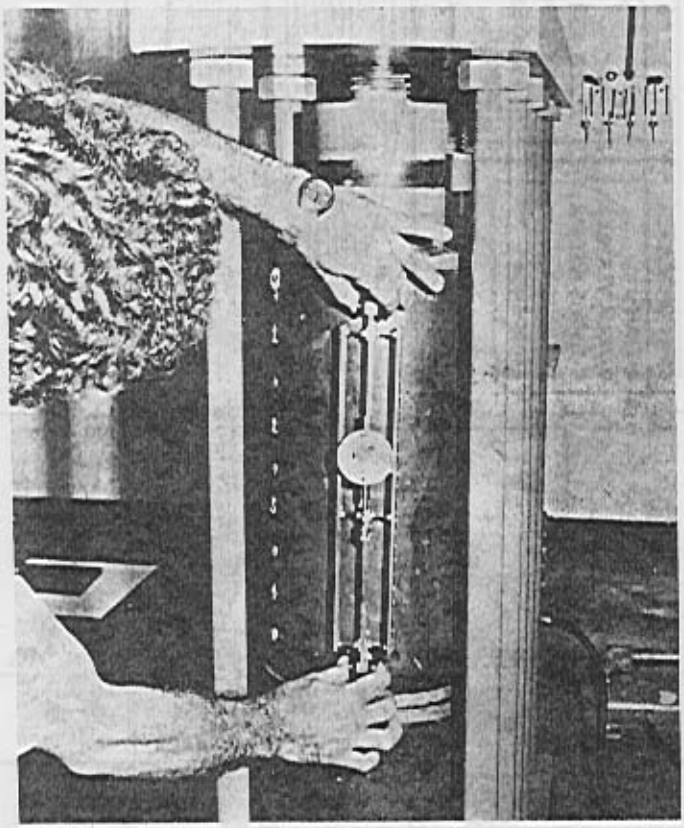


Figura 127 – Leitura da Deformação, Através de Alongâmetro-Marion, Durante o Ensaio de Fluência

Figura 128 – Leitura da Deformação Através de Alongamento Tipo Tenso Tast – Durante o Ensaio de Variação Autógena

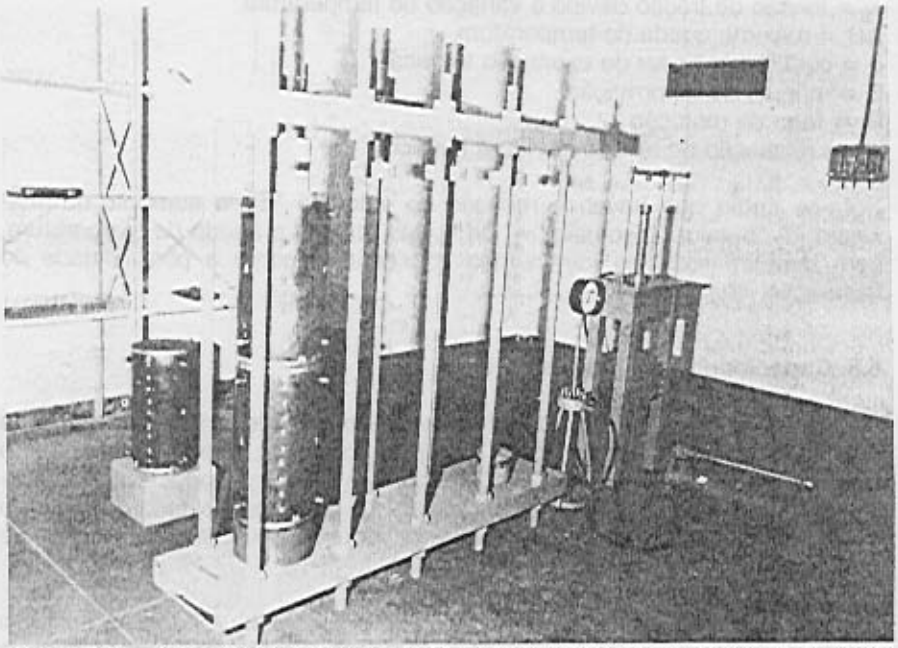


Figura 129 – Vista Geral do Ensaio de Fluência, com Corpos de Prova de Concreto Rolado de URUGUA-I – ARGENTINA

A FIGURA 130 mostra um conjunto de curvas de parâmetros 1/E, f(k), para concretos convencionais, com vários teores de aglomerante (de 107 kg/m^3 a 194 kg/m^3) e de obras com Concreto Rolado, sendo que a fluência é expressa por:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} + f(k) \log (t + 1), \text{ onde}$$

ε = deformação específica por unidade de tensão
E = módulo de deformação
f(k) = coeficiente de fluência
t = idade

Sendo o valor do módulo de deformação "E" do "Concreto Rolado" menor que o do concreto massa convencional à baixas idades, e os valores de f(k) pouco maiores, o valor de "ε" do "Concreto Rolado" será maior do que o do concreto massa convencional.

Essa situação é bastante favorável do ponto de vista das solicitações térmicas pois de forma aproximada tem-se:

$$\tau_t = \Delta\Theta \cdot \alpha \cdot E \cdot Fr - \tau_{Cr}, \text{ onde}$$

τ_t = tensão de tração devido a variação de temperatura
$\Delta\Theta$ = máxima queda de temperatura
α = coeficiente linear de expansão térmica
E = módulo de deformação
Fr = fator de restrição
τ_{Cr} = relaxação de tensão devido à fluência

Nota-se então que havendo redução do valor de "E", e aumento da relaxação ε_{Cr}, o valor da tensão "τ_t" de tração, devido a queda de temperatura, será também reduzido, diminuindo conseqüentemente a possibilidade de fissuração.

6.8. Capacidade de Alongamento

Os fatores que normalmente afetam a capacidade de alongamento (Strain Capacity) são: o tipo de agregado, forma de partículas, o teor de cimento e o tamanho máximo do agregado (67). Concreto com agregados britados possuem maior capacidade de alongamento. O aumento do teor de cimento aumenta a capacidade de alongamento, porém, aumenta mais ainda os problemas de origem térmica.

A capacidade de alongamento do Concreto é conceituada como sendo a máxima deformação que o mesmo apresenta, antes de romper quando submetido a um esforço de tração aplicado por incrementos de cargas crescentes até a ruptura, a uma velocidade estabelecida.

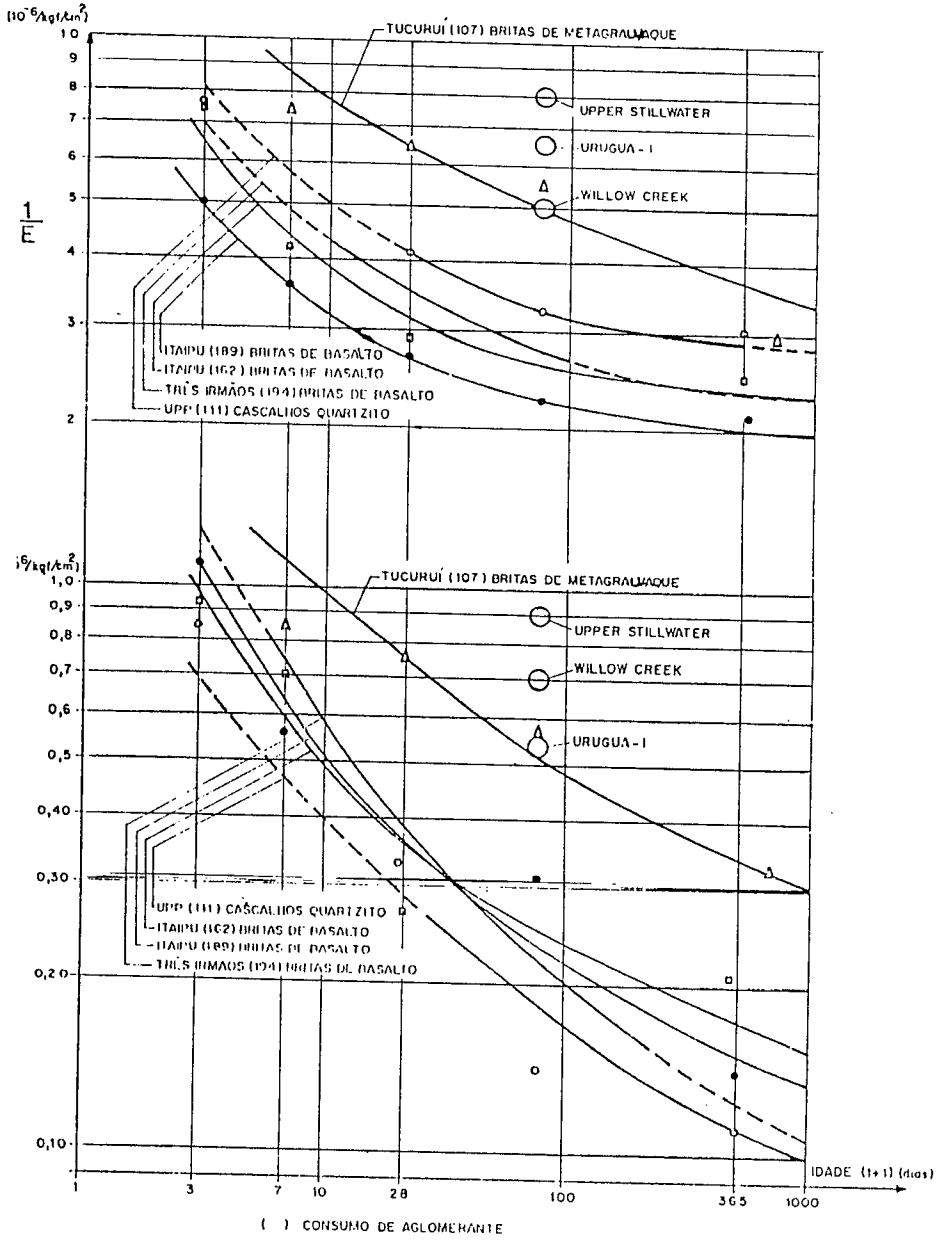


Figura 130 – Dados de Parâmetros de Fluência de Diversos Concretos (Convencionais e Rolados) com Agregados de Ø Max 76 mm

A capacidade de deformação do Concreto Convencional tem sido determinada por ensaios de tração por flexão de vigas. As deformações de tração são medidas por extensômetros elétricos embutidos e/ou por medidores elétricos tipo "Wire Strain Gage" colados à superfície de tração.

De mesma forma que o citado para os ensaios de fluência no Concreto Rolado as dificuldades de embutir o medidor de deformação, no corpo de prova, reduz a opção para a medição através de extensômetros elétricos de resistência (tipo Wire Strain Gage).

A determinação da capacidade de alongamento do Concreto Rolado pode ser feita sobre corpos de prova extraídos de aterro experimental, como se mostra em seqüência, executados no Laboratório da Itaipu Binacional.

Nos topos dos corpos de prova são coladas chapas metálicas para aplicação do carregamento.

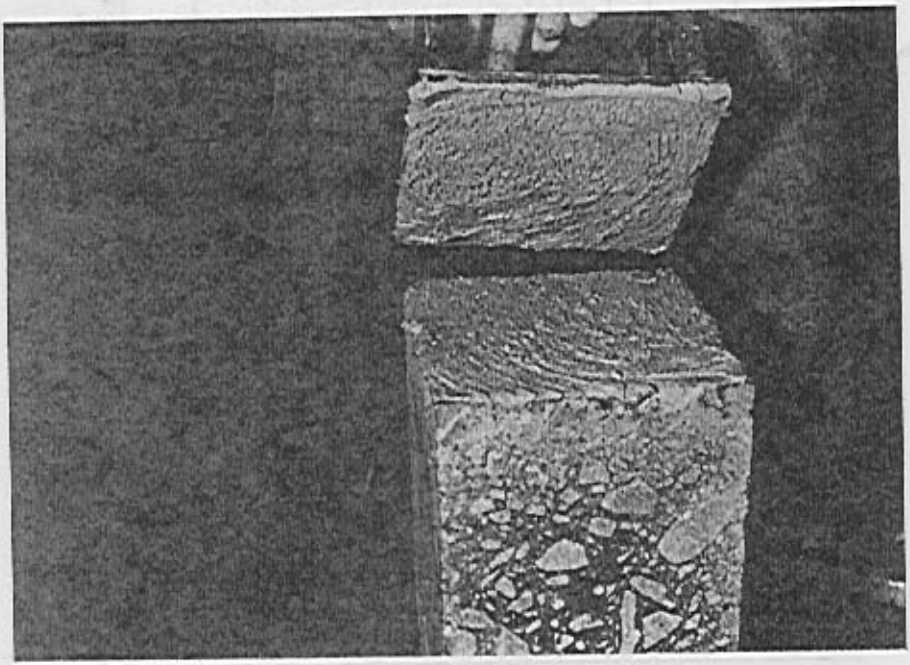


Figura 131 – Colagem de Chapa Metálica no Topo do Corpo de Prova

Para determinação das deformações de tração foram colados "Wire Strain Gages" em duas faces diametralmente opostas, sendo que a leitura foi efetuada por uma ponte Peekel modelo B-105 com sensibilidade de 1 μstrain.

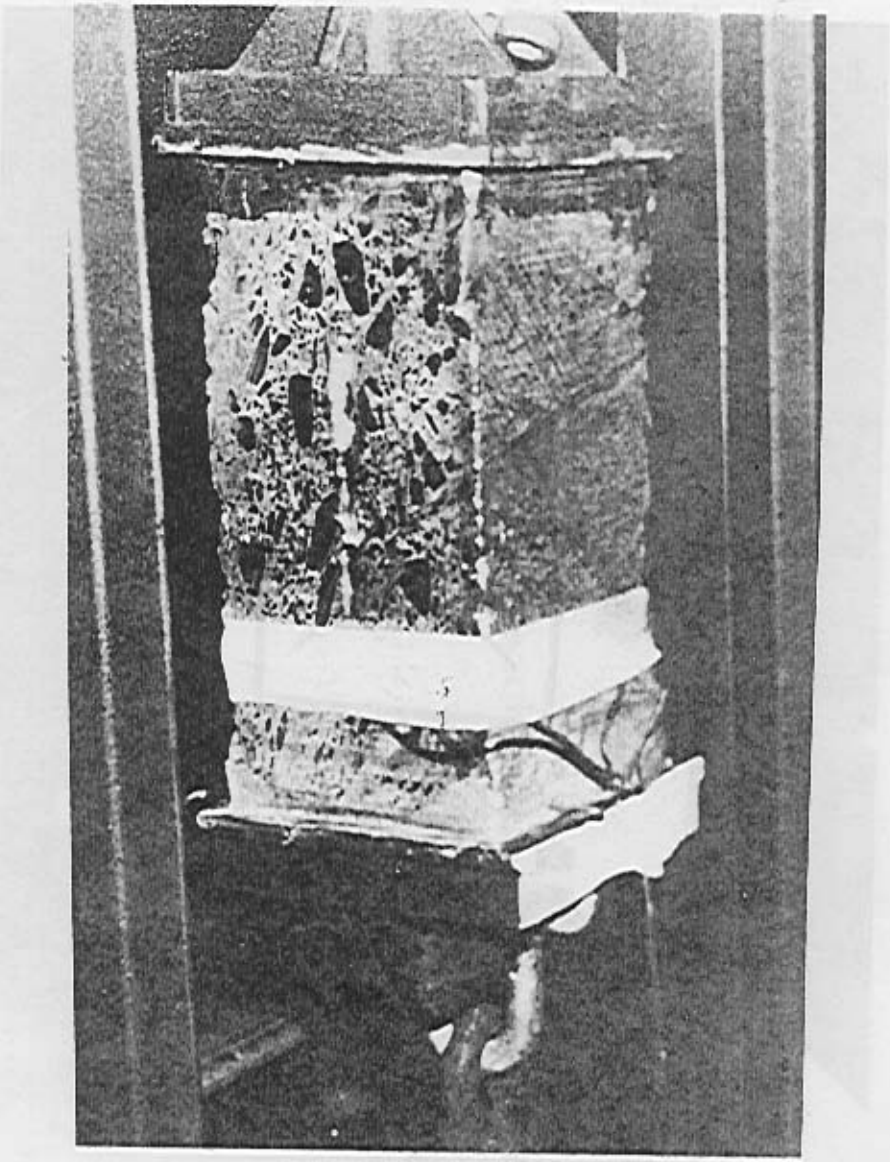


Figura 132 – Corpo de Prova de Concreto Rolado Preparado para o Ensaio de Tração. Nota-se a Proteção com um Filme Plástico e o Extensômetro Elétrico Colado

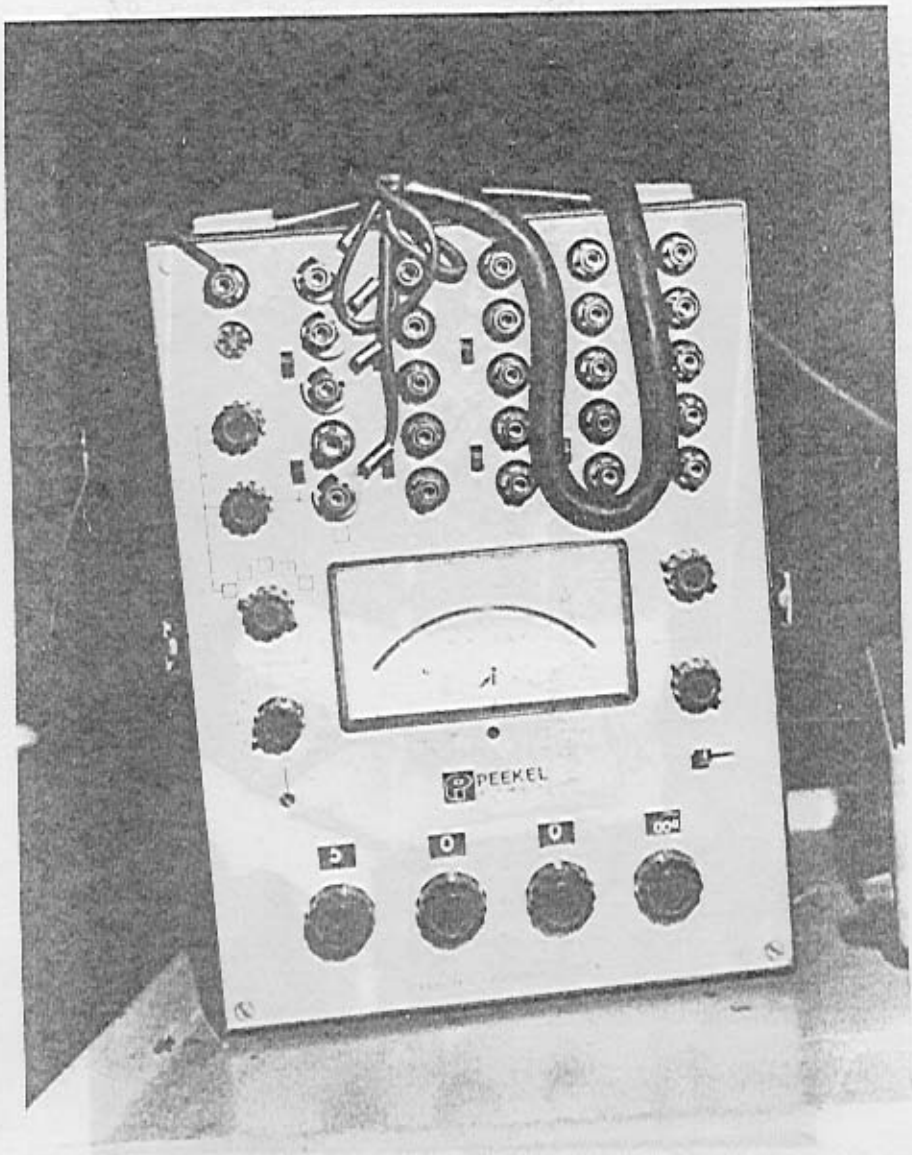


Figura 133 – Ponte de Leitura Peekel, com Sensibilidade de 1 USTRAIN Utilizada para as Leituras de Deformações

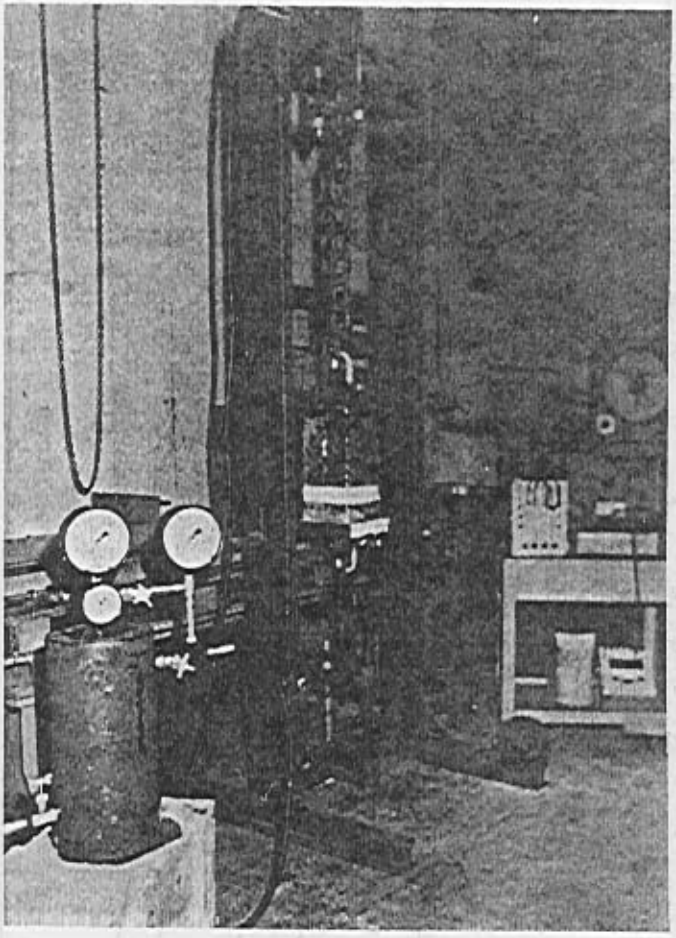


Figura 134 – Corpo de Prova Montado na Estrutura de Reação, Vendo-se Acima (Da Estrutura) o Macaco Hidráulico, Acionado por Pulmão-Bomba e Manômetros de Precisão (À Esquerda). À Direita o Conjunto de Leituras de Deformações

Para a aplicação do carregamento pode ser utilizado o sistema demonstrado na FIGURA 134.

A FIGURA 135 mostra um conjunto de valores de capacidade de alongamento de concretos massa convencional (67) e Rolado (Urugua-i) (Capanda).

Deve-se, entretanto, considerar de modo aproximado, com base na expressão (68) (69),

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\tau_{ti}}{E_i} + \frac{\tau_{ti} + \tau_{tk}}{2} \times f(k) \log (t + 1) \text{ onde}$$

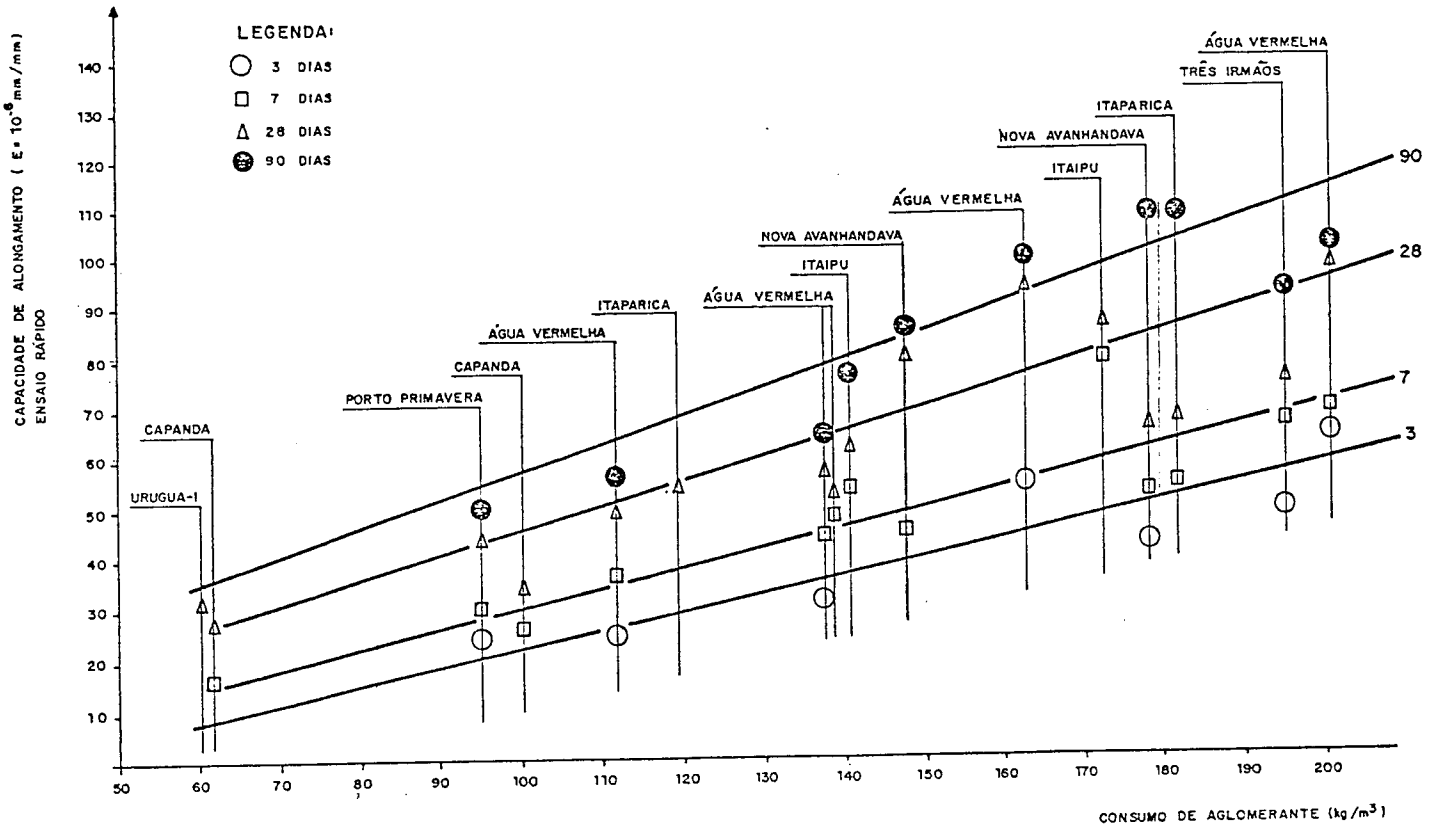


Figura 135 – Capacidade de Alongamento de Concretos com Agregados ø Máximo 76 mm Sob Carregamento Rápido

ε' = capacidade de alongamento;
τ_{ti} = resistência à tração na época i;
E_i = módulo de deformação na época i;
τ_{tk} = resistência à tração na época k;
$f(k)$ = coeficiente de fluência,

que fazendo-se a correção de fluência sobre os valores de tração do ensaio rápido ter-se-á uma maior capacidade de alongamento para uma solicitação lenta, semelhante à que ocorre pela dissipação de calor do interior da massa de concreto.

6.9. Variações de Volume

A ocorrência de variação de volume devido à perda de água ou retração por secagem é significativamente menor no "Concreto Rolado", devido ao menor teor de água e cimento, do que no concreto massa convencional. A superfície está sujeita à secagem, como em todos os concretos, mas há também no "Concreto Rolado" menor superfície de pasta e maior restrição, devido ao maior volume de agregados.

Devido ao menor teor de pasta (água e cimento), a água de exsudação (Bleeding) é menor ou praticamente nula. O assentamento plástico, também, é menor ou praticamente nulo.

As variações de volume do concreto são afetadas pela quantidade, tipo e qualidade do cimento. Como o teor do cimento do "Concreto Rolado" é menor que o do concreto massa convencional de mesma resistência mecânica é estimado que a variação autógena de volume do "Concreto Rolado" seja menor que a do concreto massa convencional equivalente.

As expansões decorrentes da reação álcalis – agregados também seriam menores devido ao menor teor de cimento no "Concreto Rolado".

As variações de volume devido aos fatores térmicos são influenciados pelo teor e tipo de aglomerante e pela característica e quantidade de agregados. Considerando que o "Concreto Rolado" tem menor teor de cimento para um mesmo nível de resistência que o concreto massa convencional, a evolução adiabática será menor, o que implica em uma variação volumétrica menor.

6.10. Propriedades Térmicas

As características térmicas – difusividade – condutividades – calor específico e coeficiente linear de expansão térmica do "Concreto Rolado" não apresentam diferenças significativas quando comparadas com as do concreto massa convencional equivalente.

6.10.1. Elevação Adiabática de Temperatura

O ensaio de elevação adiabática de temperatura permite determinar a evolução de temperatura, decorrente da geração de calor, devido à hidratação do concreto.

O ensaio é feito em um sistema adiabático, sem que ocorra, em termos práticos, troca de calor com o exterior, como a do Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional.

Para tanto o corpo de prova moldado é colocado em um calorímetro composto por duas câmaras (externa – 3,7 x 2,9 x 2,95m e interna – 1,7 x 1,7 x 1,9m) dentro de uma sala climatizada. A câmara interna é mantida à mesma temperatura (em evolução) do corpo de prova.

A seqüência desde a moldagem do concreto rolado, até a execução dos ensaios é vista nas FIGURAS de 135 a 140.

Figura 135A – Compactação de Corpo de Prova de Concreto Rolado no Molde para Ensaio de Elevação Adiabática, Vê-se no Topo do Corpo de Prova o Gabarito dos Termômetros - Dimensão do Corpo de Prova ø 70 x 70 CM

Figura 136 – Retirada do Gabarito de Instalação dos Termômetros

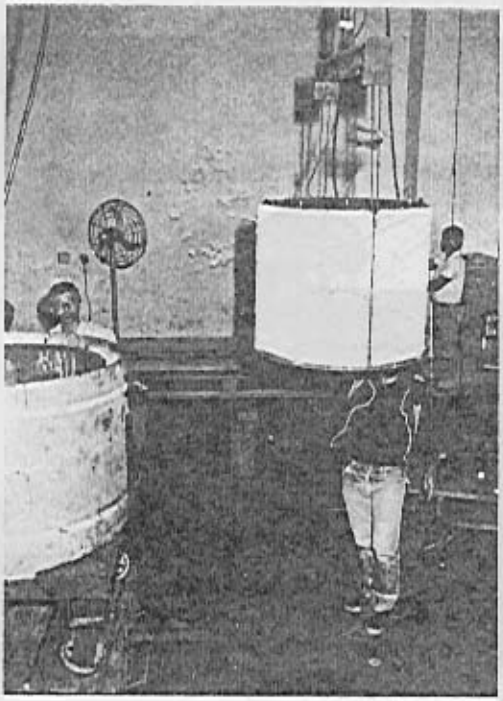


Figura 137 – Içamento do Molde Para Colocação no Isolamento do Calorímetro

Figura 138 – Isolamento Completado

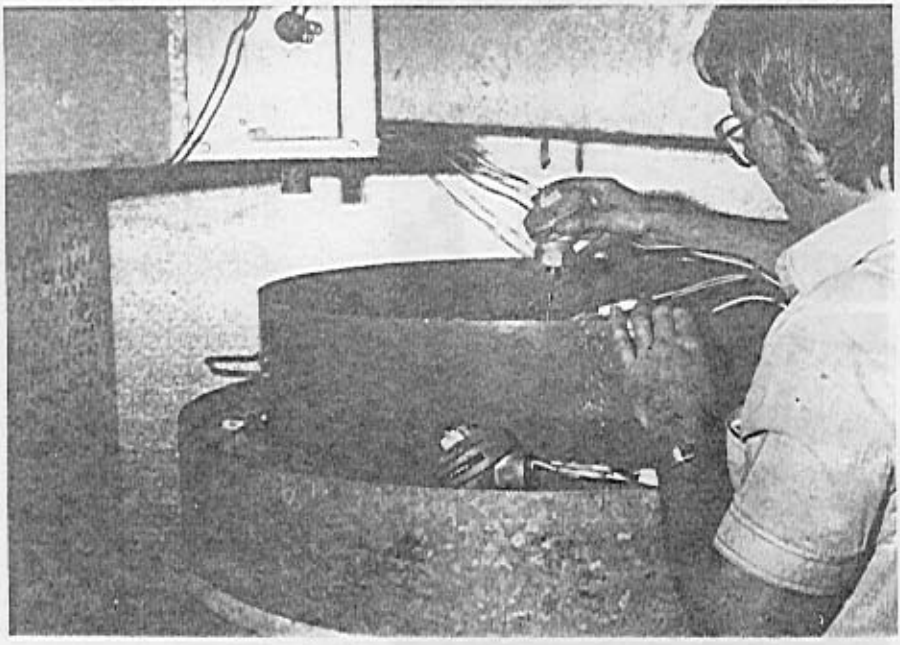


Figura 139 – Instalação dos Termômetros, no Corpo de Prova

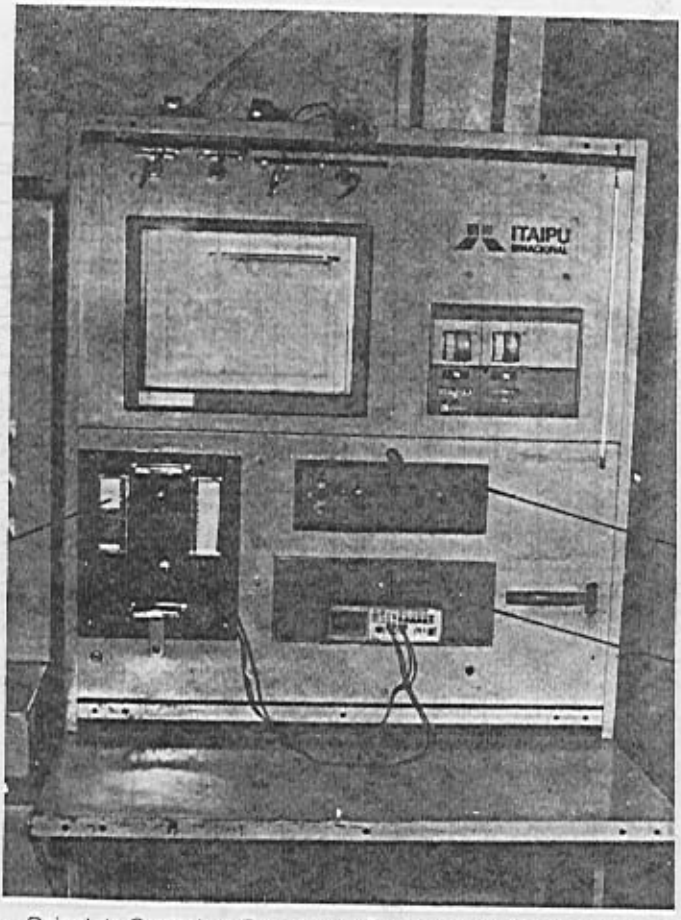


Figura 140 – Painel de Controle e Registro de Temperatura, Notando-se:
- *Caixa de Varredura*
- *Multímetro Digital para Leitura Individual*
- *Registrador Contínuo*
- *Controlador de Temperatura*
- *Ponte de Equilíbrio Diferencial*

Durante o ensaio a temperatura da câmara interna eleva-se juntamente (por sistema de aquecimento) com a temperatura do corpo de prova.

A temperatura da câmara externa também evolui, mas sendo mantida ao redor de 2°C a 4°C abaixo da instantaneamente observada no corpo de prova, e na câmara interna. Isso tem a finalidade de absorver o calor geradopelos motores, e atritos de eixos, colocados externamente.

As leituras de temperatura são feitas a intervalos de 15 minutos nas 24 horas iniciais e de 30 minutos no restante do ensaio.

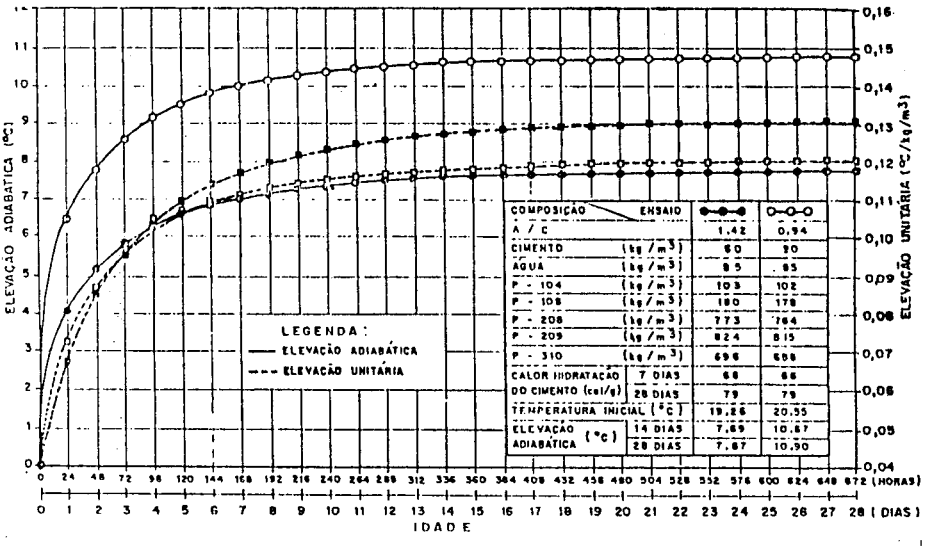


Figura 141 – Curvas de Elevação Adiabática de Temperatura, de Concretos Rolados.

6.10.2. Difusidade e Condutividade Térmica

A difusidade térmica é a relativa capacidade de um material em deixar trocar calor.

A medida da difusividade térmica do concreto consiste, basicamente, em determinar a queda da temperatura de um corpo de prova, em função do intervalo de tempo decorrido.

A difusividade representa a velocidade em que ocorrem variações de temperatura no interior de uma massa. É, portanto, um índice que mostra a maior ou menor facilidade com que o material apresenta as variações de temperatura.

Os ensaios de condutividade podem ser efetuados sobre corpos de prova extraídos a partir dos espécimes moldados para o ensaio de elevação adiabática. As FIGURAS de 142 a 145 mostram a seqüência desde a preparação dos corpos de prova até o ensaio.

Para a leitura de temperatura é utilizado um multímetro digital de precisão acoplado à uma caixa seletora que interconecta os termômetros com sensores de platina.

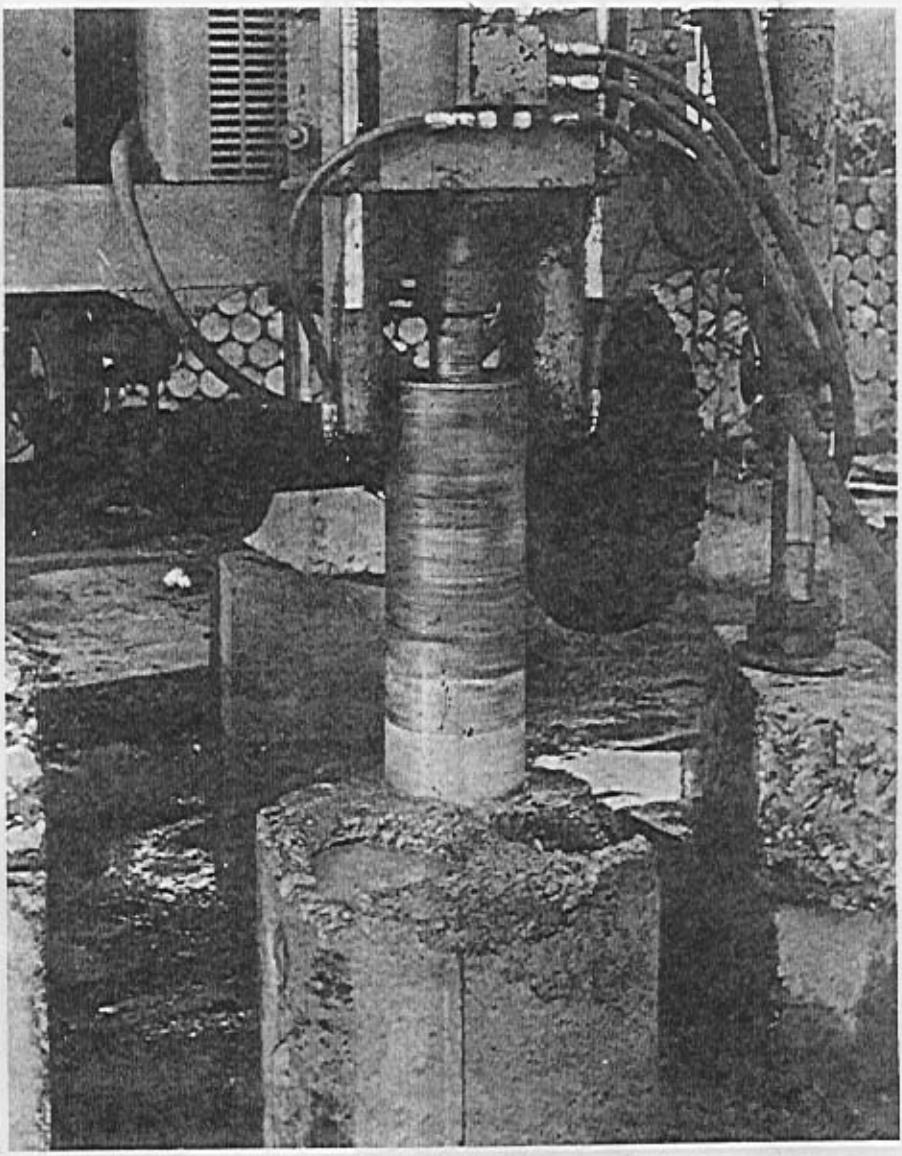


Figura 142 – Extração de Corpos de Prova para Ensaios de Condutividade, e Calor Específico a Partir do Corpo de Prova de Concreto Rolado Moldado para o Ensaio de Elevação Adiabática.

Figura 143 – Execução de Furo Para Permitir Medir o Diferencial de Temperatura

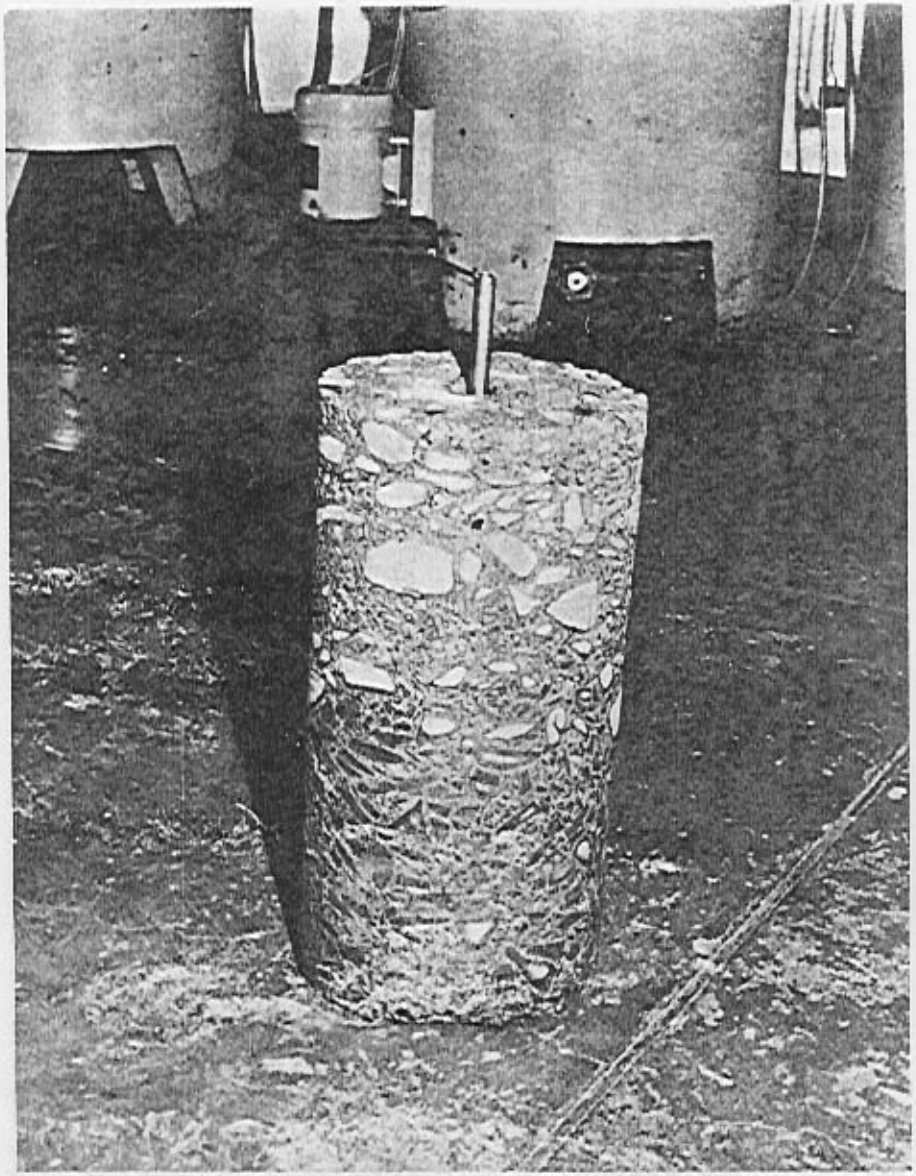


Figura 144 – Corpo de Prova (Ø 20 x 40 CM) de Concreto Rolado, com o Tubo de Cobre, no Furo Central, para Receber o Termômetro.

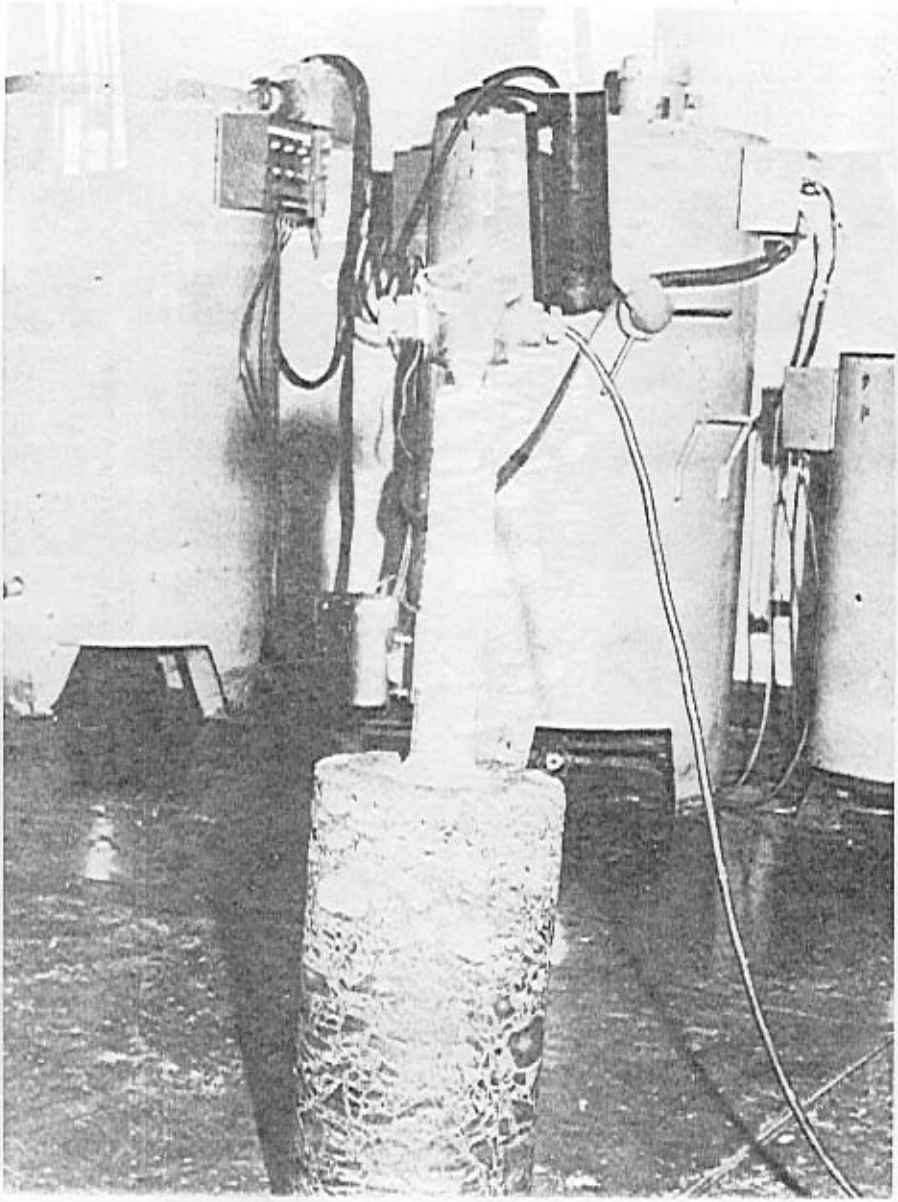


Figura 145 – Corpo de Prova já Preparado, com o Termômetro. Ao Fundo são Vistos os Tanques (À Direita) para Aquecimento (Tanque Maior) e Resfriamento (Menor), Utilizados nos Ensaios

Os valores obtidos para duas misturas de concreto rolado são mostrados na FIGURA 146, onde se incluem valores de condutividade e difusividade de concretos massa convencional, utilizados na obra Itaipu, a título de comparação.

MISTURA	TIPO DE CONCRETO	CIMENTO CONSUMO (kg/m³)	AGREGADO	TÉRMICA CONDUTIVIDADE		TÉRMICA DIFUSIVIDADE	
				10^{-3} [cal/cm s °C]	CV (%)	10^{-3} [cm²/s]	CV (%)
PM - 60	ROLADO	60	BASALTO	4,76	-	7,1	9,3
PM - 90	ROLADO	90	BASALTO	4,22	-	6,06	8,8
76 - M - 04	MASSA	140	BASALTO	4,41	1,2	7,13	1,8
76 - F - 69	MASSA	182	BASALTO	4,60	0,4	7,27	1,4

Figura 146 – Valores de Condutividade e Difusidade Térmica

6.10.3. Calor Específico

Calor específico é a quantidade de calor necessária para elevar de um grau a temperatura da massa unitária do material.

A determinação do calor específico do concreto é feita medindo-se a elevação de temperatura de um corpo de prova de massa conhecida, e termicamente isolado, do ambiente ao qual se fornece uma determinada quantidade de calor.

Figura 147 – Colocação do Corpo de Prova de Concreto Rolado, no Calorímetro, com Auxílio de Haste Metálica Própria.

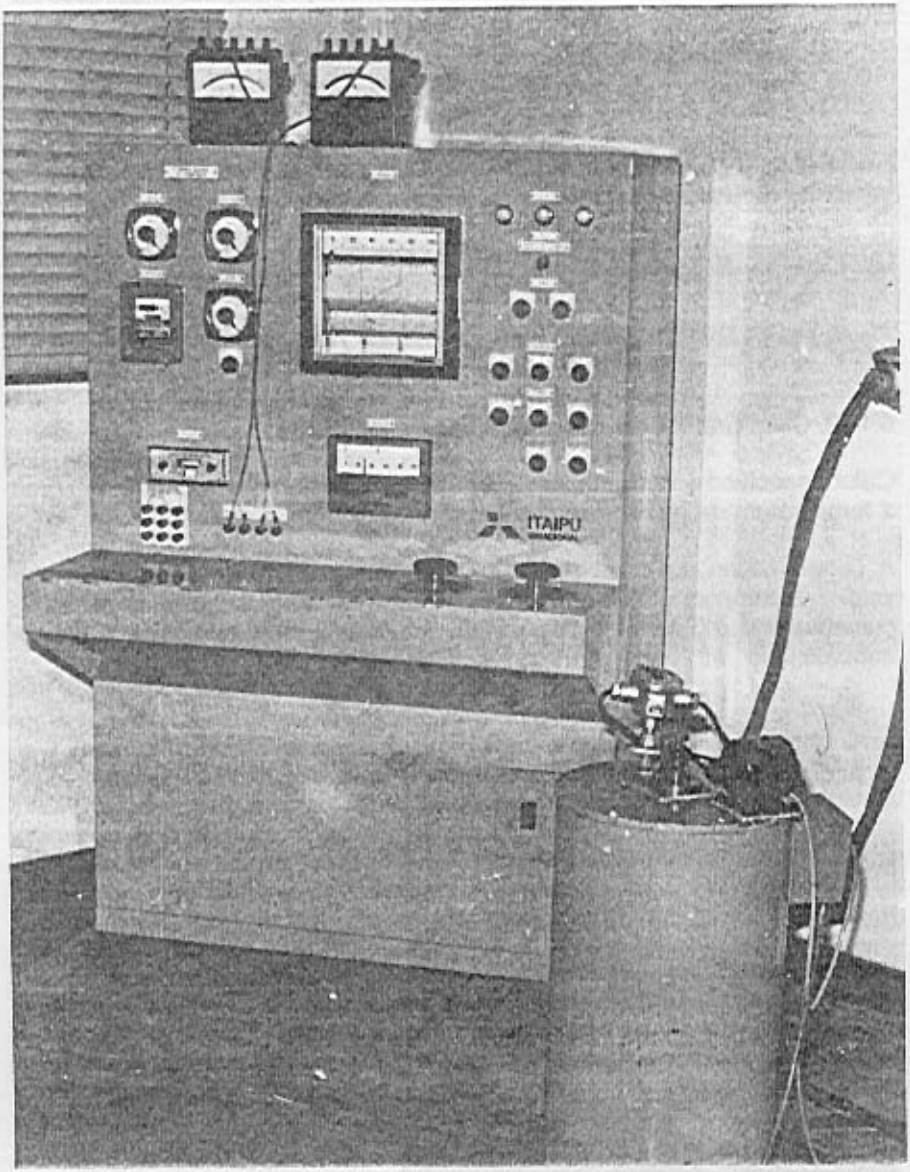


Figura 148 – Calorímetro e Painel de Controle e Medição para Ensaios de Calor Específico. O Equipamento Possui:

- *Relógio Temporizadores*
- *Wattímetro*
- *Termômetros*

O corpo de prova de concreto é introduzido no calorímetro, sendo que um aquecedor centralizado no furo do espécime fornece calor ao centro do corpo de prova. O sistema é mantido em situação homogênea e uniforme. Mede-se a temperatura, a energia fornecida e o tempo, obtendo-se o calor específico para a massa conhecida.

Os valores obtidos para os concretos rolados de Urugua-i são mostrados na FIGURA 148, onde se observa, também, valores de calor específico de concreto massa convencional de Itaipu, para efeitos comparativos.

MISTURA	TIPO DE CONCRETO	CONSUMO (kg/m^3)	TIPO DE AGREGADO	CALOR ESPECIFICO	
				(cal / g°C)	C.V. (%)
PM-60	ROLADO	60	BASALTO	0,238	1,4
PM-90	ROLADO	90	BASALTO	0,233	1,6
76-M-04	MASSA	140	BASALTO	0,243	1,7
76-F-03	MASSA	162	BASALTO	0,252	2,0

Figura 148A – Valores de Calor Especifício de Concretos Rolado e Massa Convencional

6.10.4. Coeficiente Linear de Expansão Térmica

O coeficiente linear de expansão térmica é definido como sendo a variação de um comprimento unitário, causada pela variação unitária de temperatura.

O ensaio consiste em medir a variação de comprimento sendo que o corpo de prova é posicionado, em ciclos alternados, em ambientes de temperaturas distintas.

No caso, o Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional, possui duas câmaras especiais para esse ensaio, para temperaturas de 4ºC ± 1ºC, e 38ºC ± 1ºC.

Os corpos de prova de Concreto Rolado são moldados, nas dimensões de 0,25 x 50 cm, com concreto integral (sem peneiramento). Após a moldagem são cortados longitudinalmente, para uniformizar a superfície a receber a colagem dos extensômetros elétricos (Wire Strain gages), como se vê na FIGURA 149.

Para o ensaio são utilizadas as duas câmaras térmicas (38ºC e 4ºC) e o instrumental visto na FIGURA 150.

Os valores obtidos são mostrados na FIGURA 151 comparativamente, também, com valores de ensaios sobre concretos massa convencional, usados em Itaipu.

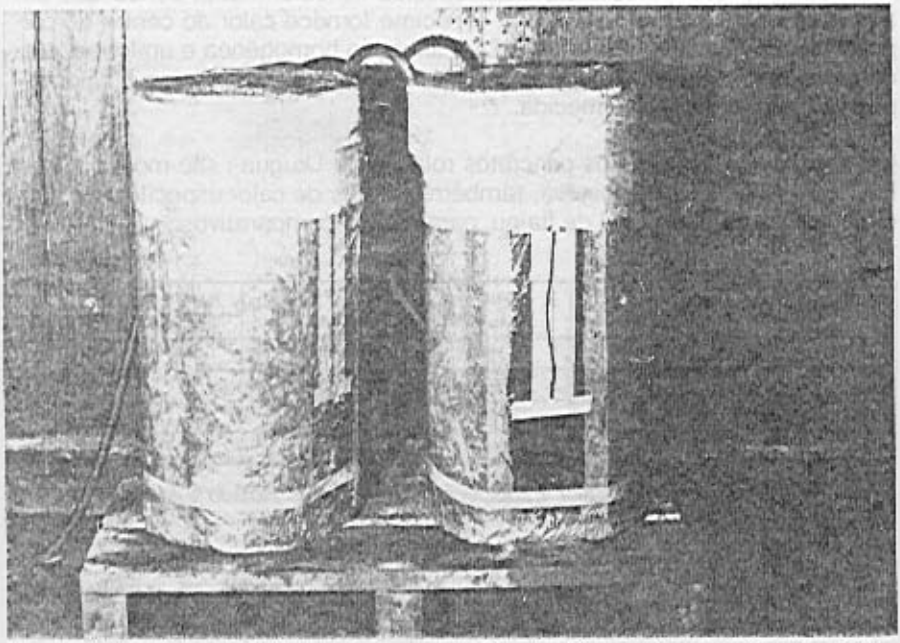


Figura 149 – Corpos de Prova de Concreto Rolado, Preparados para Ensaio de Expansão Térmica.

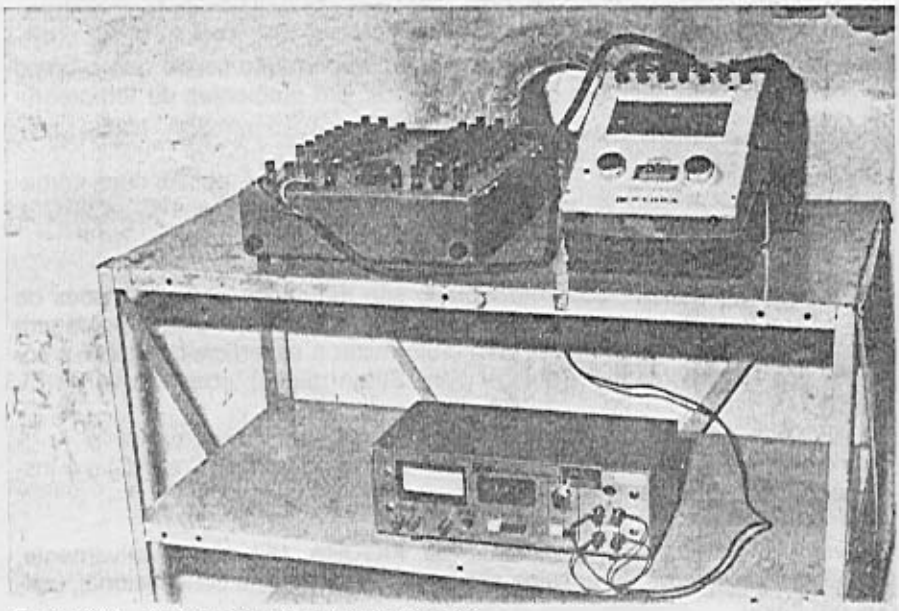


Figura 150 – Instrumental Usado nos Ensaios.

- *Caixa Seletora (Esquerda)*
- *Indicador de Deformação Estática para Leitura das Deformações (Direita)*
- *Ponte Termométrica para Leitura das Temperaturas (Abaixo)*

MISTURA	TIPO DE CONCRETO	CONSUMO (kg/m^3)	TIPO DE AGREGADO	COEFICIENTE LINEAR DE EXPANSÃO TÉRMICA ($10^{-6}/°C$)	OBSERVAÇÕES
PM-60	ROLADO	60	BASALTO	7,41	CONCRETO SATURADO
PM-90	ROLADO	90	BASALTO	8,33	"
76-D-04	MASSA	189	BASALTO	8,00	"
76-F-03	MASSA	162	BASALTO	7,71	"

Figura 151 – Valores de Coeficiente de Expansão Térmica Linear de Concretos Rolado e Massa Convencional

6.11. Permeabilidade e Absorção

A permeabilidade e absorção do concreto dependem muito do sistema e distribuição de vazios, do grau de compactação, bem como do teor de pasta da mistura. A absorção do "Concreto Rolado" tem se apresentado entre 3% e 5%.

A determinação da permeabilidade, consiste em se avaliar a passagem de um fluxo de água, pelo material, com dimensões e condições conhecidas.

Pelo conceituado na Lei de Darcy, determina-se o coeficiente de permeabilidade kc do concreto, através de:

$$Kc = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H}, \text{ sendo}$$

Kc = Coeficiente de permeabilidade do concreto
Q = Vazão
L = Comprimento do corpo de prova
H = Altura da coluna d'água
A = Área da seção transversal do corpo de prova

Os ensaios são executados sobre corpos de prova extraídos, com dimensões ∅ 25 x 25 cm preparados como evidenciam as FIGURAS 152 e 153.

Para execução do ensaio é utilizado um equipamento próprio, mostrado na FIGURA 154.

Durante o ensaio a temperatura do ambiente é mantido à 23ºC ± 1ºC.

Os valores obtidos nos ensaios são mostrados na FIGURA 155, em conjunto com outros valores de permeabilidade de concretos rolados, e de concretos convencionais.

Esses valores são maiores que os obtidos para o concreto massa convencional que se situam entre (70) (71) 10^{-14} m/s e 10^{-13} m/s.

Figura 152 – Corpos de Prova de 0 25 x 25 cm, de Concreto Rolado, Preparados, na Superfície Lateral, com Argamassa Epoxídica

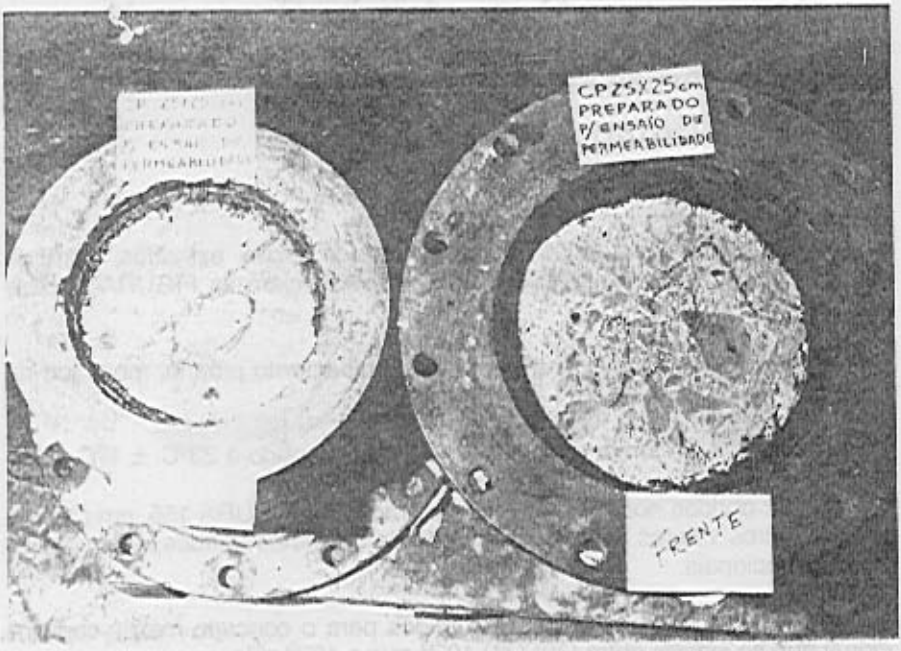


Figura 153 – Instalação do Corpo de Prova na Campânula de Ensaio

Essas características devem ser tomadas em consideração no projeto de uma obra, como se comenta no item 4.6.

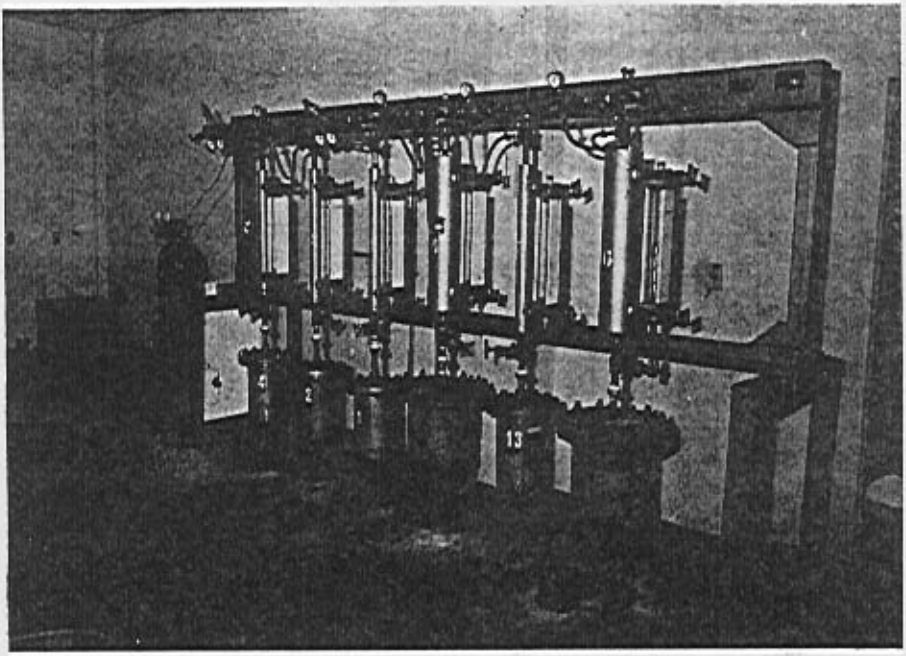


Figura 154 – Equipamento Usado no Ensaio de Permeabilidade

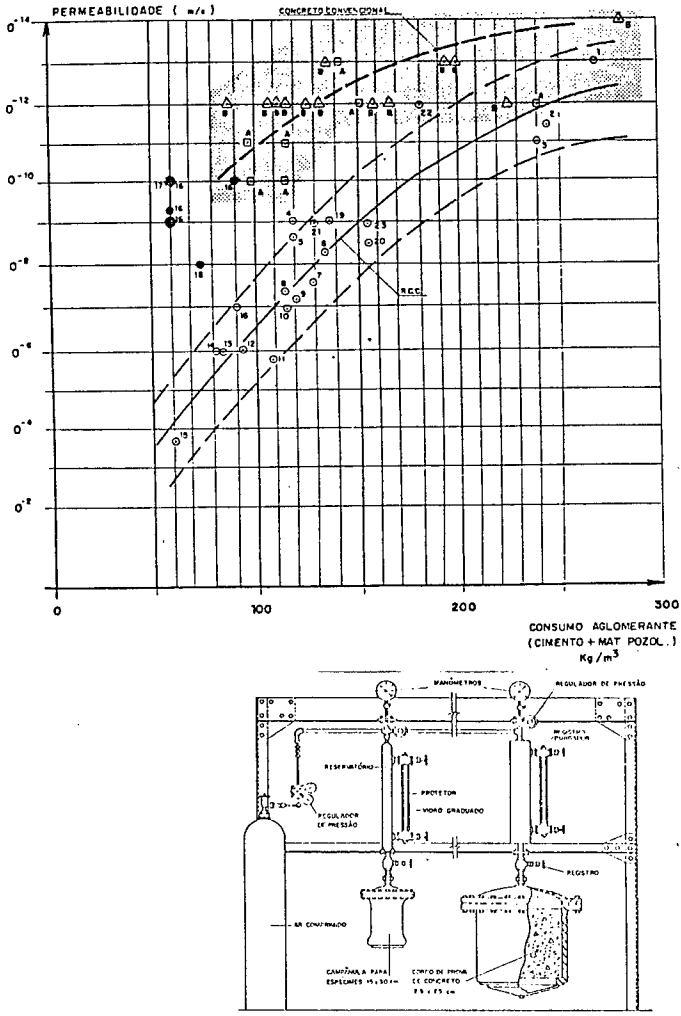


Figura 155 – Coeficientes de Permeabilidade

7 EXECUÇÃO DO CONCRETO ROLADO

7.1. Generalidades

O planejamento, a logística e o arranjo geral para construção com CCR são consideravelmente diferentes que para concreto massa convencional, pois, em lugar da construção vertical em blocos virtualmente independentes, o lançamento, no caso do "Concreto Rolado", segue um fluxo horizontal, como uma obra de terraplenagem.

Quando ocorrem problemas na área de lançamento, eles devem ser imediatamente solucionados sob pena de reduzirem ou paralisarem a produção, a custo elevado. Isto porque, tipicamente, o lançamento de CCR se faz de ombreira a ombreira ou em grandes áreas, não se prevendo frentes de trabalho alternativas. A necessidade de não haver interrupção faz com que praticamente, todos os materiais, acessos, embutidos, fundações, equipamentos, etc., sejam estudados, planejados e colocados à disposição da obra com antecedência.

Todos os serviços relativos ao abastecimento e limpeza de equipamentos, montagem de formas e de embutidos, etc., devem ser levados em consideração no sentido de não interferirem nos serviços de lançamento, espalhamento e compactação, sendo executados de preferência, fora das regiões afetadas por tais serviços e em horas de troca de turno ou de parada programada. O acesso às praças de lançamento de veículos e de pessoal não diretamente envolvidos nos serviços relativos do CCR deve ser evitado.

As razões dessas precauções residem no fato de que a velocidade de construção é, um dos fatores que induzem à maior economia ao se aplicar o método. Uma barragem de CCR pode subir cerca de 60 cm/dia, dependendo apenas da velocidade de produção do material. Com isso uma obra de 50 m de altura poderia levar cerca de 3 meses para ser concluída. É o caso, por exemplo, das Barragens de Saco de Nova Olinda, Grindstone, etc.

7.2. Canteiro de Obra

Para o bom desenvolvimento de obra em CCR, três itens relativos ao canteiro de obras são de fundamental importância: a estocagem de agregados, a locação das centrais de concreto e o fluxo de materiais e equipamentos às praças de lançamento.

A produção e estocagem de agregados, previamente ao início dos serviços, devem ser, de preferência, a maior possível e, em algumas obras, tem chegado a cerca da metade das necessidades de agregados para CCR. As razões para tanto são:

- Construtivas:

  A "velocidade" de utilização de agregados pode suplantar suas velocidades de produção e com estoque "pulmão" pode-se garantir o lançamento o CCR, sem atrasos ou paradas. Além disso, o material que, ocasionalmente, seja produzido fora dos limites de especificação, pode ser misturado em um grande estoque de modo a resultar em material ainda dentro dos limites;

- Econômicas

  É relativamente fácil ter o sistema de produção de agregados em plena operação enquanto os trabalhos para o início das obras estejam começando; isto pode influir no fluxo de caixa, dependendo do tipo de contrato.

- Técnicas

  Em regiões onde as diferenças de temperaturas médias por estação são grandes é vantajoso produzir grande parte do agregado durante o inverno, estocando-o de modo que, por inércia térmica, seja possível o lançamento de grandes volumes, mesmo no verão com isso são reduzidas as probabilidades de fissuramento de origem térmica; este tipo de procedimento é utilizado, quando possível, em locais onde ocorre inverno rigoroso o que dificilmente pode ser benéfico nas condições brasileiras.

A localização, o tamanho e a forma dos estoques de agregados devem ser coordenados com a locação das centrais de concreto e com o método de abastecimento, visando otimizar e agilizar as operações relativas a produção de CCR.

A localização da central de concreto deve ser tal que os requisitos de energia sejam minimizados, ou seja, que possibilite redução nas distâncias de transporte horizontal e vertical, para que o tempo de exposição da mistura fresca seja mínimo. Especificamente, se utilizados caminhões, a central deve ser localizada em área elevada de modo que vazamentos e água servida sejam drenados para longe.

As FIGURAS 162 a 164 sugerem (72) algumas idéias de planejamento de instalações para o "Concreto Rolado".

Figura 156 – Estoques de Agregados, Processados Parcialmente Antes do Início da obra – URUGUA-I ARGENTINA

Figura 157 – Disposição das Instalações de Produção Junto à Obra URUGUA-I – ARGENTINA

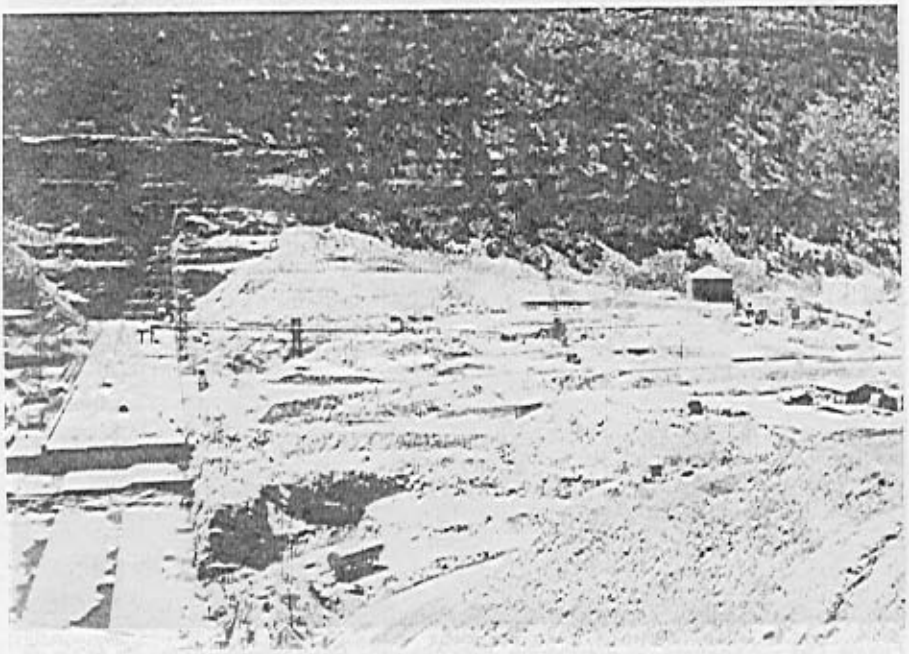


Figura 158 – Instalações de Produção Junto à Obra – UPPER STILL-WATER – EUA.

Figura 159 – Sistema de Beneficiamento de Agregados – UPPER STILL-WATER – EUA.

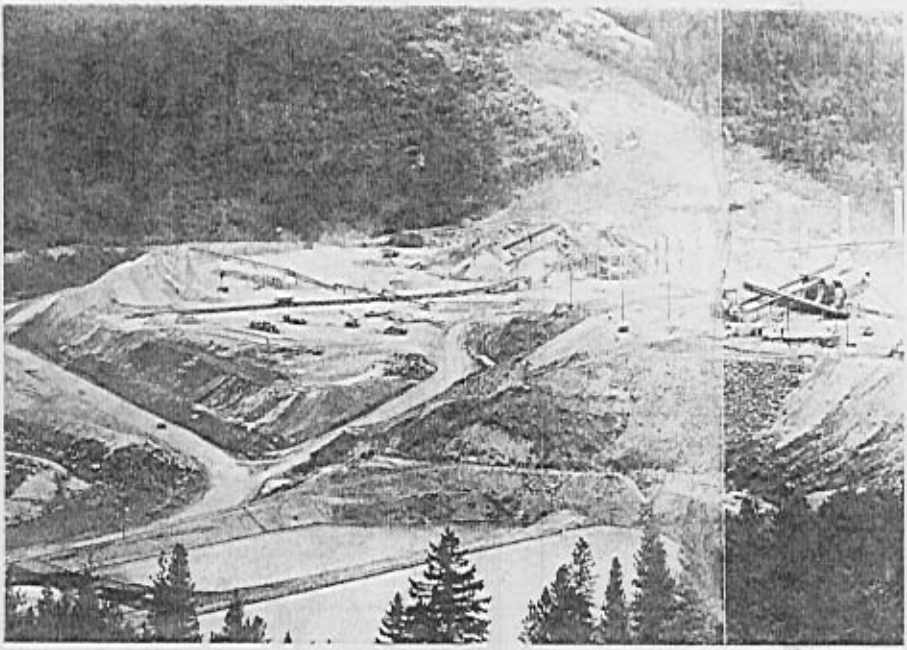


Figura 160 – Sistema de Produção de Agregados e Concretos Junto à Obra – ELK CREEK – EUA.

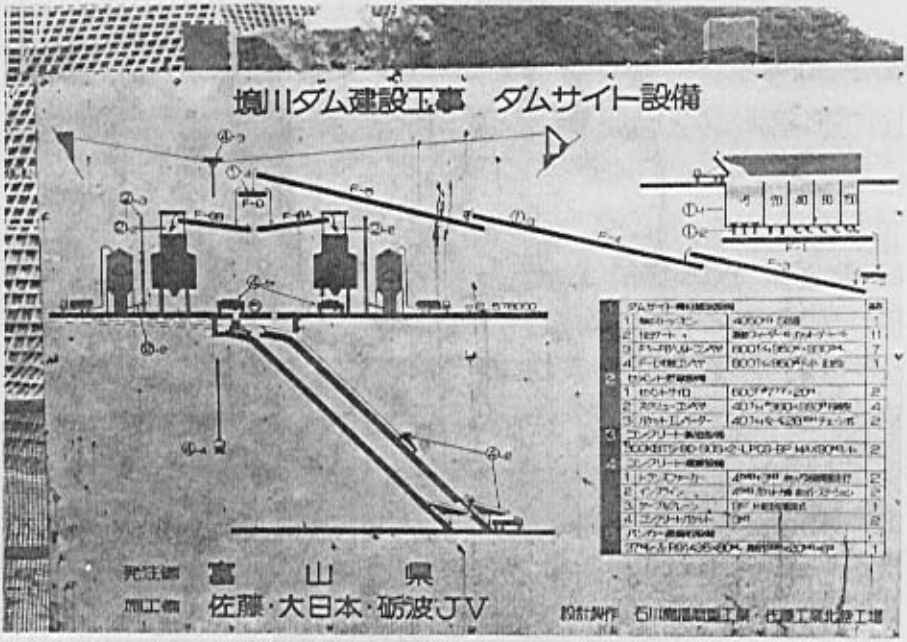


Figura 161 – Fluxograma de Produção de Concreto – Desde os Estoques de Agregados Até o Transporte do Concreto Pelo Plano Inclinado – SAKAIGAWA – JAPÃO

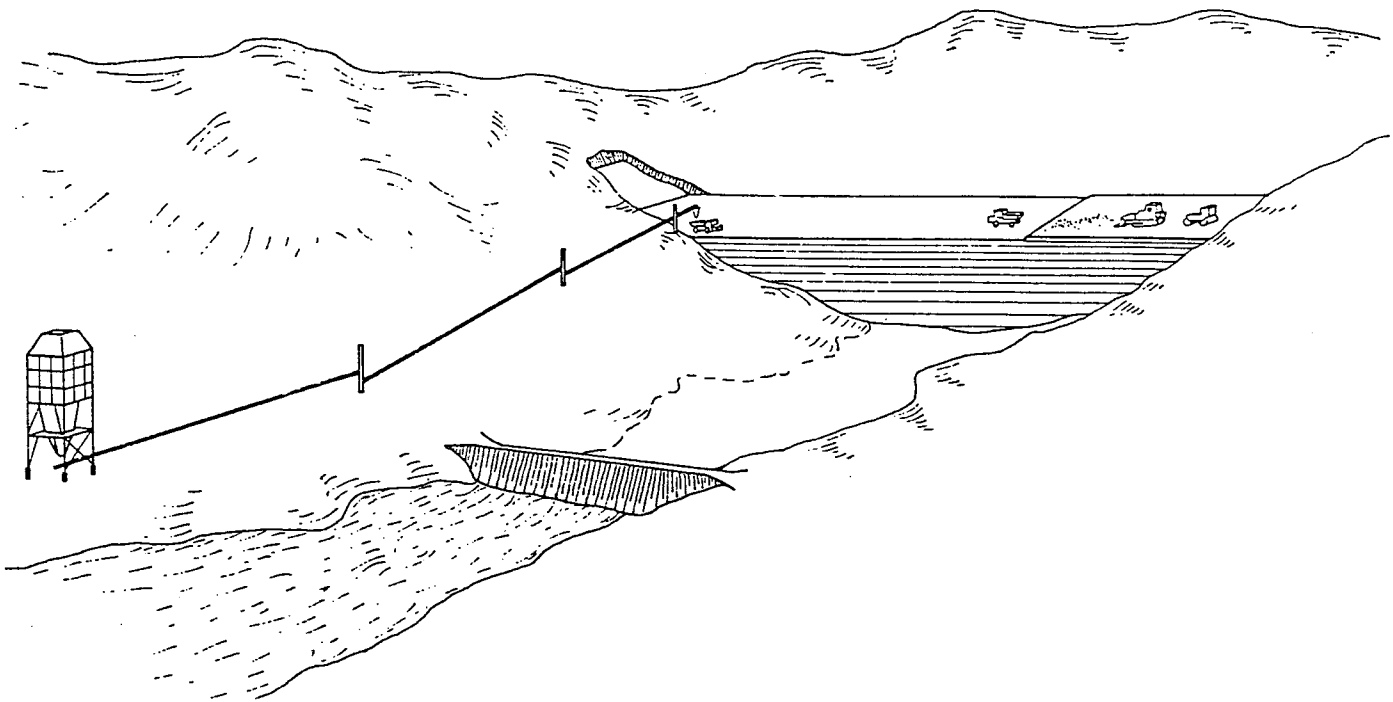


Figura 162 – Uso de Correias e Caminhão Basculante para a Colocação do Concreto Rolado (72)

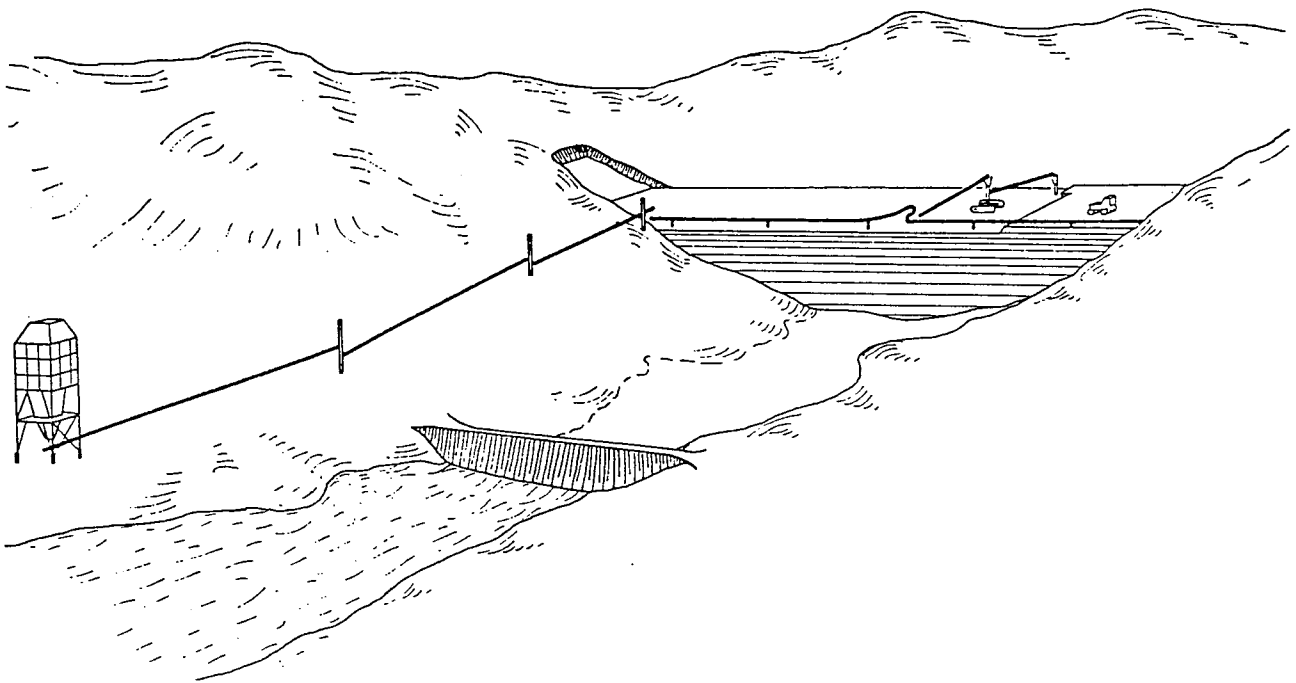


Figura 163 – Uso de Correias para a Colocação do Concreto Rolado (72)

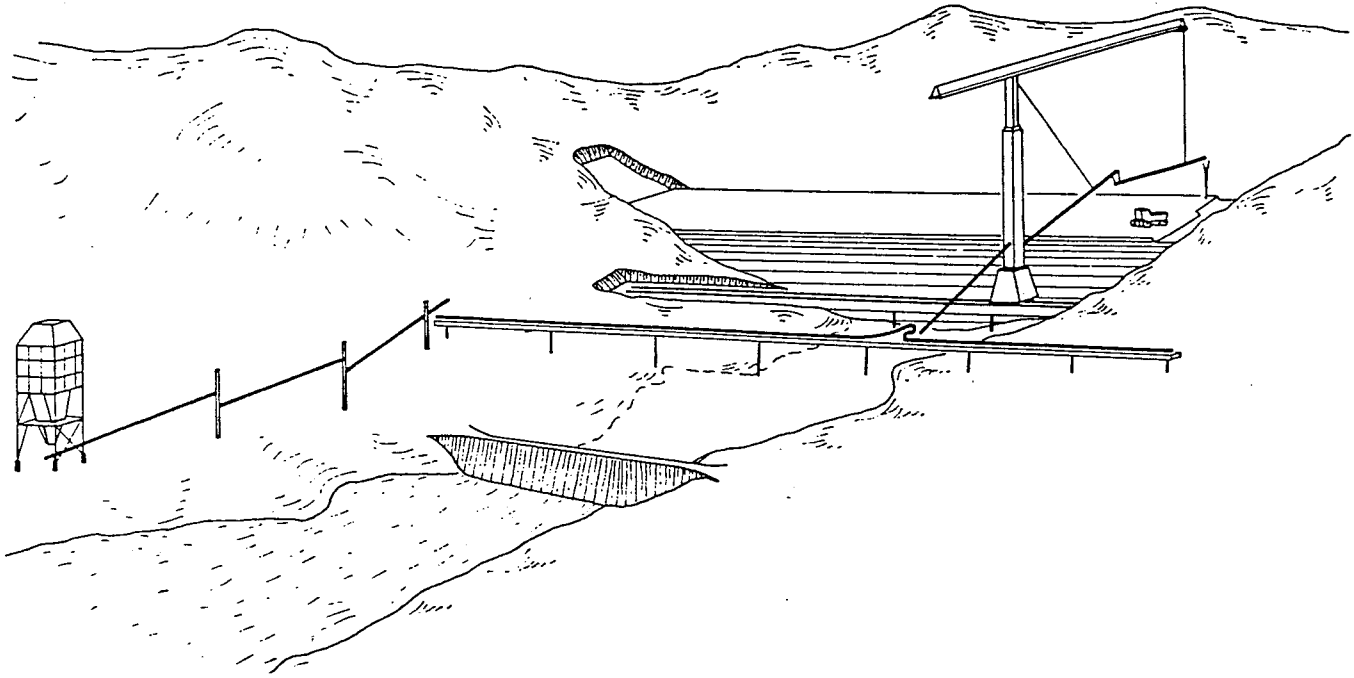


Figura 164 – Uso de Correias e Guindaste com Lança em Torre, com Correia, para a Colocação do Concreto Rolado (72)

7.3. Acessos

Ao se utilizar veículos para o transporte de CCR, um completo estudo, preliminar, deve ser feito para todo o sistema de acessos à obra, enfocando o terreno local, a existência de material de empréstimo, localização das diversas centrais, itinerários e considerações ambientais.

Caso a central de concreto se localize a montante da barragem, por exemplo, o problema a estudar será como fazer a rodovia atravessar o paramento montante. Outro problema a ser verificado, sempre, é como elevar os acessos de modo a mantê-los ao nível da camada em lançamento. Além disso deve ser lembrado que taludes e inclinações de pista devem ser mantidas de acordo com a capacidade dos equipamentos e regras usuais de segurança.

Acessos à superfície de lançamento devem ser os mais retos possíveis de maneira a evitar curvas e, portanto, minimizar a ocorrência de danos provocados pelos pneus dos equipamentos. As superfícies dos acessos às praças de lançamento devem ser capeadas com cascalho ou rocha de modo que ajudem a "limpar" os pneus dos veículos e previnam a contaminação da superfície do CCR por lama, pó, etc. O procedimento usual para minimizar tal contaminação, tem sido a lavagem dos pneus dos veículos por meio de jatos d'água, imediatamente antes de adentrarem as praças de lançamento.

Figura 165 – Lavagem dos Pneus do Veículo Transportador de Concreto Rolado – ITAIPÚ

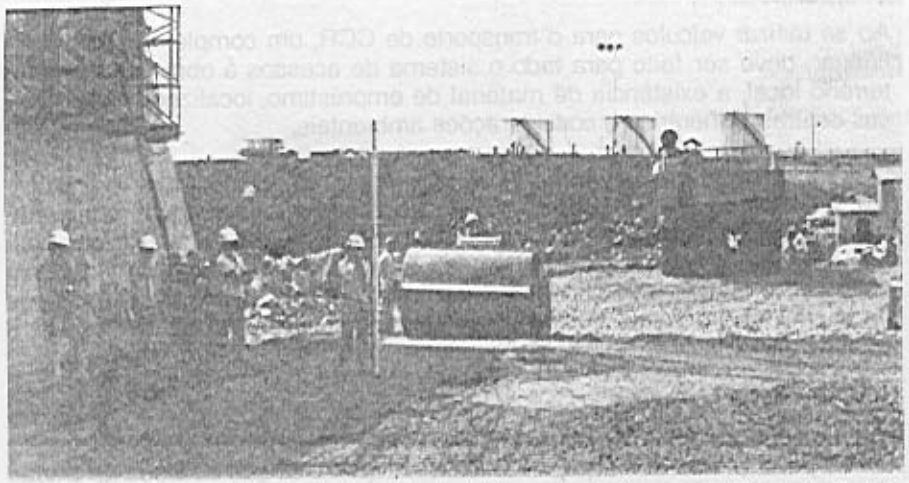


Figura 166 – Aspecto da Pista de Entrada à Praça de Aplicação do Concreto Rolado – TUCURUI – BRASIL

Do ponto de vista de facilidade de acesso, a localização ideal para as centrais de concreto aparenta ser uma das ombreiras, obtendo-se, em geral, acessos curtos e em linha com o eixo longitudinal da obra.

Ao se planejar e dimensionar os acessos, deve ser lembrado que a utilização do CCR em barragens traz benefícios e vantagens devido, principalmente, a rapidez de construção. Portanto o fluxo de materiais e equipamentos, de/e para a praça de lançamento, deve ser o mais curto e rápido possível para que sejam obtidos menores ciclos de transporte. Isso significa que os acessos devem ser dimensionados para tanto e a localização das diversas centrais e áreas de trabalho devem interferir o mínimo possível neste fluxo.

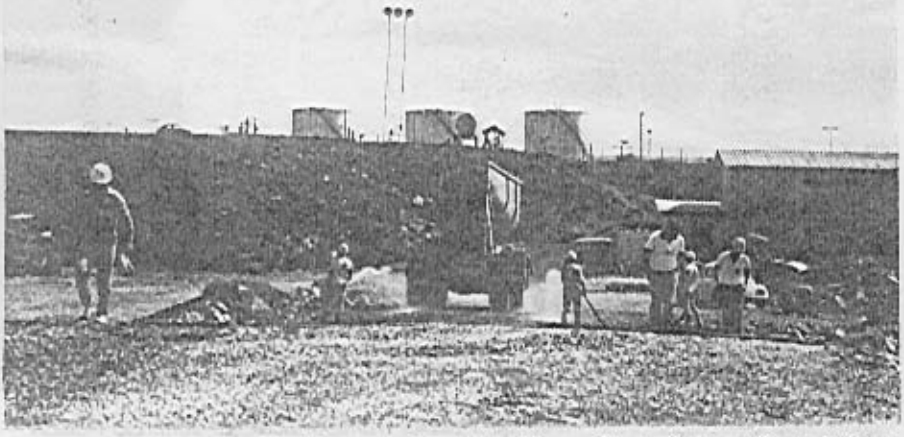


Figura 167 – Lavagem dos Pneus do Caminhão Dump–Crete, Sobre a Pista de Enrocamento – TUCURUI – BRASIL

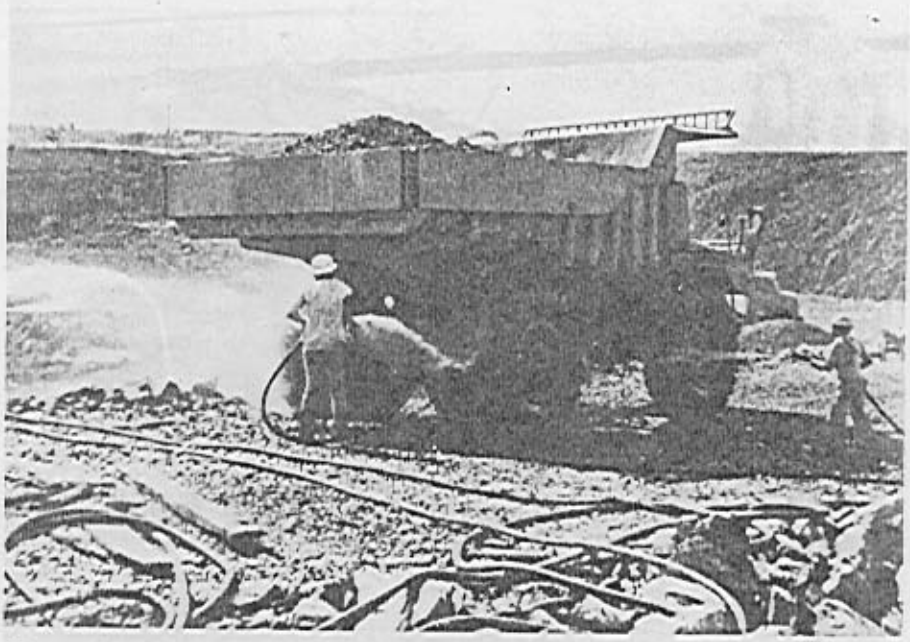


Figura 168 – Lavagem dos Pneus do Caminhão "Fora de Estrada" – TUCURUI – BRASIL

Figura 169 – Aspecto dos Pneus, Após a Lavagem, Imediatamente Antes de Entrar na Praça de Aplicação do Concreto Rolado – Tucurui – Brasil

Figura 170 – Lavagem dos Pneus, Sobre Pista de Britas – UPPER STILLWATER – EUA

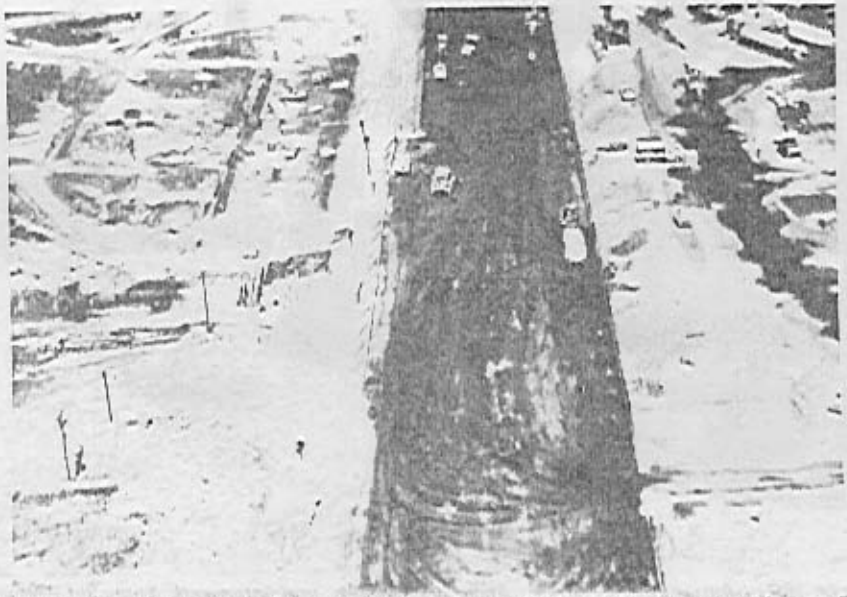


Figura 171 – Aspecto de Praça de Aplicação do CCR, Notando-se as Marcas Evidentes Deixadas Pelo Tráfego de Veículos – WILLON-CREEK – EUA.

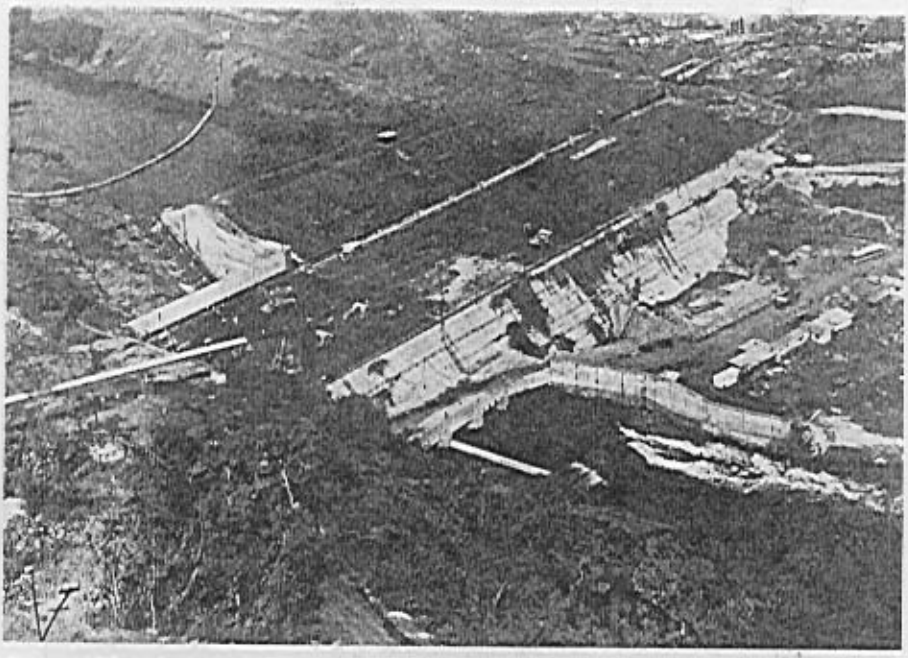


Figura 172 – Acesso à Praça do CCR e Esteira (Protegida) de Transporte – URUGUA-I – ARGENTINA

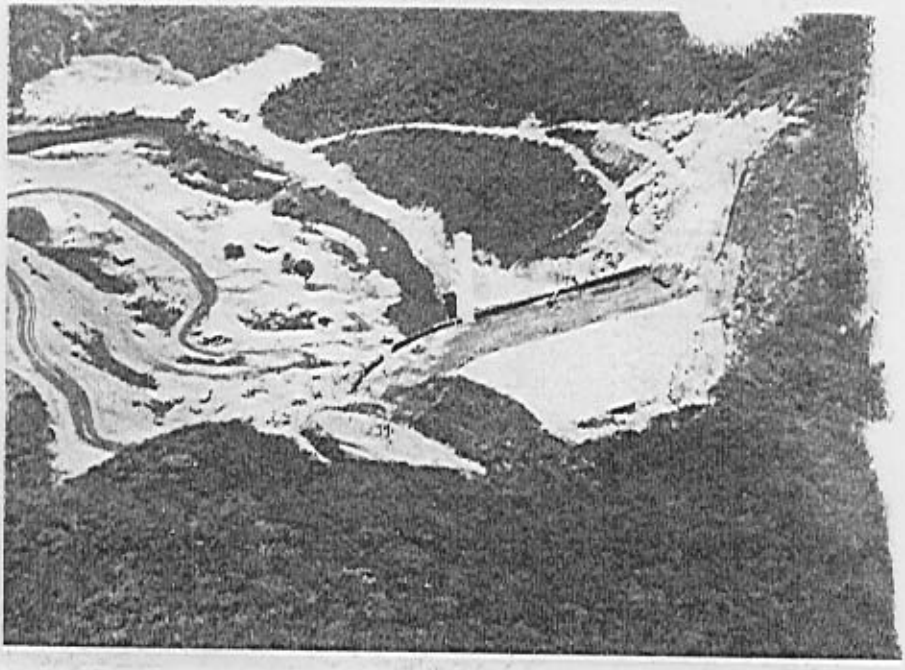


Figura 173 – Acessos à Praça do CCR – Saco Nova Olinda – Brasil

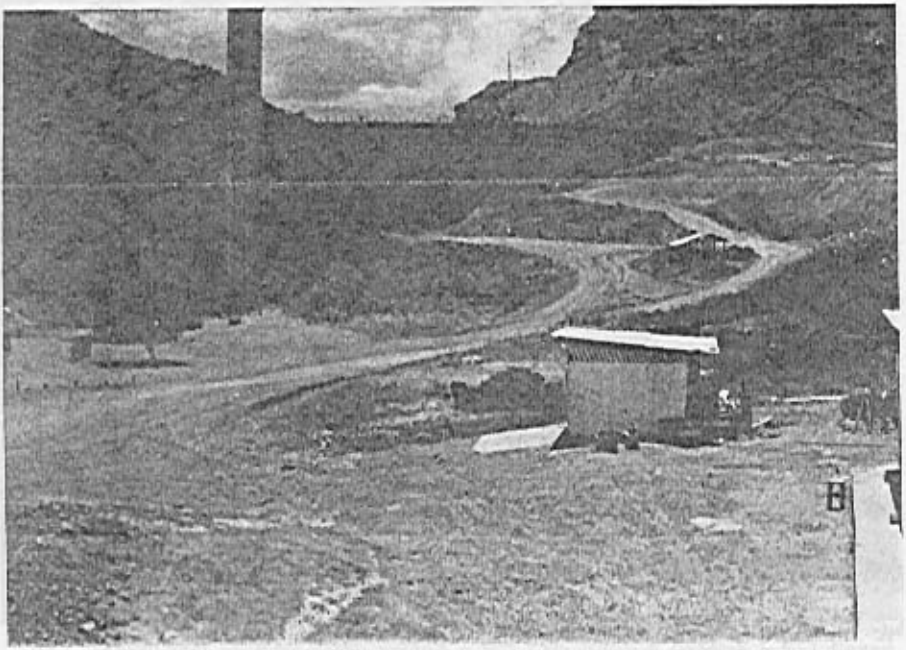


Figura 174 – Vista dos Acessos aos Vários Níveis das Praças de Aplicação do CCR – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

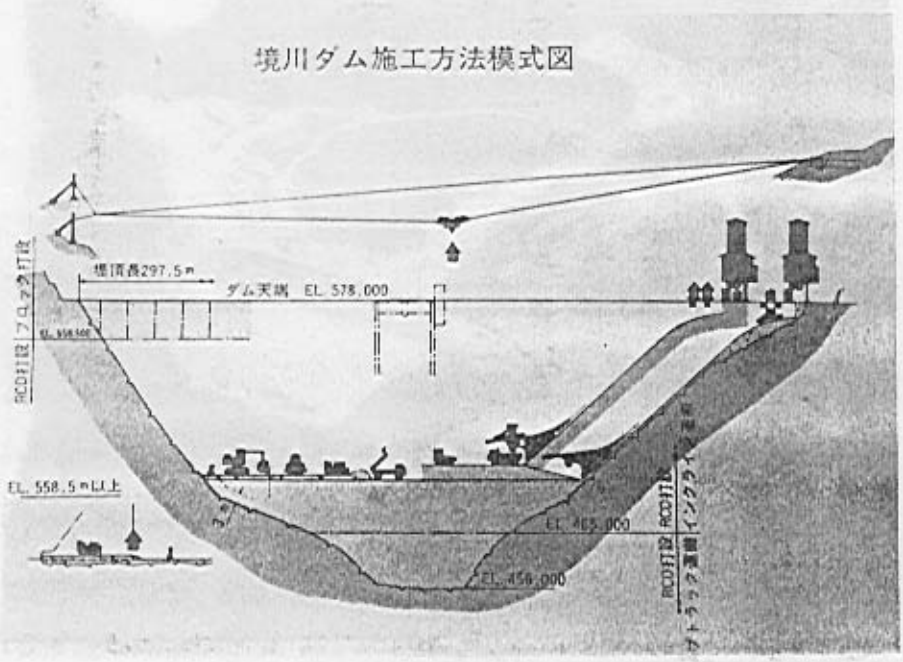


Figura 175 – Esquema do Acesso dos Concretos à Obra – SAKAIGAWA – JAPÃO

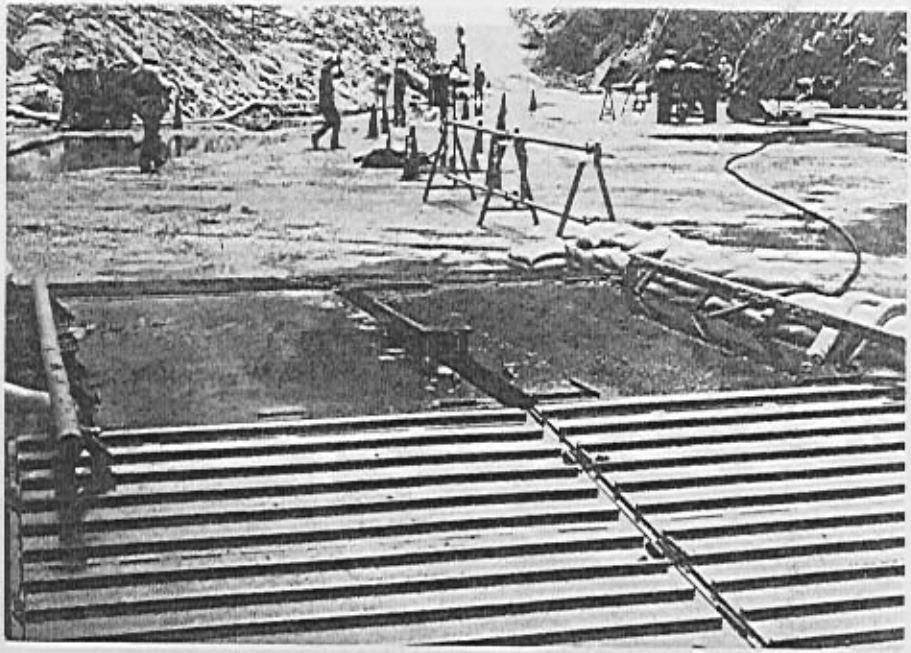


Figura 176 – Plataforma Metálica para Lavagem dos Pneus do Caminhão Basculante – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 177 – Detalhe do Lavador – SAKAIGAWA – JAPÃO

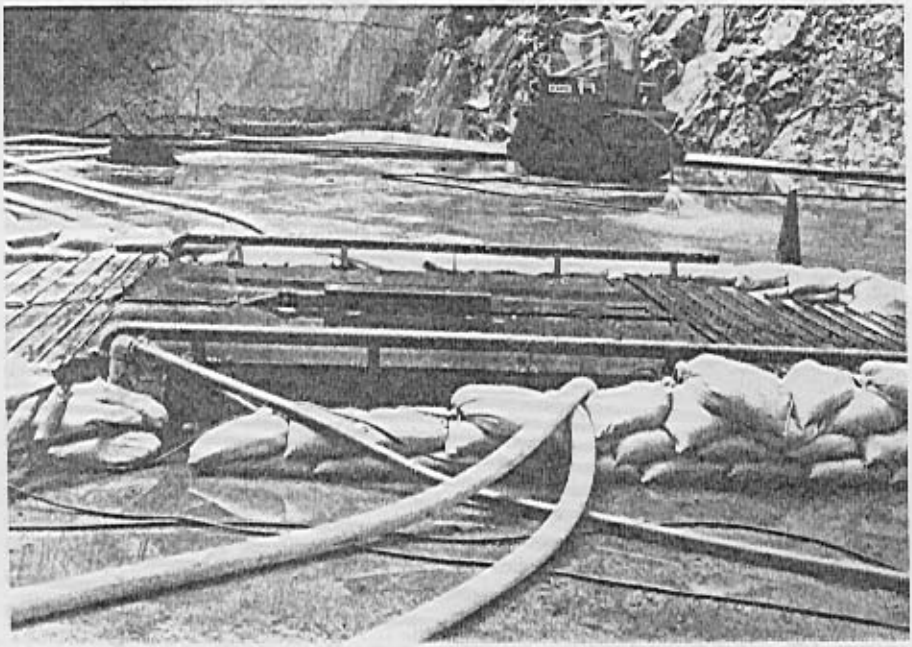


Figura 178 – Detalhe Lateral do Lavador de Pneus – SAKAIGAWA – JAPÃO

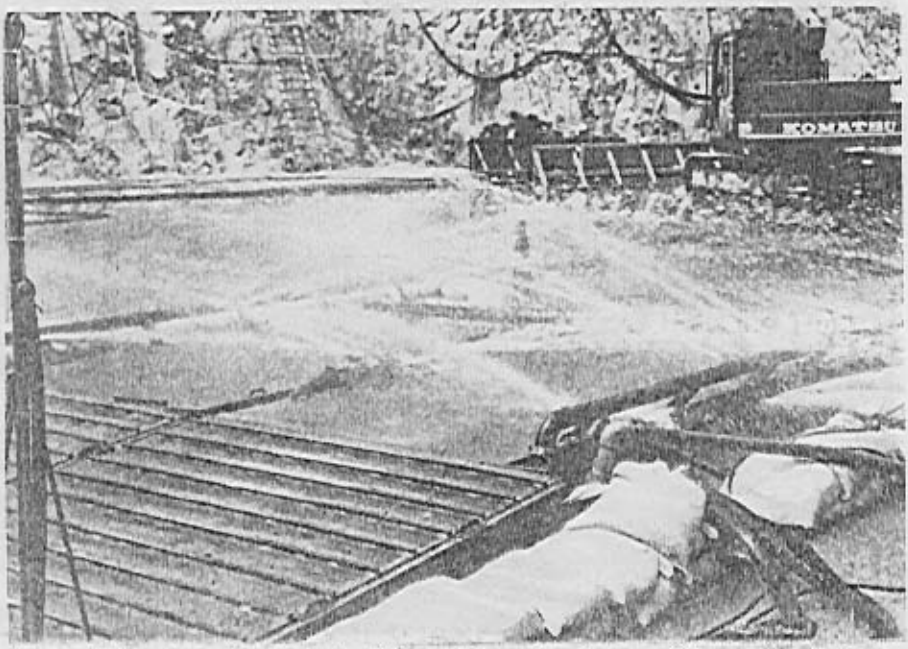


Figura 179 – Aspectos dos Jatos D'Água do Lavador. Nota-se à Esquerda o Ponto de Acionamento do Sistema – SAKAIGAWA – JAPÃO

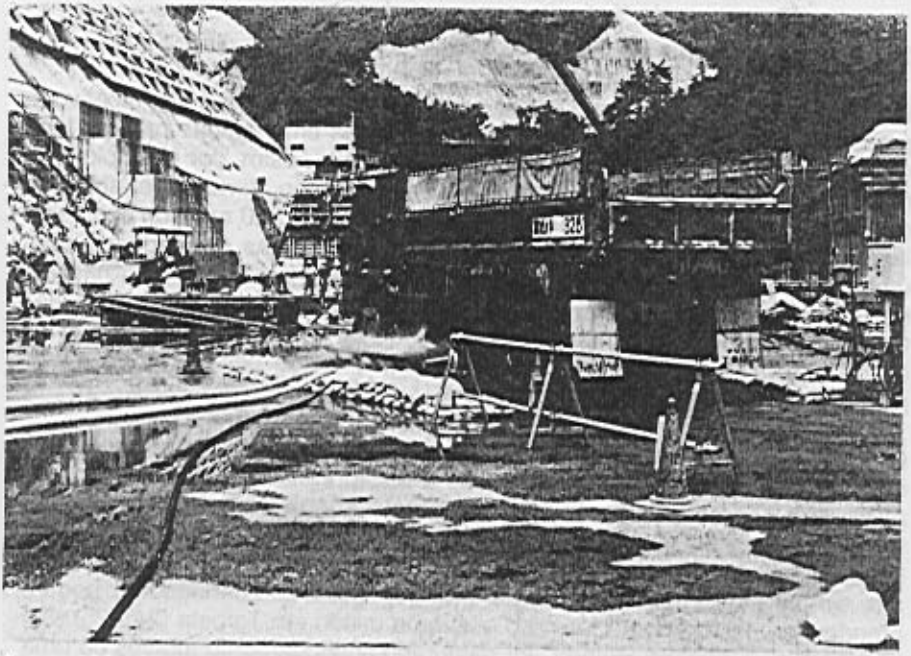


Figura 180 – Vista do Lavador em Ação – SAKAIGAWA – JAPÃO

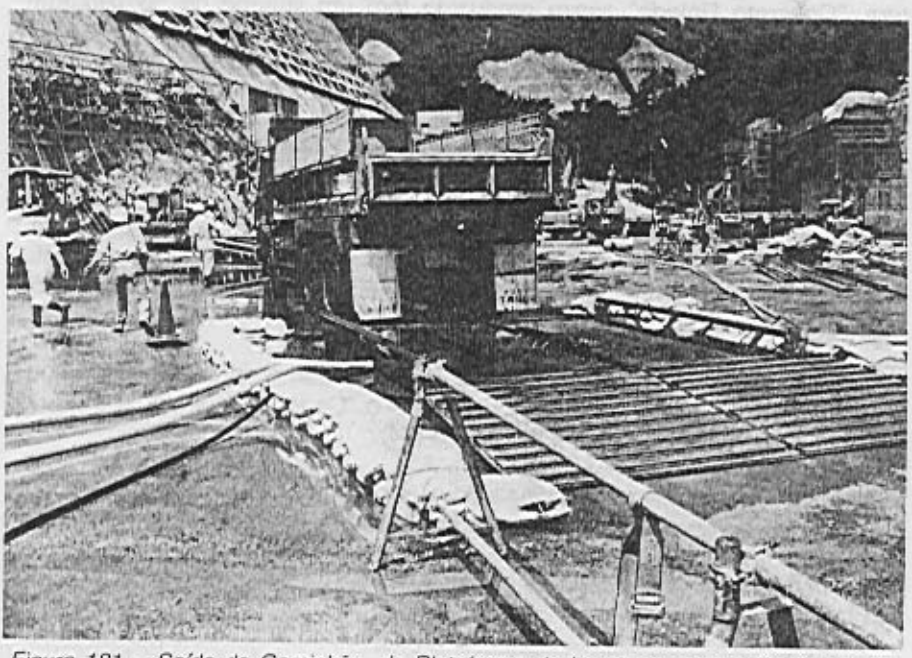


Figura 181 – Saída do Caminhão, da Plataforma de Lavagem, com o Desligamento Automático dos Jatos – SAKAIGAWA – JAPÃO

7.4. Produção (mistura) do CCR

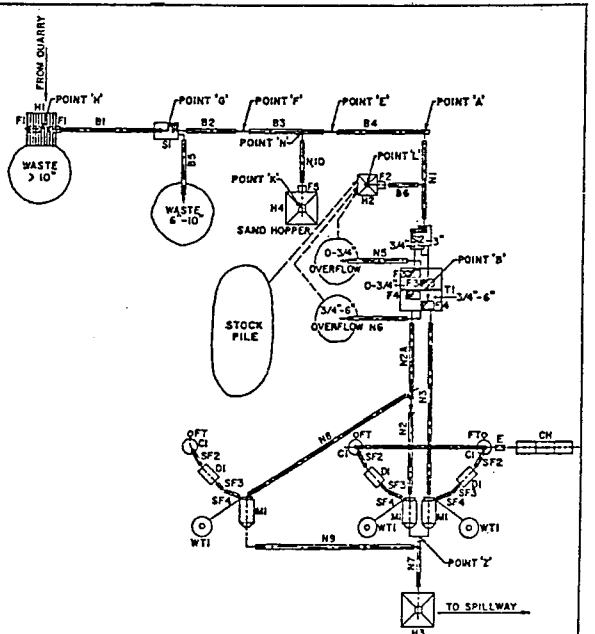
O conceito do concreto compactado com rolo altera de modo significativo a produção do material, se comparado com práticas empregadas para os lançamentos em barragens de concreto convencional. Assim, por exemplo, um rolo vibratório, que apresente energia de compactação, dimensões, amplitude e freqüência adequados, pode compactar mais de 320 m^3/h de concreto, lançado em camadas de 30 cm, apenas com 4 passadas e trafegando com uma velocidade de aproximadamente 3 km/h. Para essa produção haveria necessidade de uma central convencional com 4 betoneiras de 3 m^3 cada. Caso os volumes a concretar ou a velocidade de construção sejam maiores há necessidade de maior número de centrais, ou de betoneiras de maior porte, ou com menores ciclos de mistura.

Os requisitos para mistura do "Concreto Rolado" podem variar de acordo com exigências para sua aplicação. Se a seção transversal da estrutura for algo entre a dimensão da seção transversal de uma Barragem de Enrocamento e a de concreto massa convencional, com resistências requeridas entre às de um enrocamento e às de um concreto massa convencional, então um simples misturador capaz de produzir grandes quantidades, poderá atender satisfatoriamente, como o esquema usado em Tarbela (24) (25) (39) (73) onde o "Concreto Rolado" foi misturado continuamente através de uma série de "Chicanas" (Rock Ladders – escadas para reduzir segregação em estoques de agregados) estrategicamente posicionadas para produzir a mistura. "Concreto Rolado" assim produzido (em um volume de aproximadamente = 382.000 m^3) apresentou uma resistência média à compressão axial simples, medida em testemunhos, de 175 kgf/cm^2 a idade de 70 dias e um coeficiente de variação ao redor de 36%, para um consumo médio de 110 kg/m^3 de aglomerante. Esse sistema de Tarbela foi posteriormente, modificado, para os reparos do vertedouro, sendo que a mistura passou a ser feita por sistema contínuo através de três tambores giratórios de diâmetro 2,65 m e comprimento 6,72 m girando a 6 R.P.M. (Ver FIGURA 182 e 183) para uma produção horária de 100 m^3, cada misturador. Com esse sistema, foram produzidos 518.000 m^3 de "Concreto Rolado" (73), sendo que o coeficiente de variação da resistência, a compressão axial simples, à idade de 28 dias, passou a ficar entre 17% e 23%.

O critério fundamental para a escolha de um sistema de produção de concretos, entre os vários tipos de concretos – o "Concreto Rolado" – é que o produto possua consistência e qualidade (74).

O método ou processo, de mistura deve ser capaz de umidecer toda a superfície dos agregados com a pasta de cimento e produzir uma mistura homogênea. Isso determina o tempo de mistura e conseqüentemente tem influência direta na capacidade de produção da central de concreto.

POSITION	QTY.	DESCRIPTION	CAPACITY tons/hr	POWER kw
H1	1	Receiving hopper with grizzly bars	-	-
H2	1	Receiving hopper for overflow material	-	-
H3	1	Rollcrete distributing hopper	-	-
B1	1	Conveyor belt 1400 mm L=54 m H=13 m	800	90
B2	1	Conveyor belt 1400 mm L=588 m H=52 m	800	300
B3	1	Conveyor belt 1600 mm L=298 m H=4 m	800	110
B4	1	Conveyor belt 1000 mm L=364 m H=22 m	600	160
B5	1	Conveyor belt 1400 mm L=35 m H= 5 m	300	26
B6	1	Conveyor belt 1000 mm L=45 m H=25 m	800	55
F1	2	HewittRobins feeder type LFE-9 Model 48" x 120"	2x600	30
F2	1	Loro Parisini feeder EH 1250 x 2000 TS 1400	600	2.5
F3	2	Loro Parisini feeder EH 1000 x 1500 TS 1400	2x300	5
F4	2	Loro Parisini feeder EH 1250 x 2000 TS 1400	2x300	5
M1	1	Conveyor belt 1400 mm L=50 m H=11 m	800	55
M2	1	Conveyor belt 1400 mm L=50 m H=5 m	300	41.5
M2A	1	Conveyor belt 1400 mm L=30 m H=5 m	800	41.5
M3	1	Conveyor belt 1400 mm L=50 m H=5 m	300	41.5
M5	1	Conveyor belt 1400 mm L=14 m H=0 m	300	22
M6	1	Conveyor belt 1400 mm L=14 m H=0 m	300	22
M7	1	Conveyor belt 1400 mm L=50 m H=10.5 m	800	106
T1	1	Screening tower	-	-
FT	2	Filter type DVS 15/C	-	15
C1	3	Cement silo type C-50	-	-
SF1	1	Screw feeder	-	10
SF2	3	Screw feeder	-	15
SF3	3	Screw feeder	-	5
D1	3	Batching device	-	-
M1	3	Drum mixer		89
WT1	3	Water tank	-	5.5
E	1	Cement elevator	-	4
CH	1	Cement hopper	-	7.5
S1	1	HewittRobins screen type mig model 84"x168"	600	40
S2	1	HewittRobins double deck screen type mig model 96"x192	600	40
SF4	3	Screw feeder	-	12
N8	1	Conveyor belt 1400 mm L=46.9 m H=9.3 m	300	34
N9	1	Conveyor belt 1400 mm L=22.5 m H=5.2 m	300	30
N10	1	Conveyor belt 1200 mm L=100 m H=7.5 m	200	37
P3	1	Venanzetti EVA 100/15 P-B	300	5
H4	1	Hopper for sand		



— *Flow sheet, rollcrete mixing plant, Spillway repairs.*

Figura 182 – Esquema do Sistema de Produção de Rollcrete em TARBELA (73)

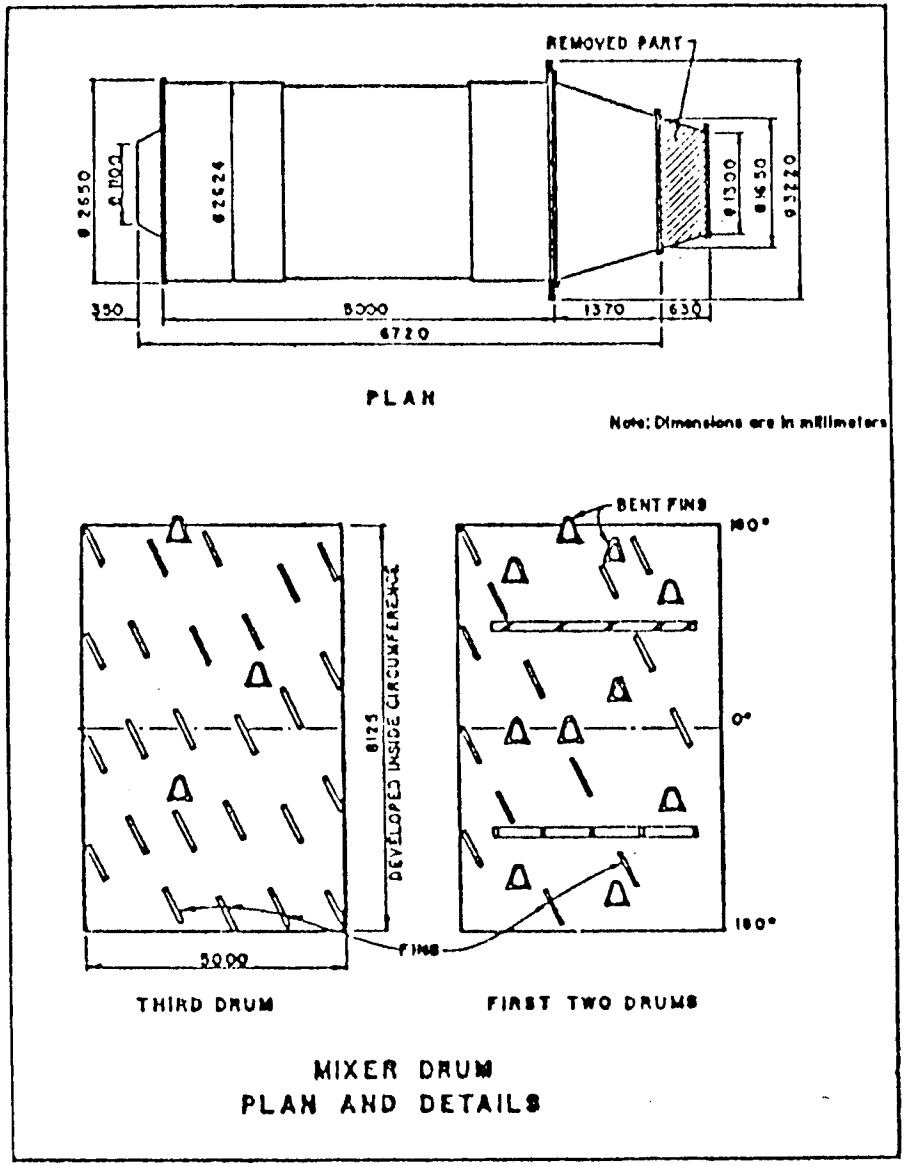


Figura 183 – Esquema do Tambor Misturador, Usado em Tabela para Produzir Rol-lcrete (73)

350.000 m3 em 42 dias
Media de 8.330 m3/dia
Pico de 18.000 m3/dia

WILLOW CREEK

330.000 m3 em 150 dias
6 dias/semana; 2 turnos de 8 horas
Pico de 4.460 m3/dia

UPPER STILLWATER

1.100.000 m3 em aproximadamente 360 dias
7 dias/semana; 2 turnos de 8 horas
Pico de 7.650 m3/dia

GALESVILLE

170.000 m3 em 60 dias
7 dias/semana; 2 turnos de 10 horas
Pico de 5.700 m3/dia

MIDDLE FORK

42.000 m3 em 50 dias
7 dias/semana; 2 turnos de 10 horas

ELK CREEK

795.800 m3 em 180 dias
7 dias/semana; 3 turnos de 8 horas
Pico de 9.500 m3/dia

NOVA OLINDA

132.383 m3 em 115 dias
Pico - 194 m3/h
Misturadores - 2 x 125 m3/h

URUGUA-I

590.000 m3
Pico - 100.500 m3/mês - 5.600 m3/dia - 270 m3/h
Misturadores - 2 x 150 m3/h

Figura 184 – Registro de Velocidades de Concretagem de CCR

A central deve ser capaz de mudar, rápida e eficientemente, as dosagens, com poucas ou nenhuma alteração mecânica ou manual de maneira compatível com a demanda exigida. Os pesos dos ingredientes devem ser registrados, ao longo do tempo dentro das precisões requeridas. O "Concreto Rolado" pode, também, ser produzido por qualquer central capaz de produzir concreto massa (46). Devido ao consumo de cimento relativamente baixo do "Concreto Rolado" e a consistência seca, o tempo de mistura deve ser adaptado, a essas características.

As centrais e misturadoras devem ter capacidade para produzir os volumes necessários de CCR, de maneira homogênea e uniforme.

O misturador deve ser capaz de operar por períodos longos, continuamente. Seus reparos e manutenção devem ser executados com rapidez.

As misturas de CCR não contêm, em geral, muita pasta e são secas, provocando grande desgaste no tambor do misturador. Pode-se minimizar tal desgaste, tanto considerando-o desde o projeto do misturador quanto usando revestimentos especiais. O mesmo tipo de solução pode ser adotado para minimizar o "capeamento" do tambor ou câmara de mistura por pasta e argamassa, especialmente quando se utilizar CCR com alto teor de finos. Em Upper Stillwater os tambores dos misturadores foram revestidos com materiais especiais para minimizar este tipo de ocorrência.

O controle das variações de umidade de agregados pode ser problemático, especialmente no início de operações. Neste caso, se a mistura estiver excessivamente seca, a ligação entre a camada em lançamento e a anterior, parcialmente endurecida, pode não ser adequada. É preferível, portanto, iniciar as operações de lançamento com misturas mais úmidas, reduzindo a quantidade de água ao longo do período, até que seja atingida a consistência desejada. No caso oposto, caso a mistura esteja muito úmida, pode-se aproveitá-la, espalhando-a em camada fina, antes da compactação.

7.4.1. Misturadores Tipo Basculante

Os misturadores convencionais do tipo Basculante têm sido (26) (28) (38) (39) usados com sucesso para o "Concreto Rolado". Betoneiras que sejam capazes de misturar concretos com agregados de tamanho máximo 76 e 152 mm, não apresentam dificuldades de produzir misturas de baixa consistência.

7.4.2. Misturadores Forçados

Os misturadores horizontais para mistura forçada com descarga do tipo comporta, inferior, também têm sido usados (Obras no Japão), satisfatoriamente.

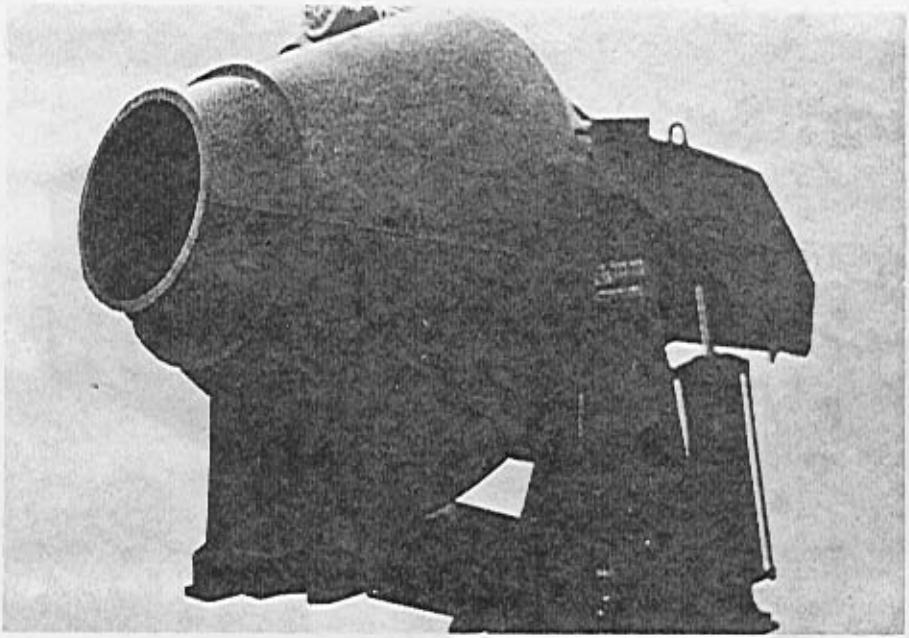


Figura 185 – Betoneira Tipo Basculante, de Produção em Fluxo Intermitente. Tambor com Giros de 11 a 16 RPM

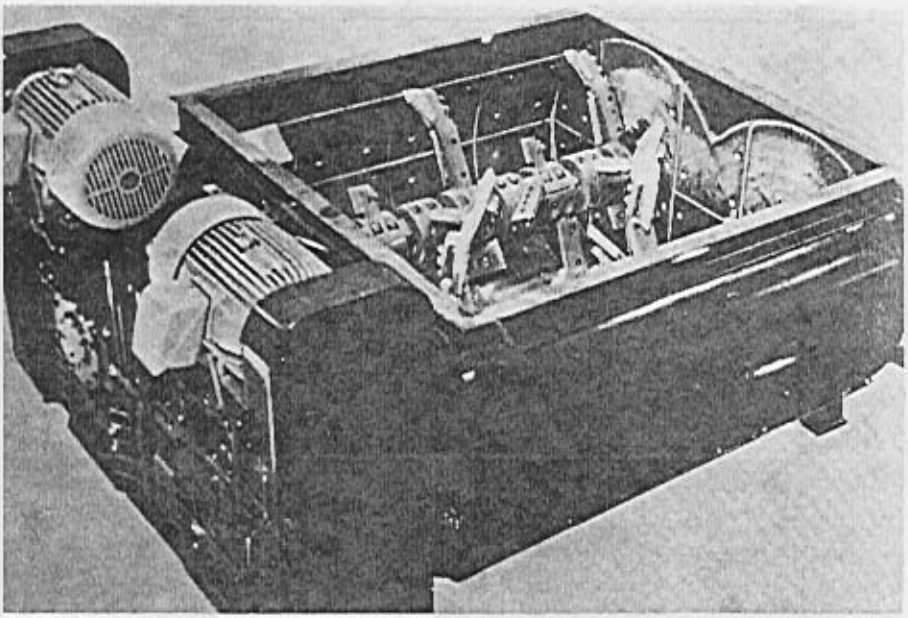


Figura 186 – Misturador Forçado de Eixo Horizontal, com Descarga Interior. Modelo com Braços Longos, de 21 a 32 RPM.

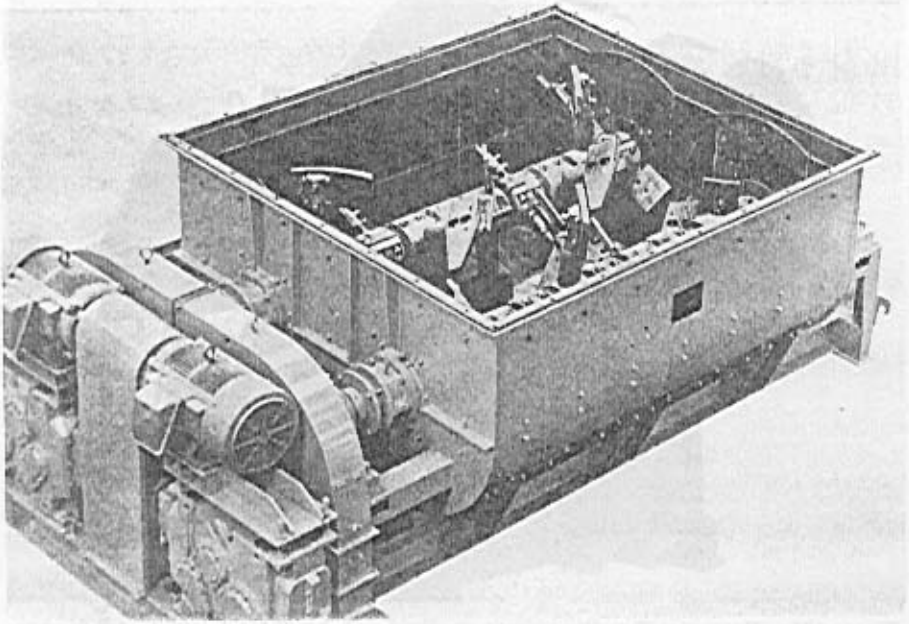


Figura 187 – Misturador Forçado de Eixo Horizontal, com Descarga Inferior, Modelo com Braços Curtos

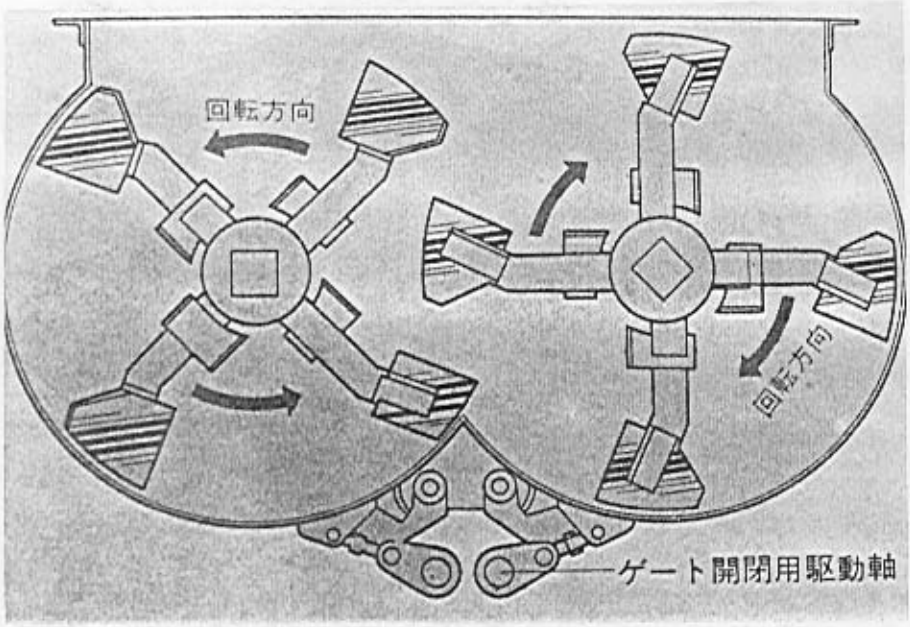


Figura 188 – Esquema de Mistura do Sistema Forçado

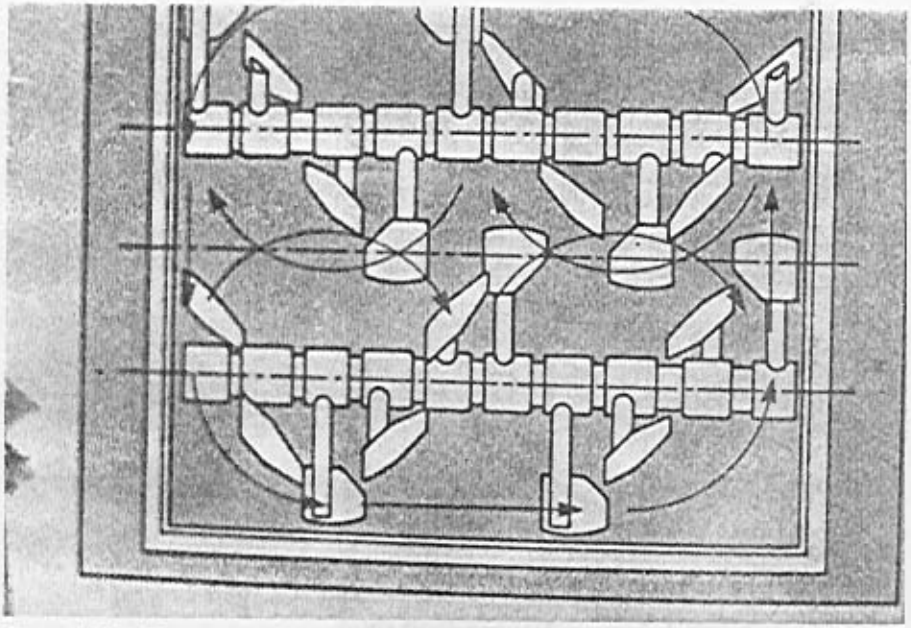


Figura 189 – Esquema de Circulação Forçada da Mistura

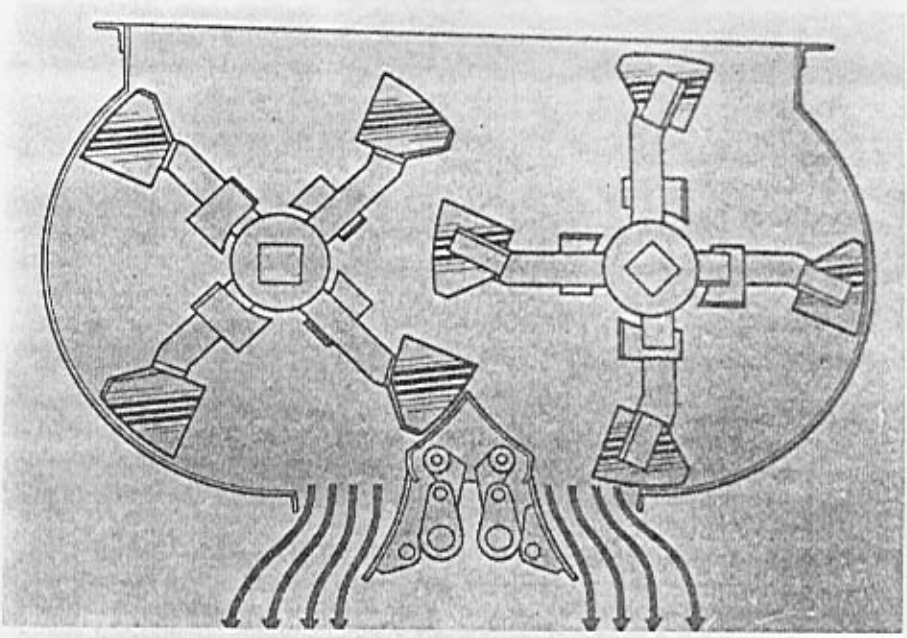


Figura 190 – Esquema de Descarga, Por Comporta Inferior, do Misturador Forçado

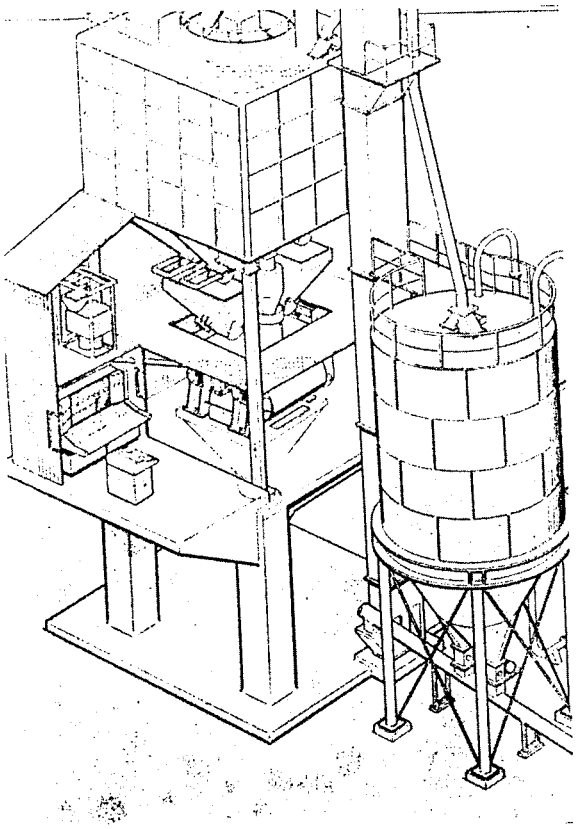


Figura 191 – Central, Tipo Vertical com Misturadores Forçados, Usado em Várias Obras de Concreto Rolado – No JAPÃO

7.4.3. Misturadores Contínuos

O conceito da mistura contínua, normalmente usada na indústria de construção de estradas, nos últimos anos tem tido uma maior aceitação para as construções de concreto.

A National Harbours Board em Vancouver B.C. usou misturador contínuo para produzir "Concreto Rolado".

As especificações técnicas de licitação para as obras de Willow Creek (41) (42) e Upper Stillwater (75) levaram em consideração a possibilidade dos empreiteiros optarem por produzir o "Concreto Rolado" em misturadores contínuos. A Obra de Urugua-i na Argentina e Saco Nova Olinda no Brasil utilizaram misturadores contínuos, para produzir o RCC.

Em misturadores contínuos deve-se ficar atento ao controle de "alimentação" de cimento e material pozolânico, especialmente quando em velocidades de "alimentação' mais baixas, pois, neste caso, o equipamento normalmente não opera de maneira acurada.

Figura 192 – Correia de Alimentação do Misturador "PUG-MILL" – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

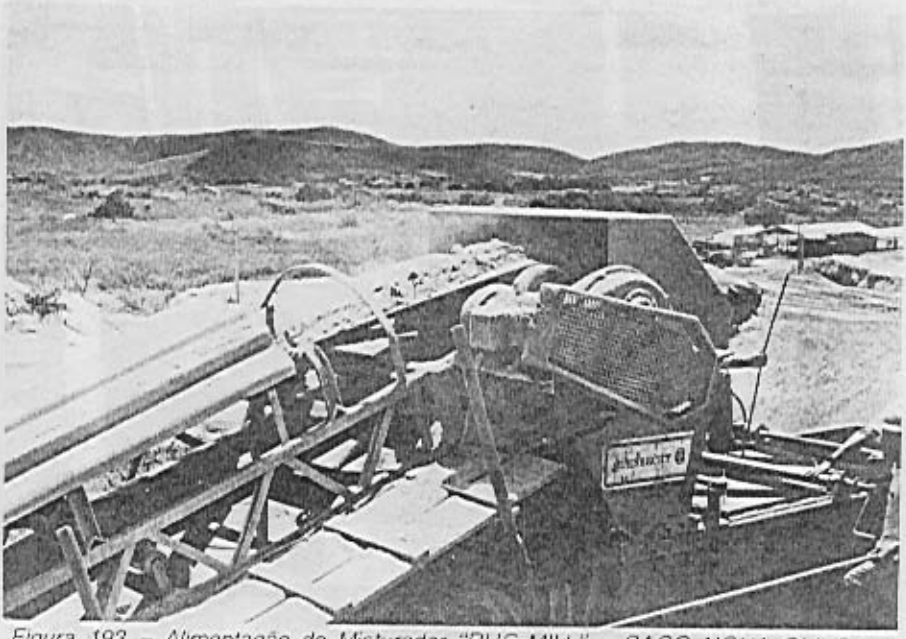


Figura 193 – Alimentação do Misturador "PUG-MILL" – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

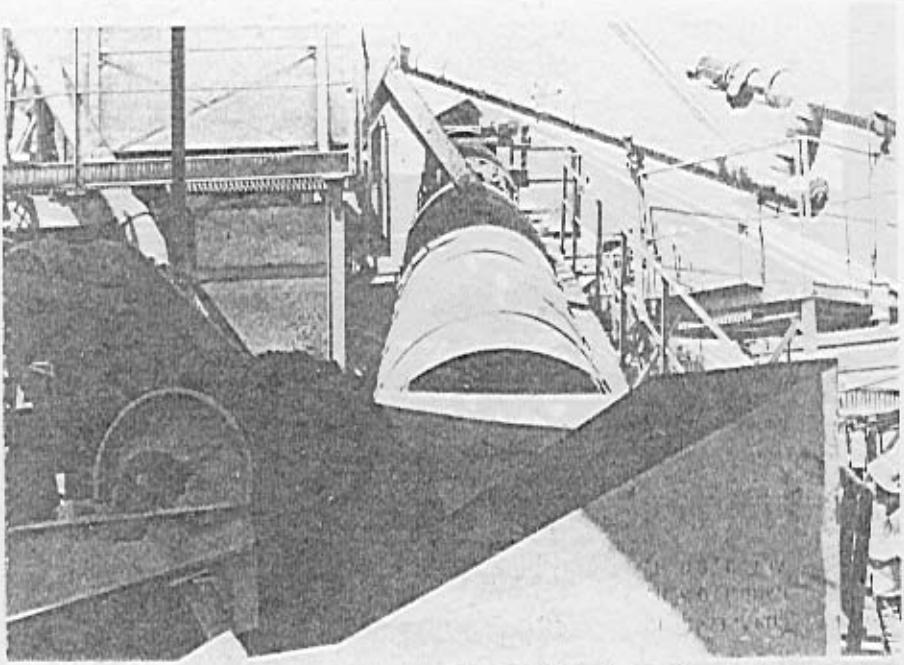


Figura 194 – Correia de Alimentação da "PUG-MILL". Notar Alimentador Helicoidal para Introdução do Cimento URUGUA-I – ARGENTINA

BARBER GREENE

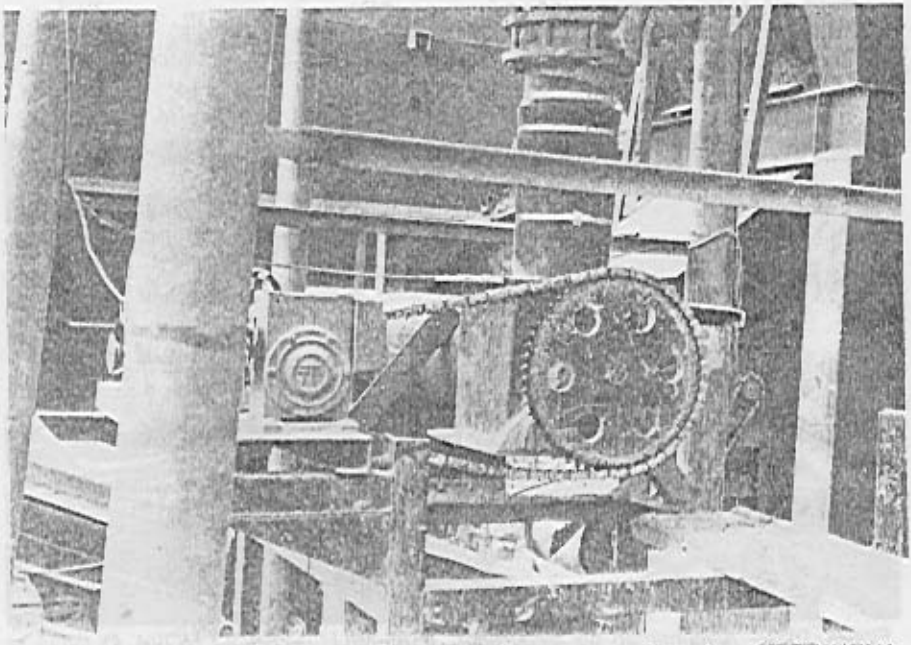


Figura 195 – Motor e Redutor do Sistema de Dosagem de Cimento – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

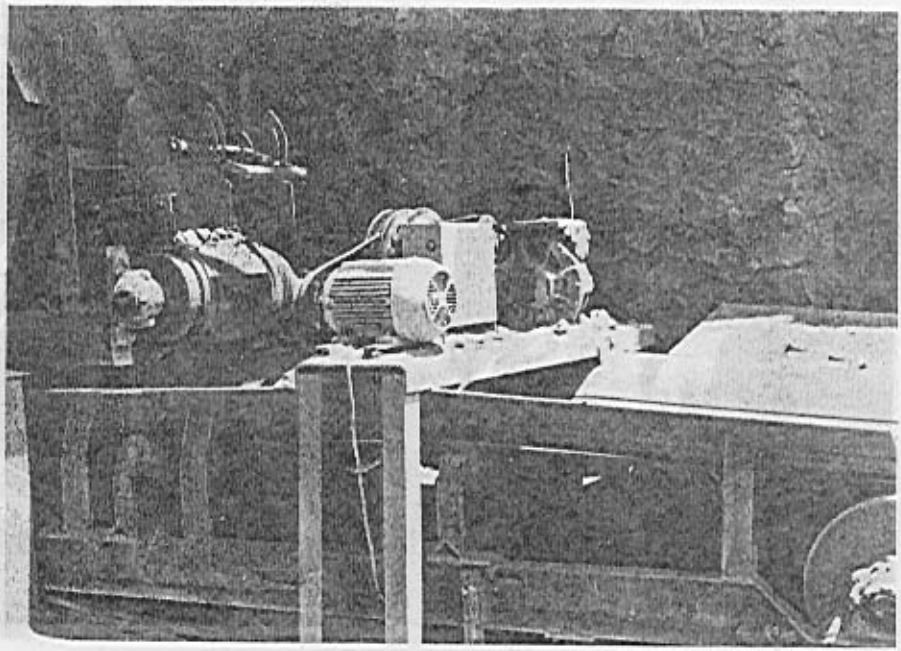


Figura 196 – Conjunto Motor-Redutor da Correia Extratora de Agregados – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

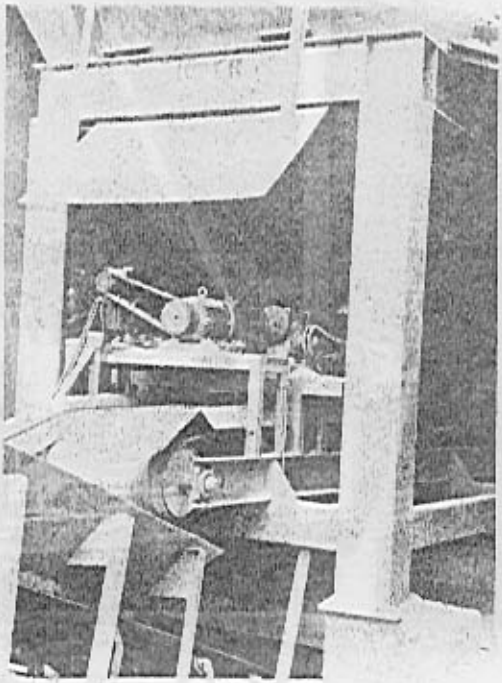


Figura 197 – Conjunto Motor-Redutor de Correia de Extração de Dosagem de Agregados – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

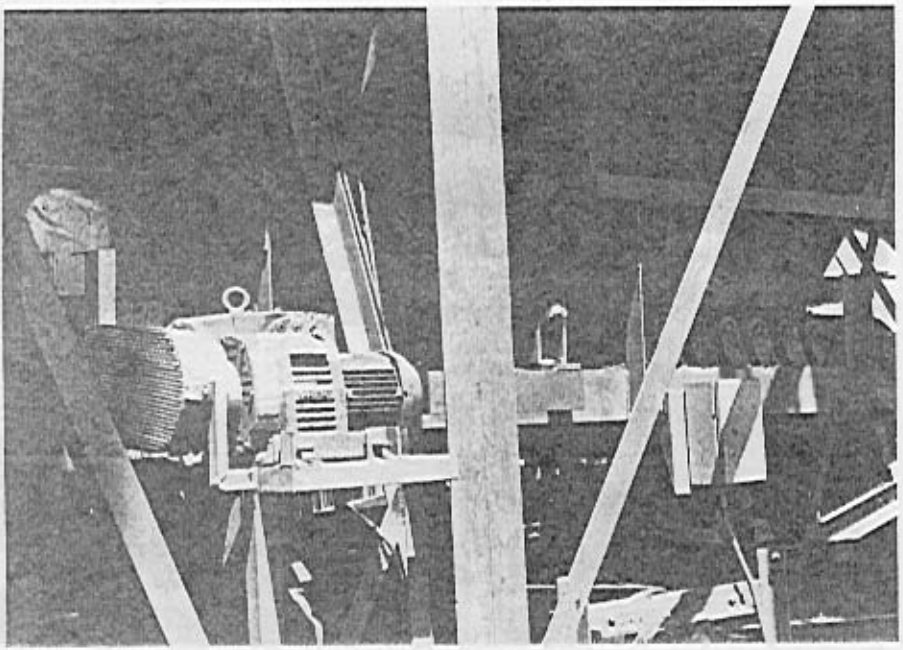


Figura 198 – Esteiras de Extração e Dosagem dos Agregados – URUGUA-I – ARGENTINA

BARBER GREENE

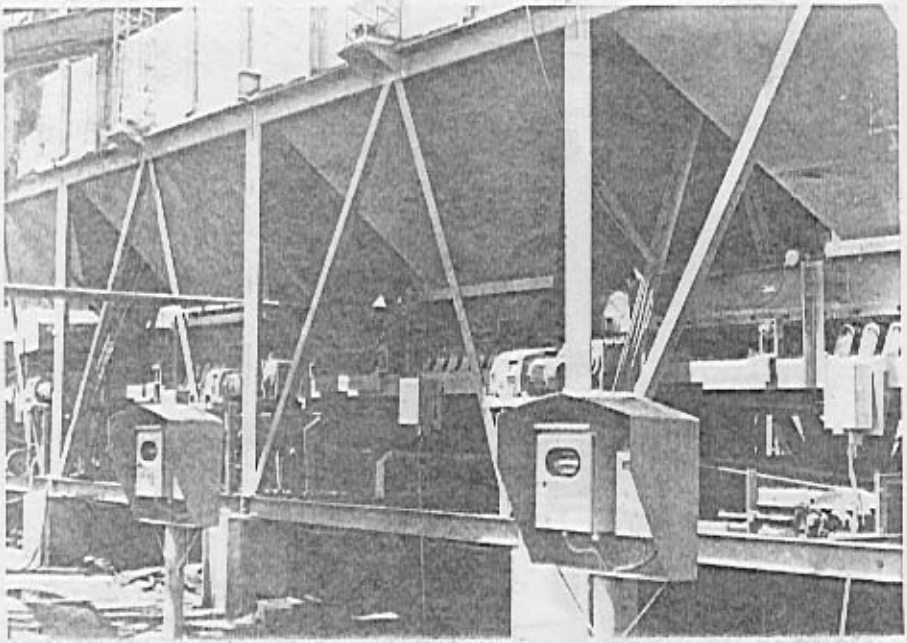


Figura 199 – Esteiras Dosadoras e Chaves de Regulagem – URUGUA-I – ARGENTINA

BARBER GREENE

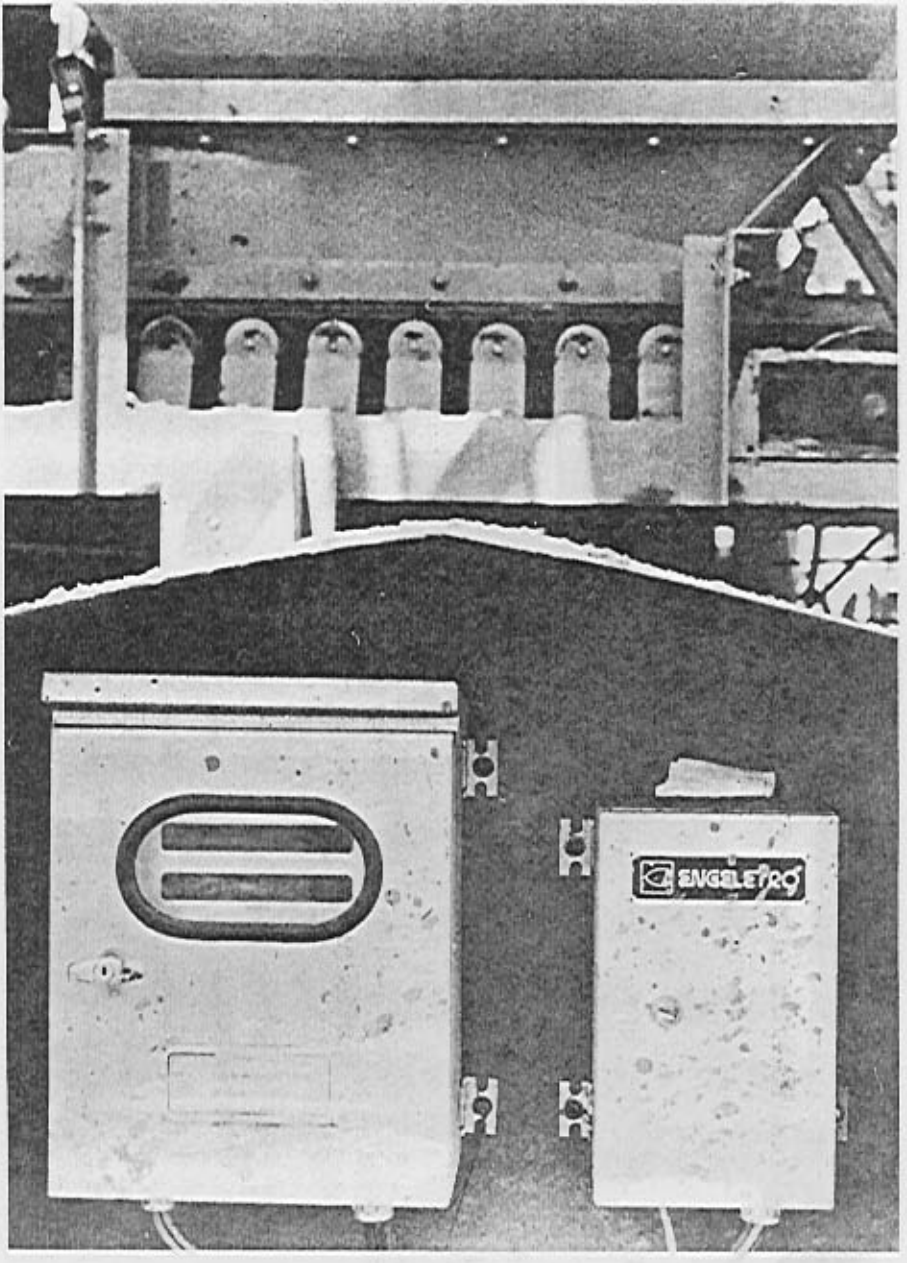


Figura 200 – Detalhe do Painel com Chaves de Regulagem e de Controle de Pesagem das Esteiras Extratoras – URUGUA-I – ARGENTINA

BARBER GREENE

Figura 201 – Hidrômetro na Rede de Alimentação de Água ao "PUG-MILL" – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

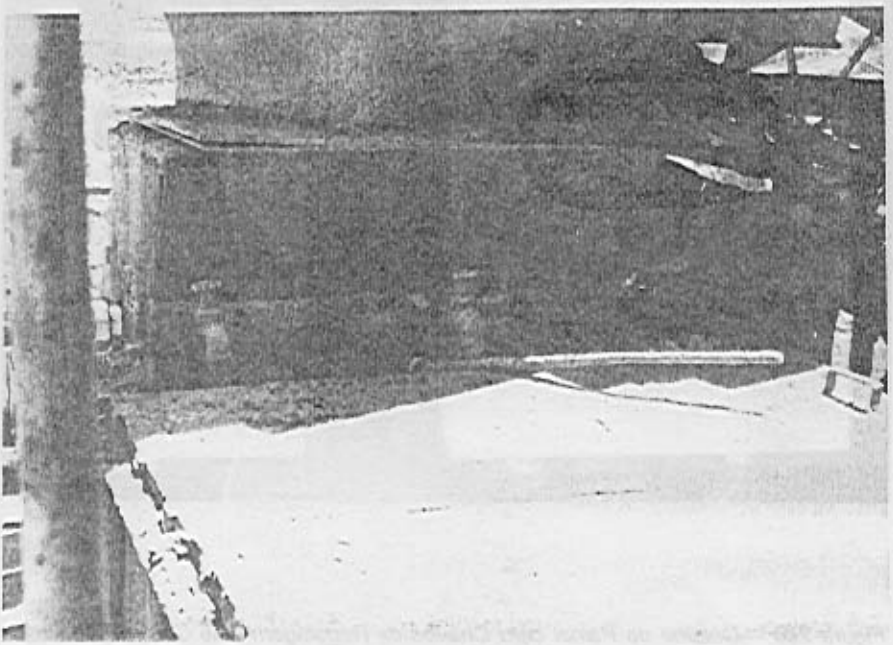


Figura 202 – Bicos Aspersores do PUG-MILL – URUGUA-I – ARGENTINA

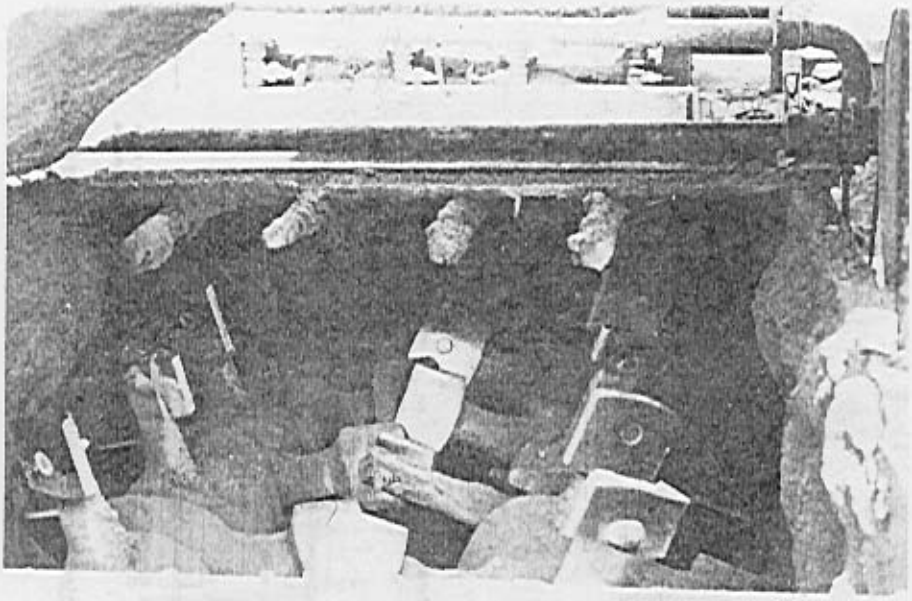


Figura 203 – Pas Misturadoras do PUG-MILL – Saco Nova Olinda – Brasil

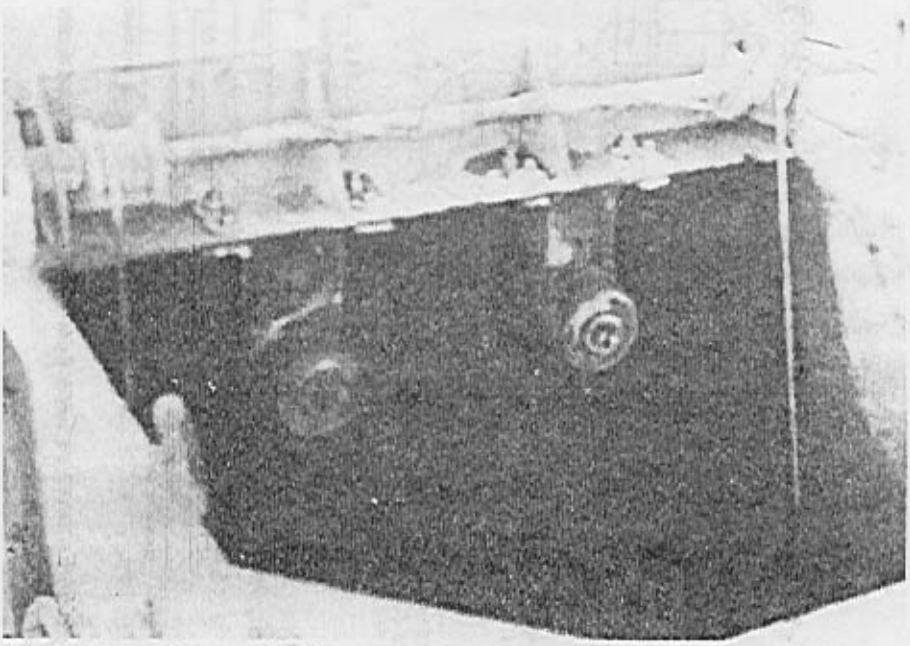


Figura 204 – Aspecto de Mistura em Produção por "PUG-MILL" – URUGUA-I – BRASIL

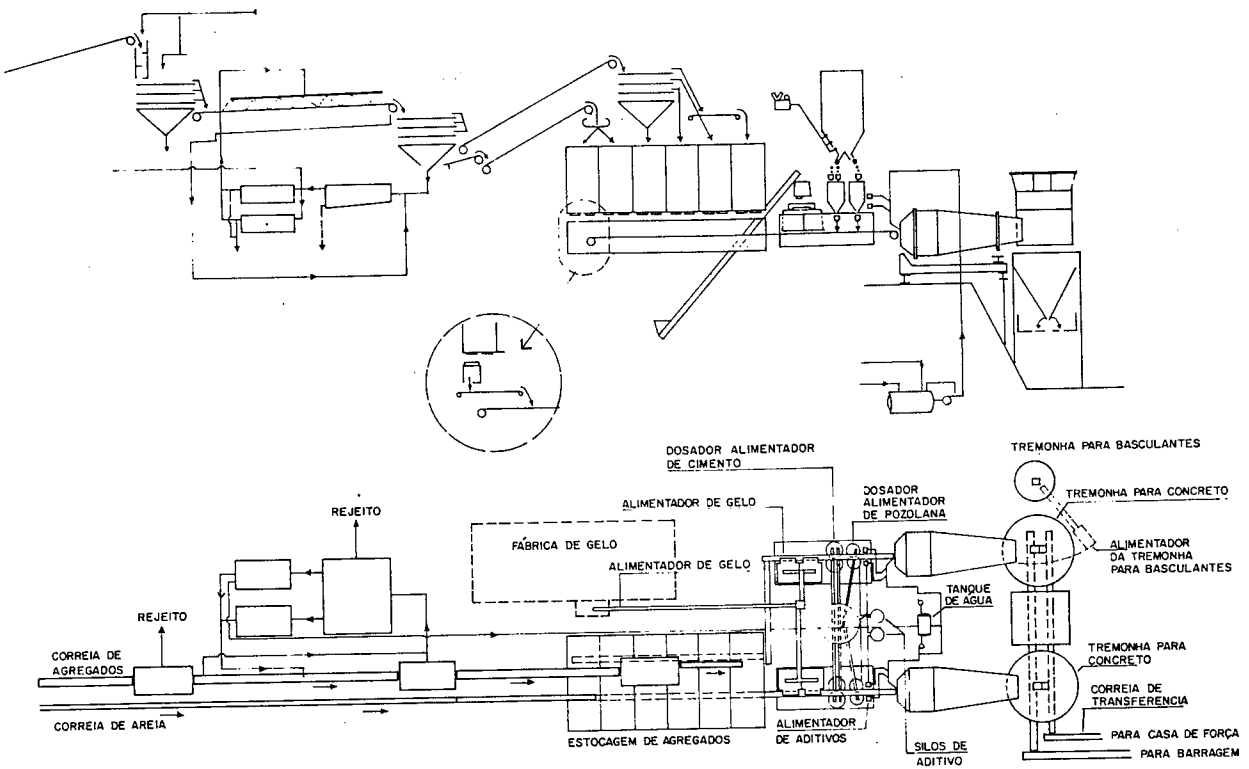


Figura 205 - Esquema da Central com Misturadores Contínuos (com Tambor Giratório) para Produzir RCC, em Região onde Exigia Controle de Temperatura.

Certos procedimentos, como manter silos suficientemente cheios, prever equipamentos para evitar a compactação de cimento no silo bem como "alimentadores" de bom desempenho, ajudam a reduzir tal risco.

A maneira e a freqüência com que os materiais são dispostos no misturador, bem como o momento exato e o ângulo de adição da água, são fatores importantes para conseguir misturas homogêneas e uniformes, rápida e continuamente.

A capacidade de produção dos misturadores contínuos é normalmente superior àquela de misturadores convencionais, porém com maior gasto de energia. Os misturadores contínuos modernos e sofisticados produzem, atualmente, CCR com o mesmo grau de precisão que as centrais de concreto convencionalmente empregadas para concreto (Ver Controle de Qualidade).

7.4.5. Caminhões Betoneira

Os caminhões betoneira não se adequam para produzir concretos com agregados de tamanho máximo igual ou superior a 76 mm, desta forma restringem-se à produzir "Concreto Rolado" com ∅ máximo ≤ 76 mm.

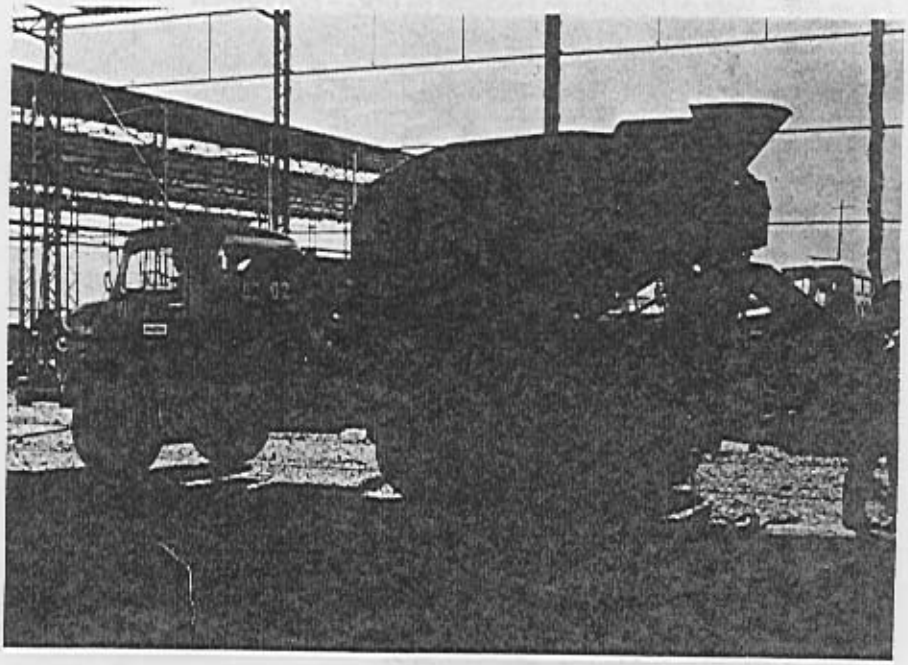


Figura 206 - Caminhão Betoneira para Misturar e Transportar Concreto Rolado - ITAIPU

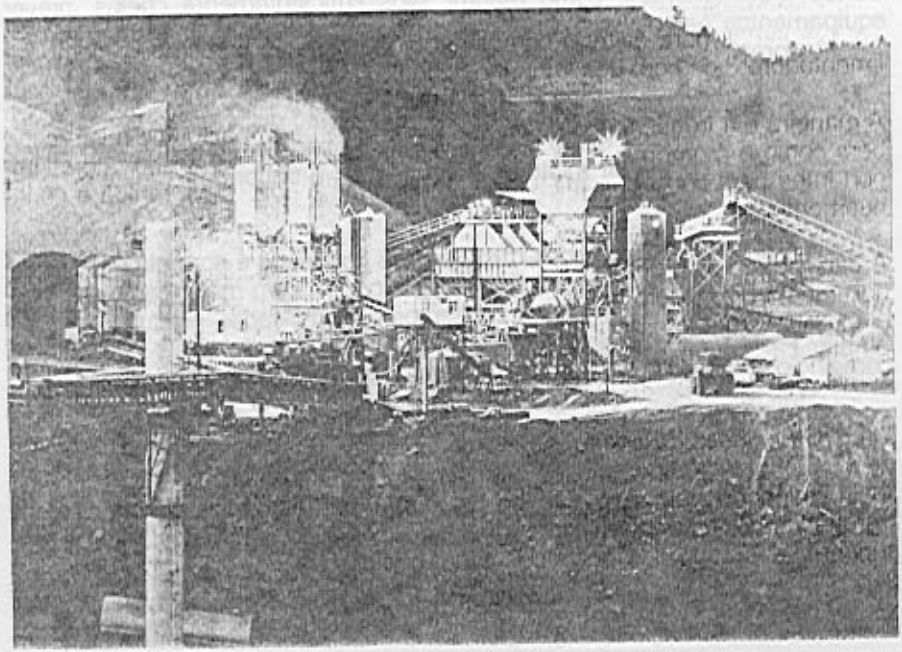


Figura 207 – Vista do Conjunto de Produção de RCC – ELK CREEK

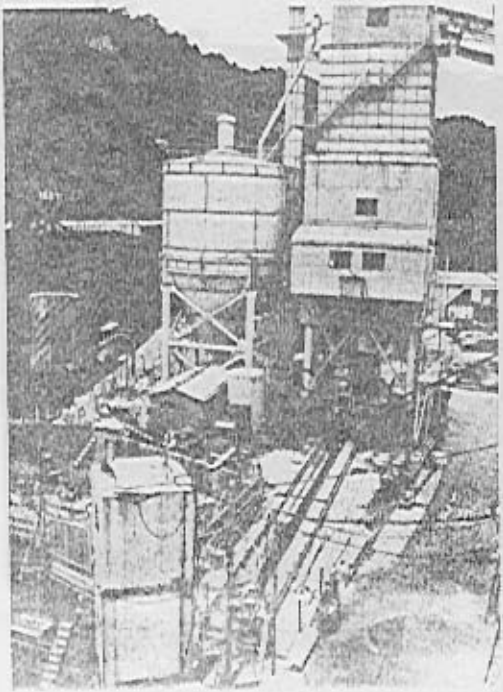


Figura 208 – Carro de Transferência de 2 Centrais de Produção de Concreto – SHIMAJIGAWA – JAPÃO

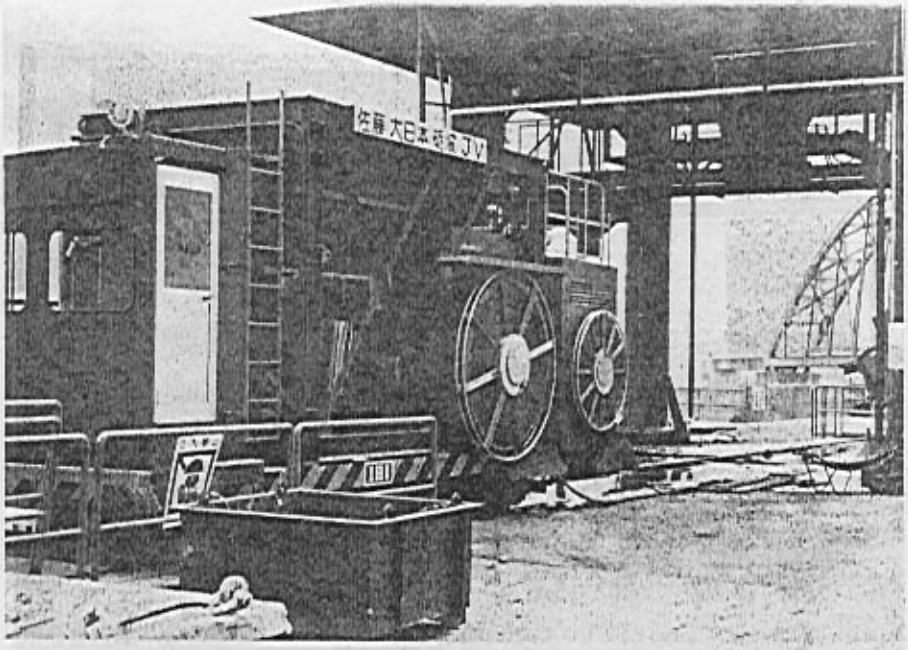


Figura 209 – Carro de Transferência de 2 Centrais de Produção de Concreto – SAKAIGAWA – JAPÃO

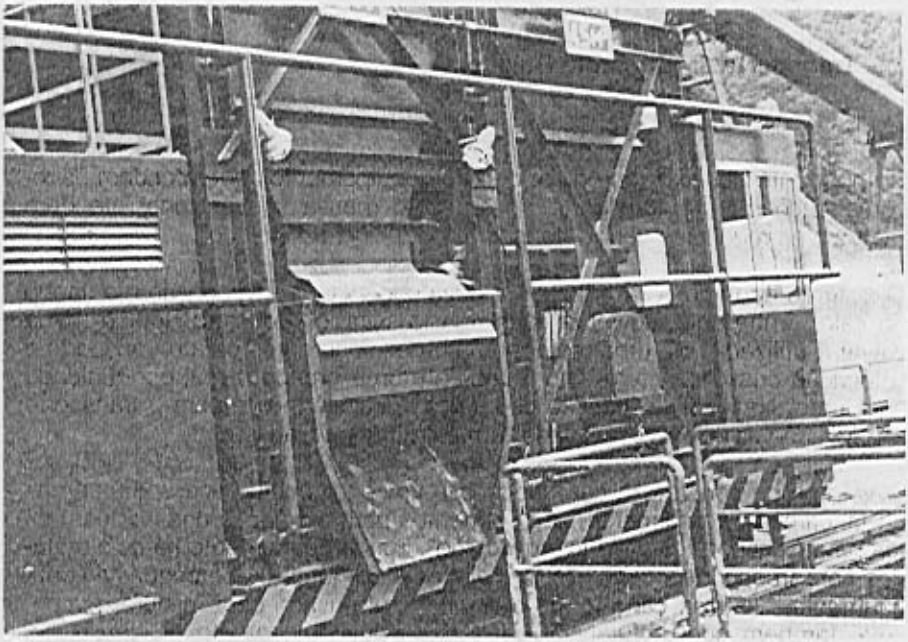


Figura 210 – Comportas do Carro de Transferencia Entre as Duas Centrais de Produção de Concreto – SAKAIGAWA – JAPÃO

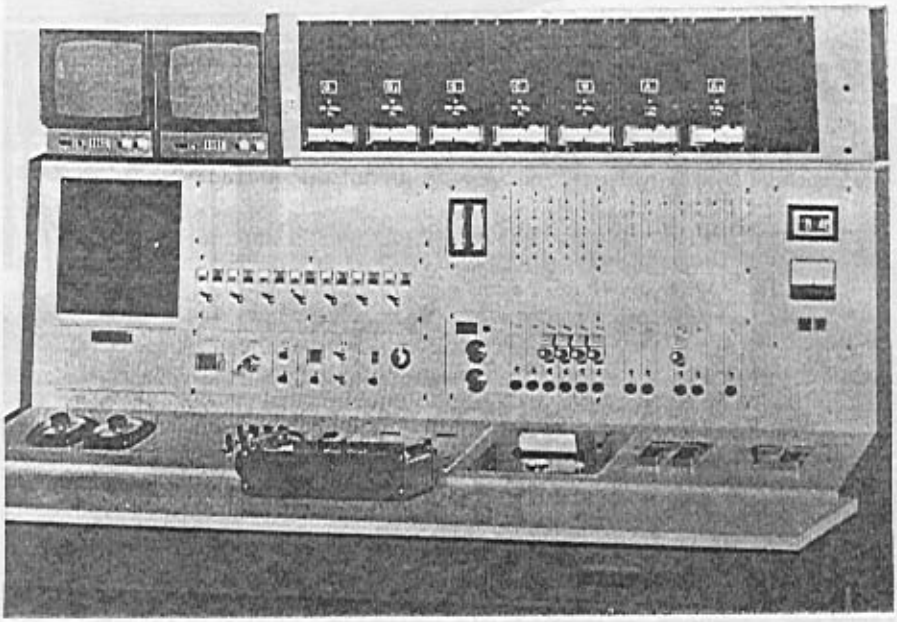


Figura 211 – Painel Mostrador e Registrador, de Centrais Usadas no JAPÃO

7.5. Transporte do Concreto Rolado

7.5.1. Generalidades

É importante observar que a maioria dos equipamentos que atendam às recomendações para transporte do concreto massa convencional atendem também os requisitos para o transporte do "Concreto Rolado".

O sistema adotado para transporte, deve minimizar a segregação e o ganho de calor. Entretanto, devido à consistência seca, o "Concreto Rolado" torna viável a utilização de uma maior gama de equipamentos para o transporte e colocação desse concreto. Isto representa uma grande e real oportunidade para uma significativa redução de custos, particularmente para o transporte e colocação do "Concreto Rolado" em estruturas pesadas.

O volume de concreto a ser colocado e as condições de acessos às áreas de lançamento, geralmente, são elementos para a seleção dos equipamentos para transporte do "Concreto Rolado". Fundamentalmente há dois métodos para transporte do "Concreto Rolado" – por lotes ou betonadas e continuamente. De uma certa forma o equipamento usado para mistura do concreto também pode influenciar na escolha do equipamento de transporte. Entretanto o uso adequado de controles de acessórios, tais como "Tremonhas", "Silos Intermediários", permite o uso de misturadores contínuos com

transporte intermitente (betonada, ou lote) e betoneiras, não contínuas, podem ser compatibilizadas com transporte contínuo.

A capacidade de adensamento apresentada pelos equipamentos de compactação (rolos Vibratórios) atuais dá margem a uso de grandes produções de concreto, não se restringindo a níveis de produções normais obtidas para concreto massa convencional.

O tipo de equipamento a ser usado para transporte do "Concreto Rolado" pode também ser influenciado pelo tamanho máximo do agregado e ser empregado.

7.5.2. Tipos de Transporte

7.5.2.1. Transporte por Betonada ou Lotes

O transporte por betonada (ou lote, ou intermitente) pode ser feito por caminhões "Basculantes", "Dumpcrete", e foras de estradas, como executado em Itaipu (26), Tucuruí (57) e Saco Nova Olinda. Para o transporte do "Concreto Rolado" com esses equipamentos é importante que o basculamento seja efetuado com a menor altura possível, a fim de evitar a segregação.

Nesse tipo de transporte enquadra-se ainda a caçamba de concreto, usual para o concreto massa convencional. Saliente-se que esse tipo torna mais lenta a produção na frente de lançamento.

Podem ser considerados ainda os vagões de descargas inferior (Bottom Dump) e os "Scrapers" que se constituem em equipamentos normais para execução de terraplenos e que se mostraram adequados para o transporte do "Concreto Rolado" como em Willow Creek (41) (42).

O transporte através de caminhões betoneira é limitado, como se citou no item 7.4.5.

A escolha do tipo e dimensão do equipamento deve levar em consideração além da capacidade de aplicação, o tempo de ciclo e o volume a ser lançado. Considerações adicionais sobre o custo unitário do equipamento de transporte, acesso e condições de lançamento, preparo e manutenção dos acessos e equipamentos, devem ser feitas.

7.5.2.2. Transporte Contínuo

O transporte contínuo compreende o transporte por correia e/ou por bombeamento. Evidentemente que, devido às características de consistência seca e do tamanho máximo do agregado, o bombeamento não se aplica ao "Concreto Rolado".

A correia transportadora tem se mostrado um meio eficiente de transporte de materiais.

O transporte através de correias transportadoras pode ser a solução ideal para a maioria dos casos, pois a exposição do concreto nas esteiras pode ser reduzida ao mínimo; neste caso o sistema deve ser projetado especificamente para o CCR em utilização, devendo ser, também, capaz de transportar o concreto convencional que, em geral, é lançado concomitantemente com o CCR. O sistema deve ser projetado de modo a evitar que o material caia na superfície do CCR já compactado, tanto no transporte de material, quanto no retorno da correia. Devido ao rápido incremento de altura possível com CCR, o sistema deve ser projetado de modo a acompanhar tal subida. Uma medida importante é dotar as correias com coberturas de modo a proteger o material da insolação e chuva diretas. Especial atenção deve ser dada aos silos de carga e descarga nos pontos de transferência, para reduzir a segregação do CCR. Exceto quando o sistema for empregado para lançamento em toda a superfície, devem ser previstos silos de descarga (ou derivação para o silo) ao final da esteira principal, os quais alimentam os veículos transportadores. A adoção de tais silos permite desvincular, parcialmente, a mistura e transporte do CCR do lançamento, além de assegurar que o veículo está sempre transportando concreto fresco e evitar operações de parada e movimentação dos misturadores.

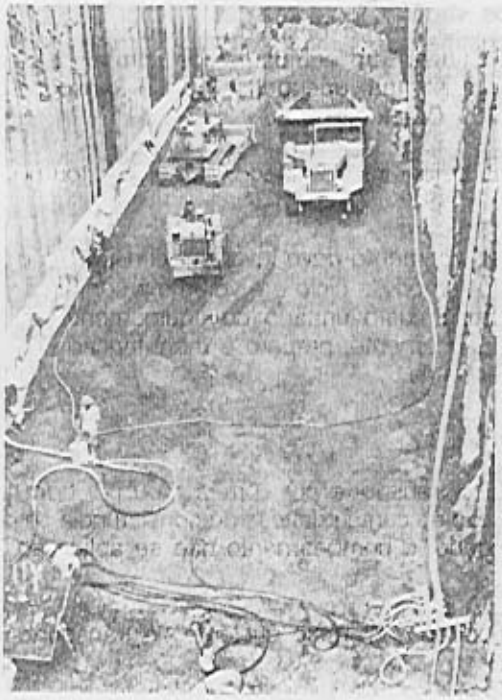


Figura 212 – Transporte Por Lotes – Através de Caminhão Fora de Estrada – ITAIPU

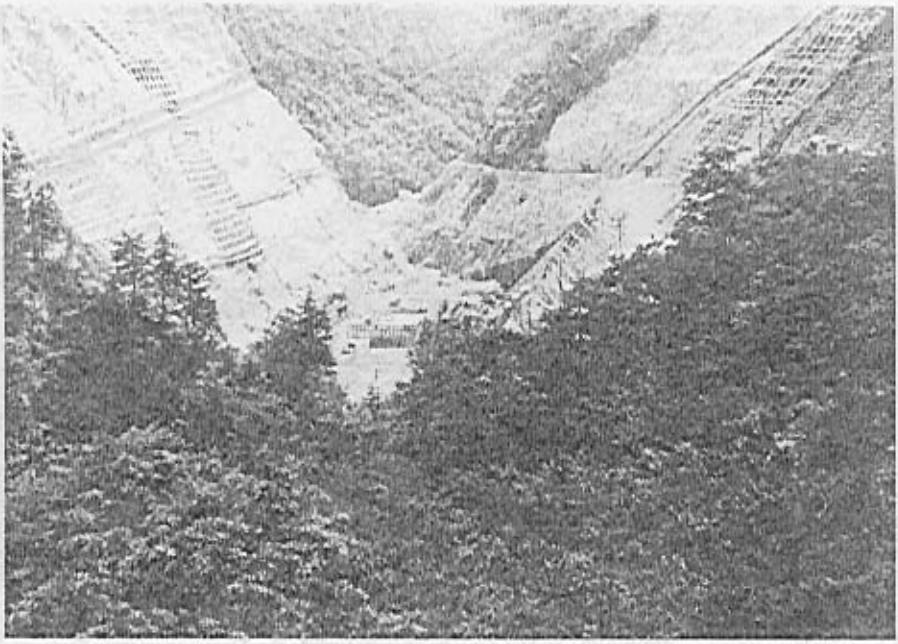


Figura 213 – Local de Implantação de SAKAIGAWA – JAPÃO, com Transporte Por Lotes, Através de Plano Inclinado

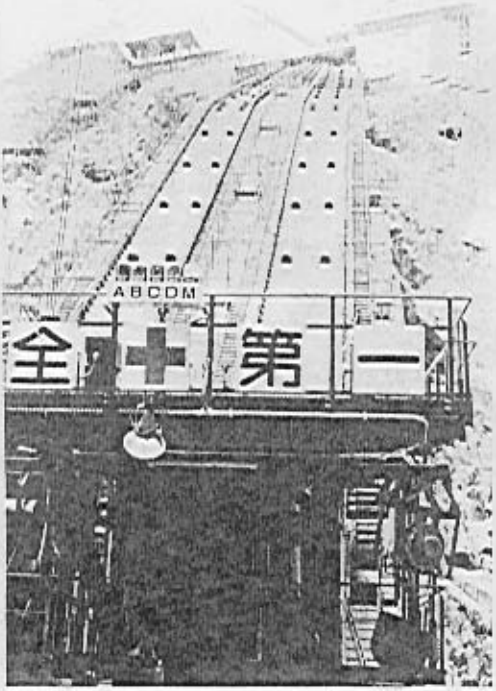


Figura 214 – Plano Inclinado Com Dupla Linha de Abastecimento – Capacidade de 45.000M3/Mês – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 215 – Vista Lateral do Plano Inclinado – SAKAIGAWA – JAPÃO

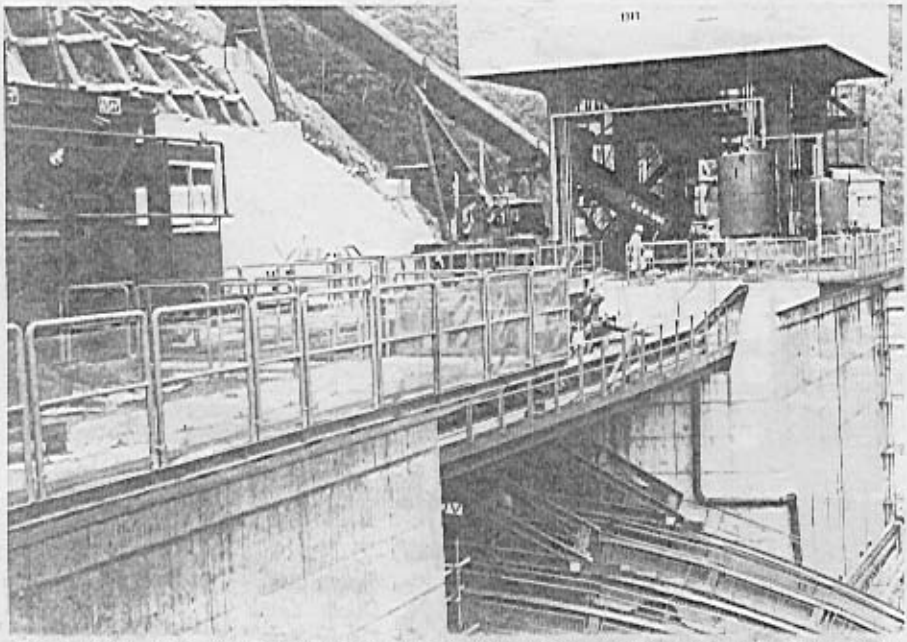


Figura 216 – Cais de Transferência das Centrais Para as Caçambas do Plano Inclinado – SAKAIGAWA – JAPÃO

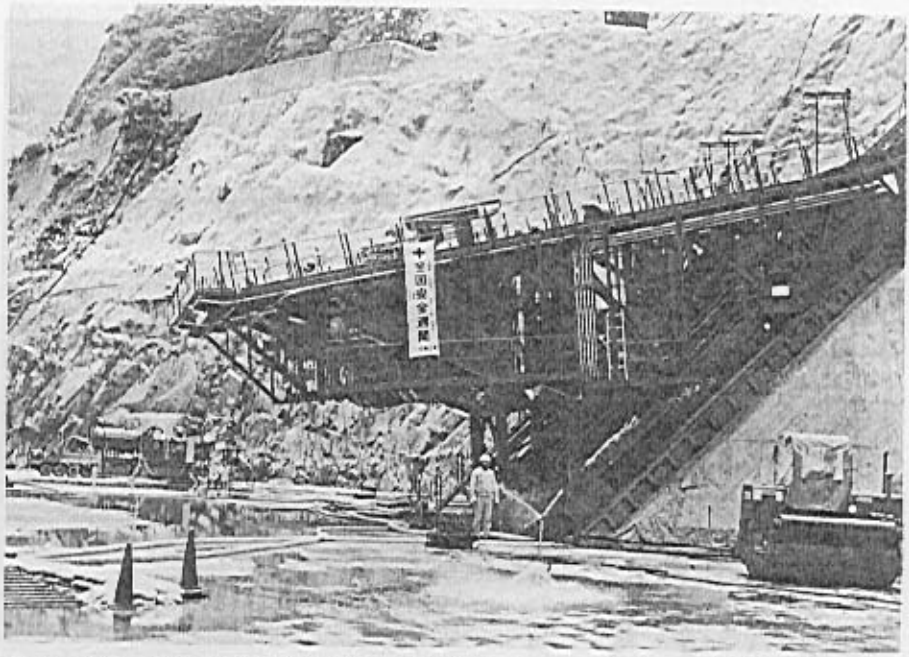


Figura 217 – "HOPPER" Móvel de Transferência, com Sistema Hidráulico de Comportas – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 218 – Transporte Por Lotes, Através de Dumpcretes. A Descarga Alta, Aumenta a Possibilidade de Segregação – TUCURUI – BRASIL

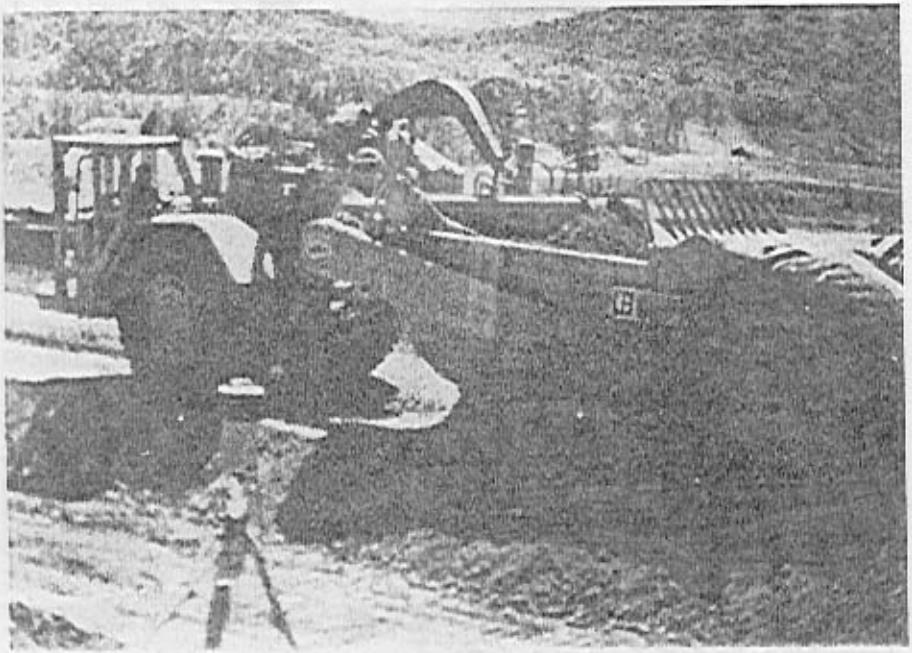


Figura 219 – Transporte Por Lotes, Através de SCRAPERS – WILLOW CREEK – E.U.A

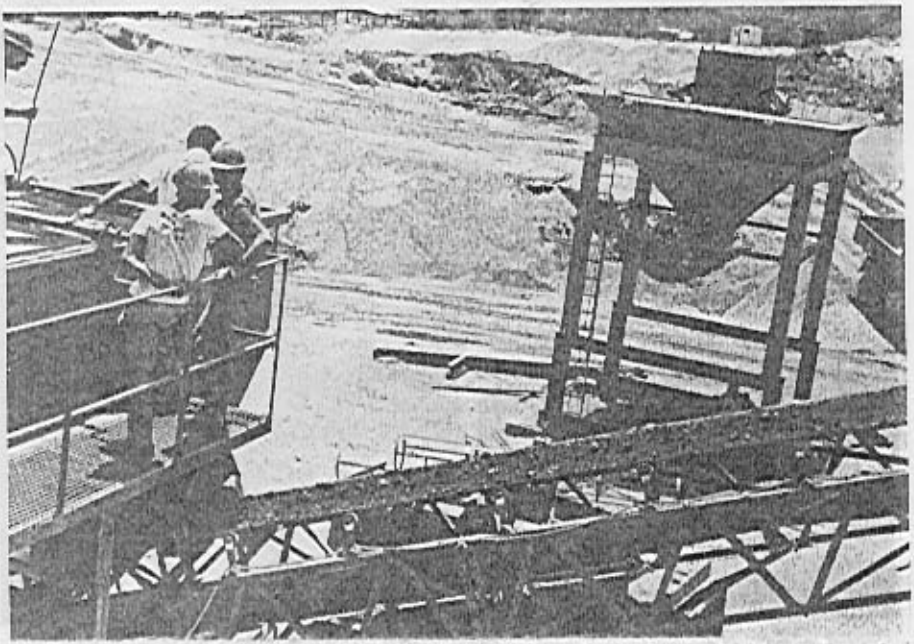


Figura 220 – Saída do "PUG-MILL" Por Esteira, Para Alimentação de Silo de Transferência – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

Figura 221 – Silo de Transferência Para Alimentação de Caminhões Basculantes Para o Transporte Por Lotes – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

Figura 222 – Transporte Por Lotes Por Caminhões Basculantes – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

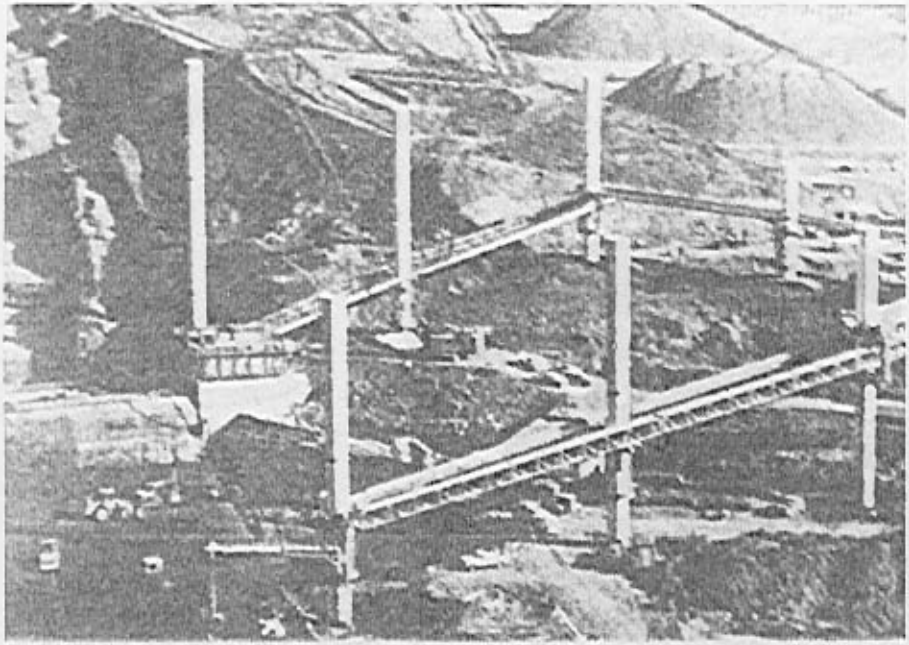


Figura 223 – Transporte Contínuo Por Correias – Com Sistema de Torres de Elevação – ELK CREEK – E.U.A.

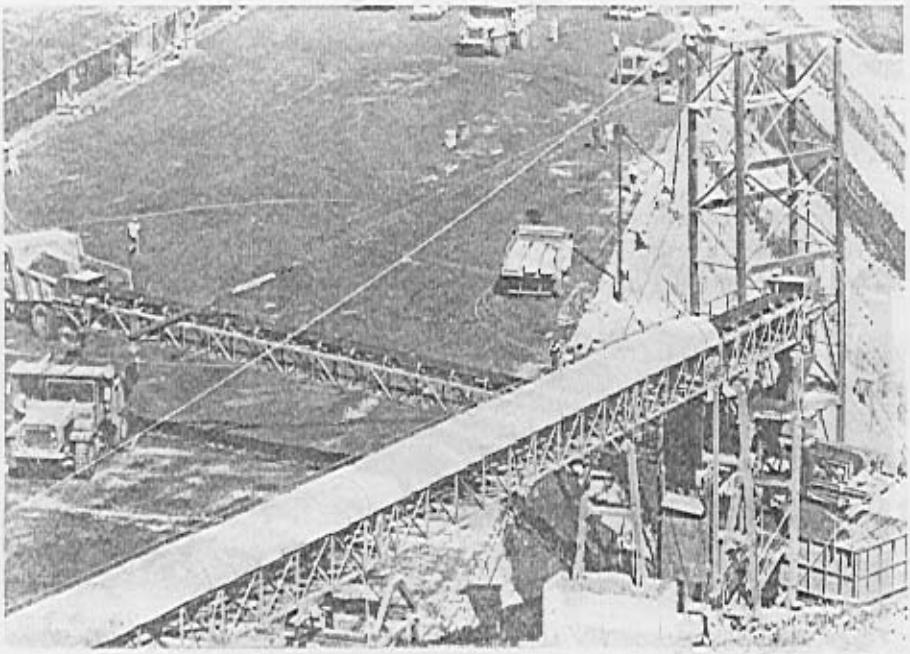


Figura 224 – Transporte Contínuo Por Correia – URUGUA-I – ARGENTINA BARBER GREENE

Figura 225 – Transporte Contínuo Por Correia – UPPER STILLWATER – E.U.A.

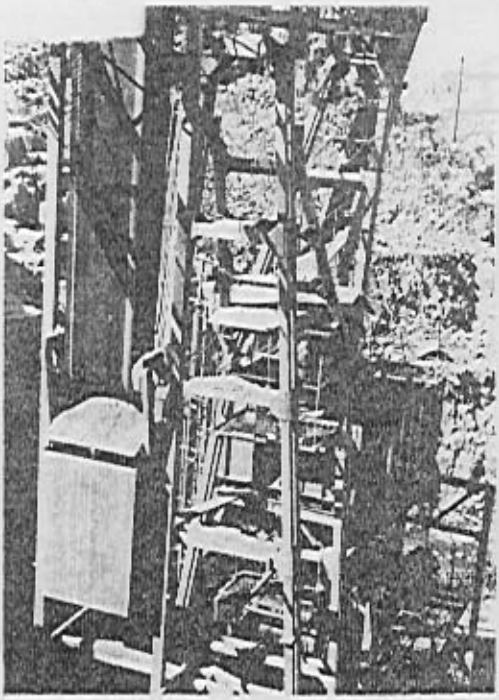


Figura 226 – Sistema de Transferência, de Alimentação de Correias em Níveis Diferentes. Notar Silo de Transferência, De Extrema Importância Nesse Tipo de Trabalho – URUGUA-I – ARGENTINA

BARBER GREENE

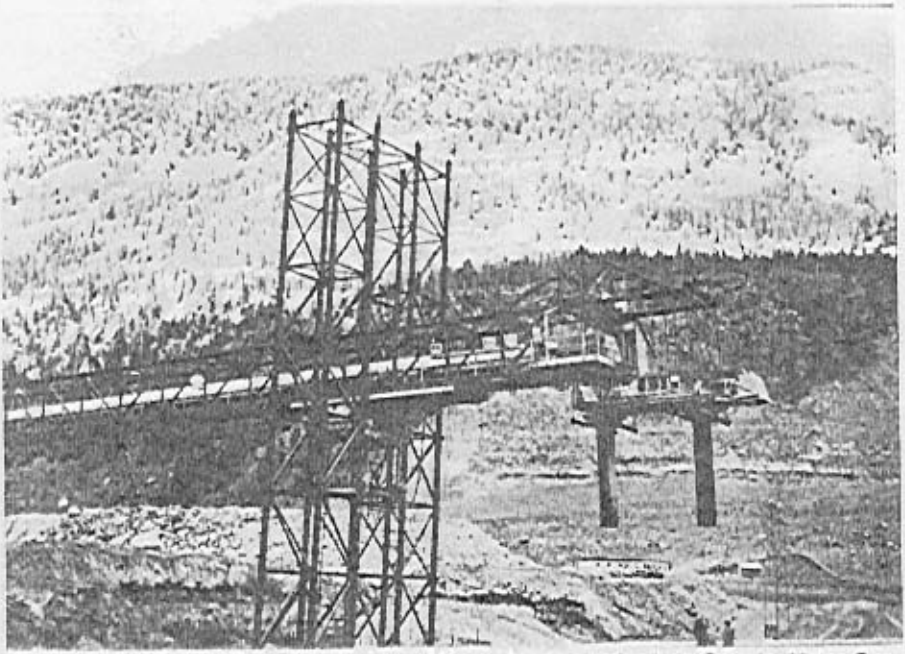


Figura 227 – Torres Suportes do Apoio Móvel (Ascencionável) da Correia. Notar Correia de Extração, na Extremidade, Possibilitando Alimentar 2 Caminhões – UPPER STILLWATER – E.U.A.

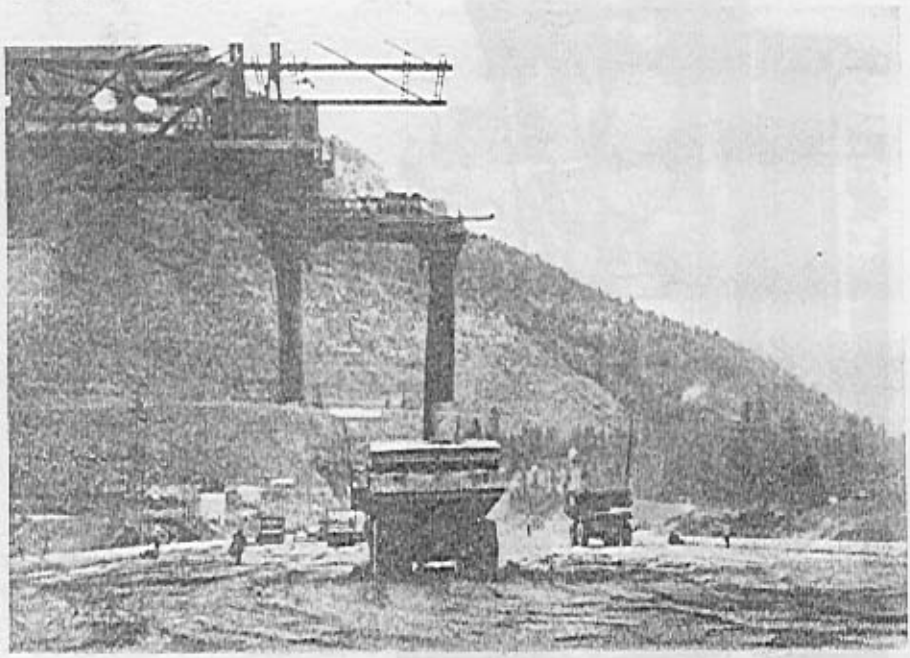


Figura 228 – Alimentação de Caminhão Por Esteira – UPPER STILLWATER – E.U.A.

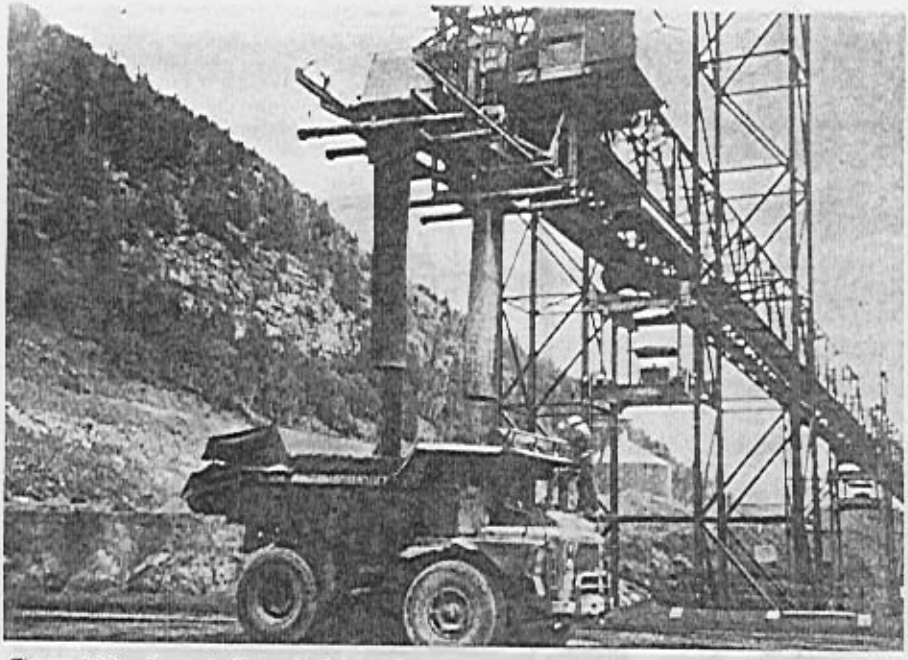


Figura 229 – Fora de Estrada Sendo Alimentado por Esteira

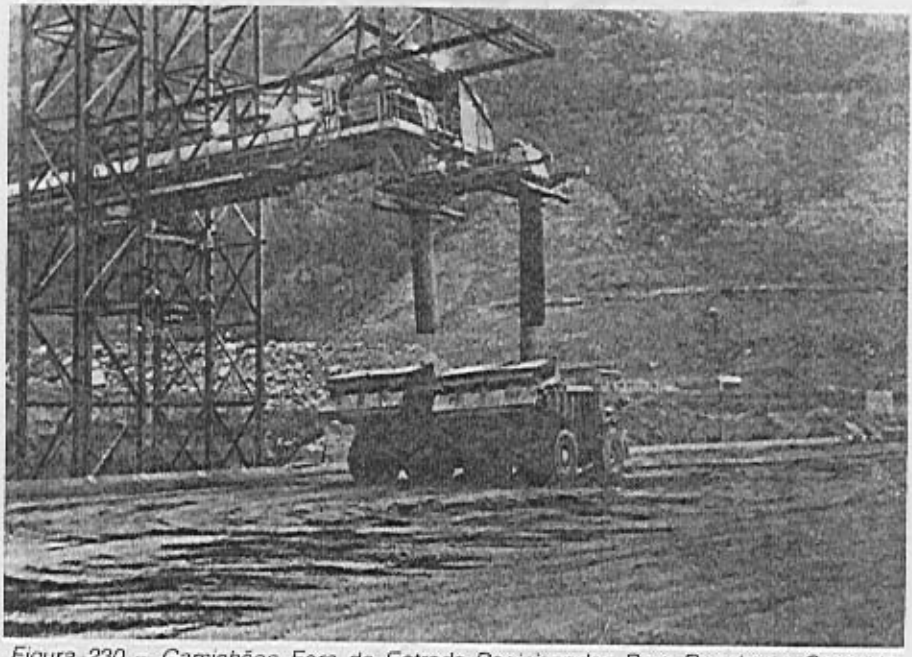


Figura 230 – Caminhões Fora de Estrada Posicionados Para Receber o Concreto Rolado – UPPER STILWATER – E.U.A.

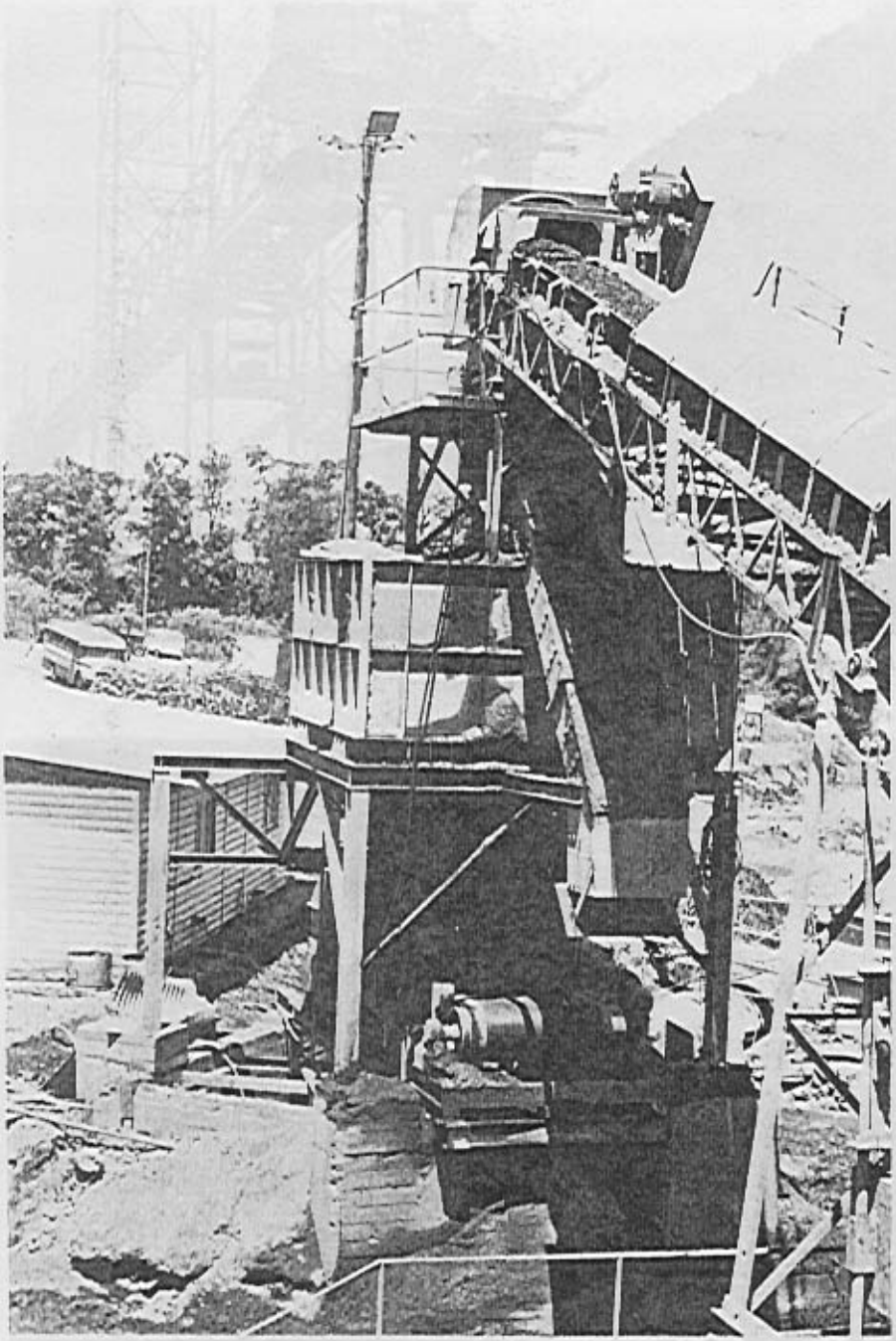


Figura 231 – Tremonha de Transferência de Esteiras, à Saída da Central – URUGUAI – ARGENTINA

BARBER GREENE

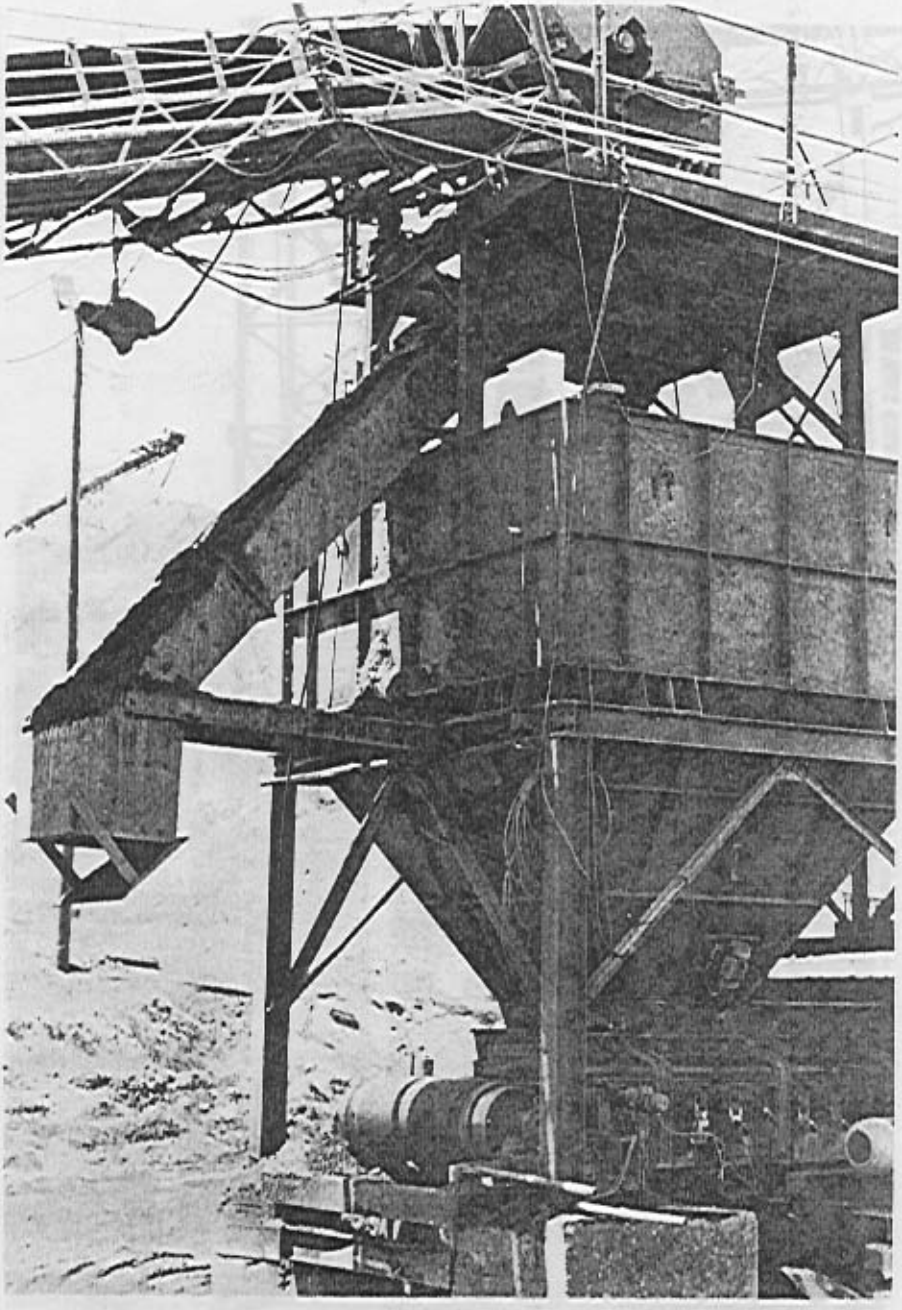


Figura 232 – Vista Lateral do Silo de Transferência, Possibilitando Alimentar Correia e/ou Caminhão URUGUA-I – ARGENTINA

BARBER GREENE

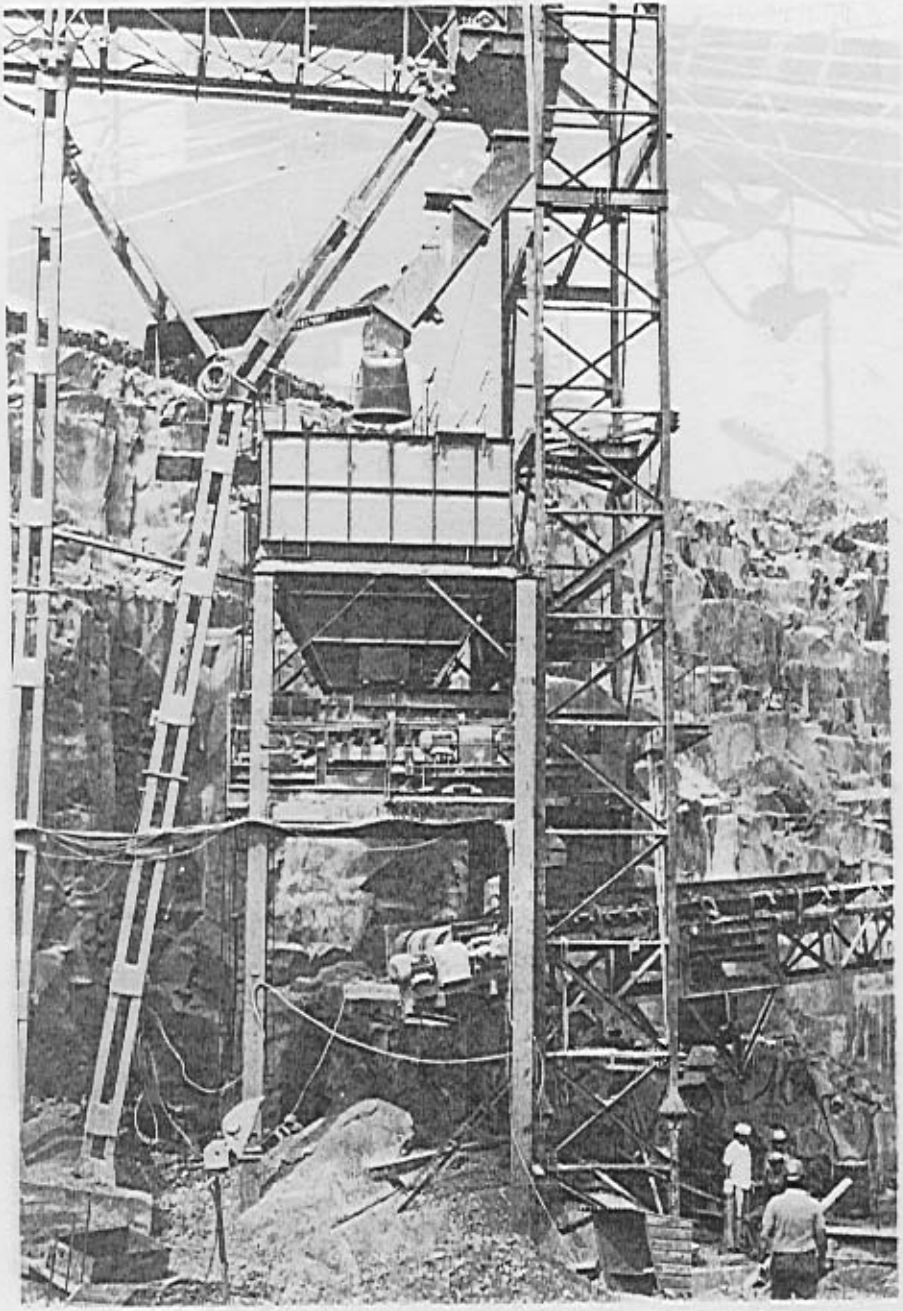


Figura 233 – Esteiras em Níveis Diferentes, com Silo de Transferência Entre Ambas – URUGUA-I – ARGENTINA

BARBER GREENE

7.6. Lançamento e Espalhamento

O "Concreto Rolado" deve ser lançado e espalhado em subcamadas de espessuras compatíveis com os equipamentos de compactação, transporte, produção e com as características da mistura, a fim de evitar "juntas frias".

A altura das subcamadas, até o presente momento, tem se situado entre 20 cm e 100 cm (12) (15) (16) (38) (49). Deve-se entretanto considerar que a altura da subcamada tenha no mínimo 3 vezes o tamanho máximo do agregado.

O "Concreto Rolado" deve ser lançado o mais rápido e diretamente no local de aplicação, evitando transferências e de modo a não causar a segregação.

A técnica usual para o lançamento do CCR é a de se estender as camadas de ombreira a ombreira ou em blocos extensos. Neste caso, quando se utiliza concreto convencional no paramento montante ou jusante, é mais prático deixar o CCR da camada anterior descoberta por cerca de 20 minutos enquanto se processa o avanço do CCR no núcleo. O planejamento executivo deve ser tal que, próximo ao paramento, seja primeiramente colocado o concreto convencional, a seguir o CCR e a seguir, vibrada a interface entre os dois em conjunto, como foi feito em Tucuruí, Saco de Nova Olinda, Urugua-i, e Monksville, por exemplo.

Para o espalhamento do "Concreto Rolado" podem ser usados tratores de lâmina (tipo Bulldozer) ou equipamentos espalhadores do tipo usado em construção de pavimento. Se houver opção por transporte do tipo contínuo, pode ser adotado um tipo de transferidor espalhador acoplado aos pontos de descarga da correia transportadora.

A utilização de "Scrapers" ou vagões "Boton Dumpers" para o transporte do "Concreto Rolado" minimiza a operação de espalhamento, visto que o próprio sistema de descarga permite um espalhamento, e devido à pouca altura, reduz a segregação.

Se o material é depositado em pilhas grandes, devido a sua consistência seca, a segregação será, provavelmente, maior pois os agregados de maior ϕ max tenderão a rolar até a base da pilha. Para minimizar tal ocorrência é considerada como regra geral limitar a altura de pilhas a 1,5 m, além de descarregar o CCR na camada espalhada mas não compactada, de modo a promover a re-mistura de ambos os lançamentos durante a operação de espalhamento.

O espalhamento deve ter como objetivo a obtenção de superfície plana, antes da compactação. Dependendo de consistência da mistura, desníveis entre passadas adjacentes podem acarretar a distribuição não uniforme do esforço de compactação e, portanto, a qualidade final pode ser afetada.

O controle da altura da camada pode ser feito através de linhas de referência indicadas nas formas laterais e de gabaritos de penetração nos pontos

intermediários, a exemplo de como é feito em aterros compactados. Em algumas obras tem sido comum o uso de raios laser para controlar a altura da lâmina de modo a reduzir os erros do operador e manter a tolerância típica para a espessura de camada em torno de 2,5 cm.

As operações de mistura, transporte e lançamento devem ser executadas o mais rápido e automaticamente possível. Os prazos disponíveis para a execução dessas operações são afetados pelas condições locais e pelos métodos de espalhamento e compactação. Obviamente, o prazo entre o início da mistura e o final das operações de compactação deve ser inferior ao do início de pega do concreto nas condições de trabalho. Como regra geral considera-se 30 minutos como um prazo seguro entre o início de mistura e o final de compactação.

Figura 234 – Espalhamento com Bulldozer – SHIMAJIGAWA – JAPÃO

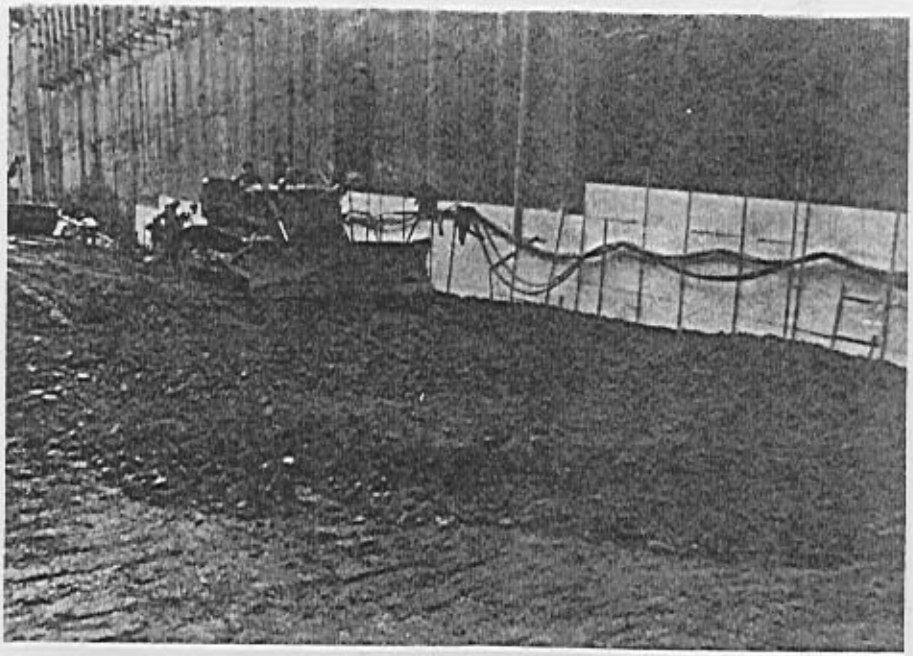


Figura 235 – Espalhamento com D-6 – ITAIPU

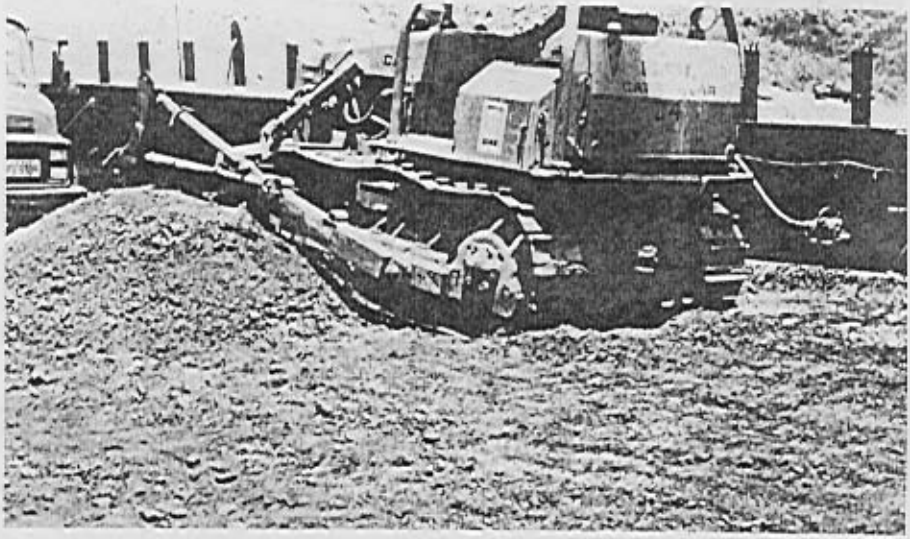


Figura 236 – Espalhamento com D-4 – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

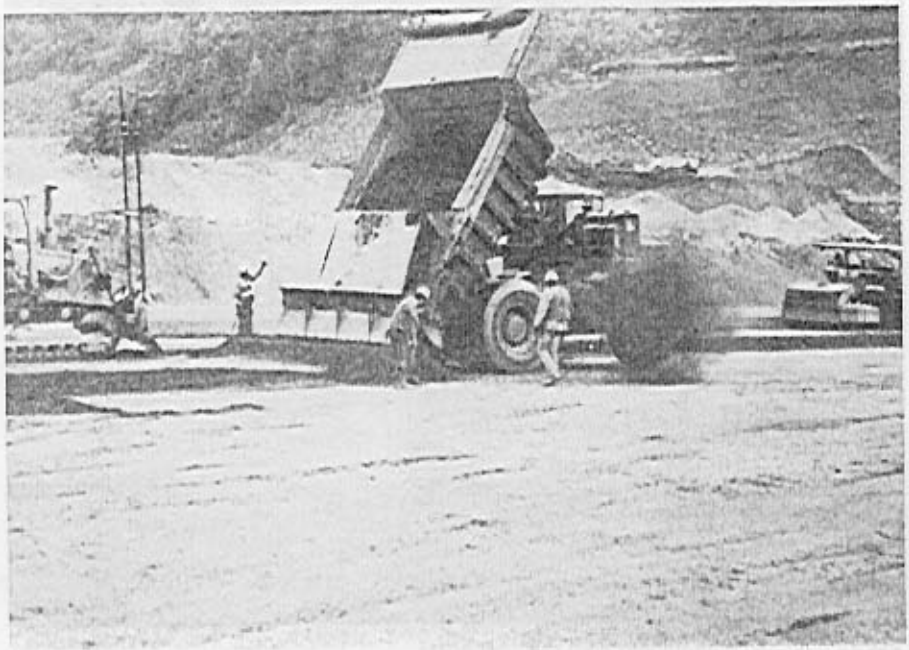


Figura 237 – Espalhamento Com a Própria Caçamba (Adaptada) do Basculante. Isso Reduz o Trabalho do Bulldozer – UPPER STILLWATER – E.U.A.

Figura 238 – Sequência do Espalhamento Citado na Figura 237 – UPPER STILLWATER – E.U.A.

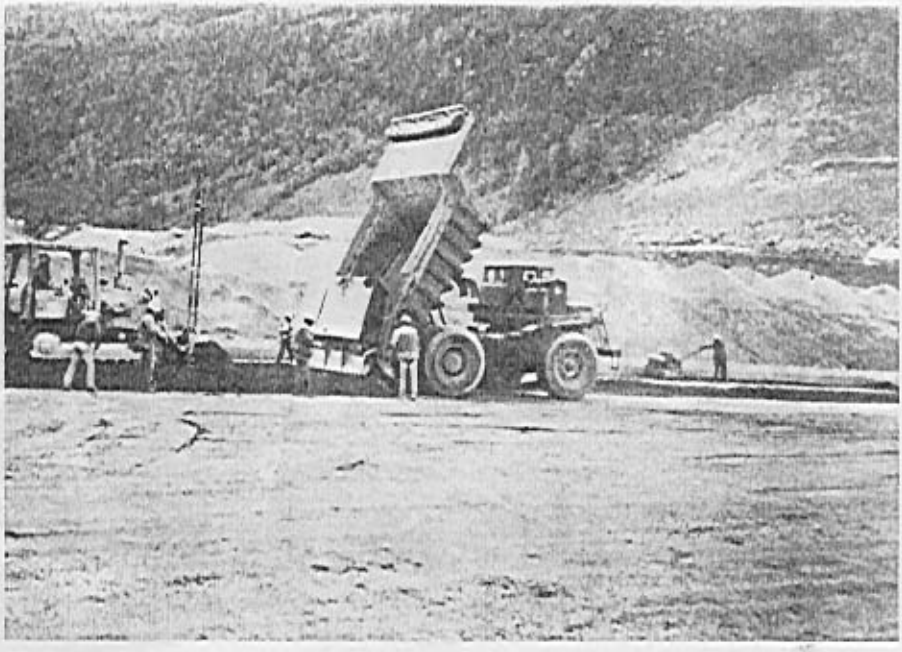


Figura 239 – Sequência de Espalhamento, a Partir da Figura 237 – UPPER STILLWATER – E.U.A.

Figura 240 – Detalhe do Espalhamento Citado na Figura 237 – UPPER STILLWATER – E.U.A.

Figura 241 – Evidência de Pouca Segregação, no Concreto Rolado ϕ Max 50 mm – UPPER STILLWATER

Figura 242 – Homogeneização da Camada Espalhada – UPPER STILLWATER

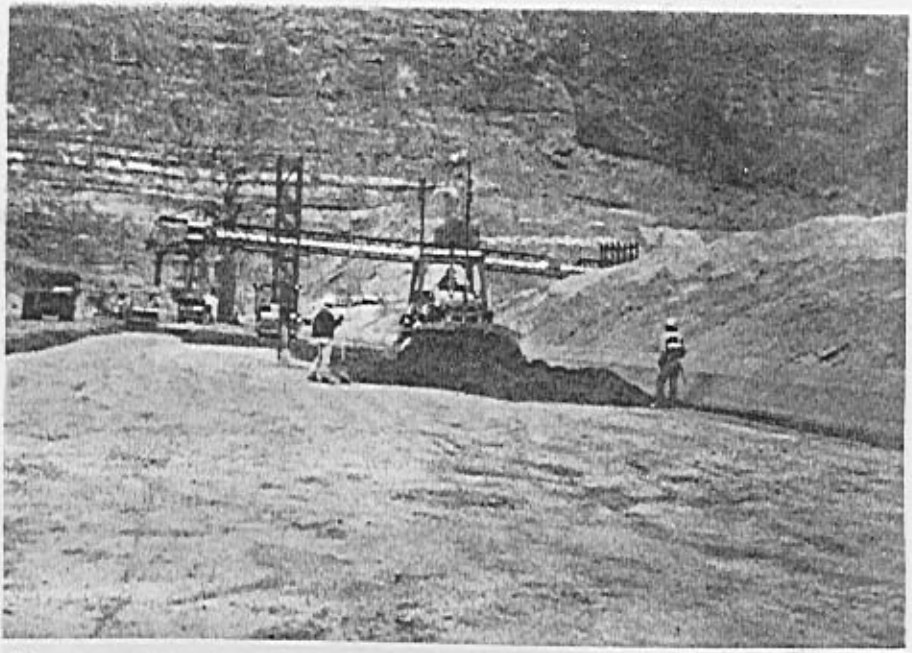


Figura 243 – BULLDOZER Efetuando o Espalhamento – UPPER STILLWATER

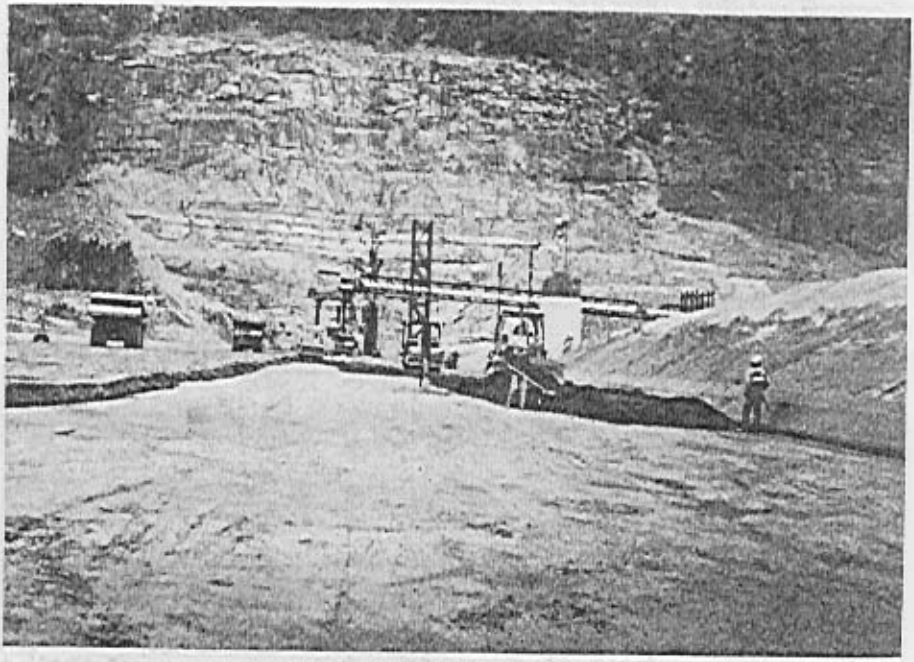


Figura 244 – Sequência da Figura 243 – UPPER STILLWATER

Figura 245 – Espalhamento Efetuado Por D-7. Notar que BULLDOZER Faz um Amontoamento Para a Futura (Ver Foto 246) Descarga. Notar Também a Haste Para Comando a LASER – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 246 – Sequência do Basculamento, Sobre Amontoamento – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 247 – Sequência (A Partir da Figura 245) do Basculamento do RCC – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 248 – Sequência de Basculamento – URUGUA-I – ARGENTINA

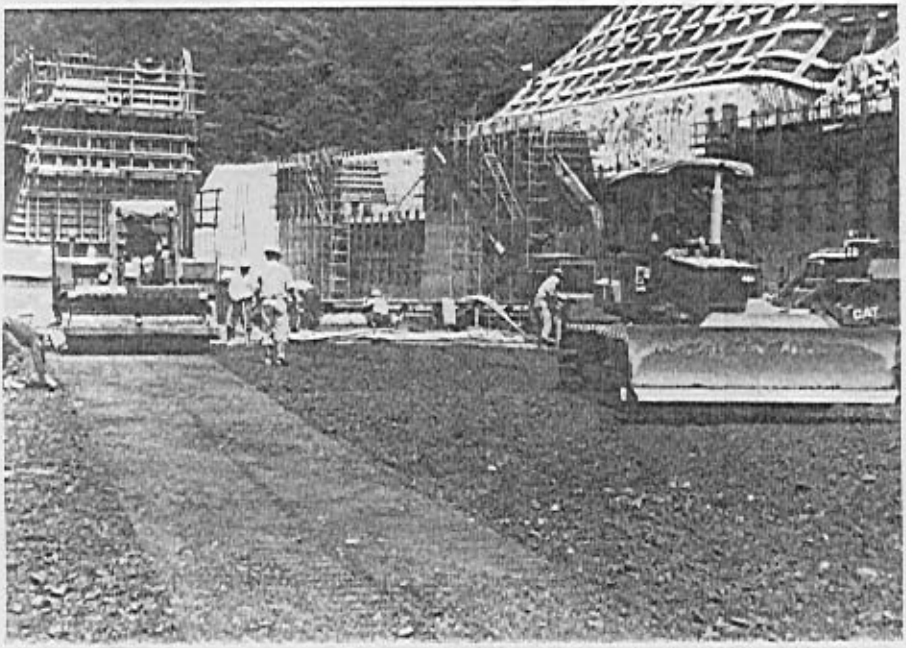


Figura 249 – Espalhamento com BULLDOZER de 11 T. – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 250 – BULLDOZER D-4, Equipado Com Hastes (Sobre a Lâmina) Para Controle Através de Raios Laser – UPPER STILL WATER – E.U.A.

Figura 251 – D-7, Com Haste Sensora a Laser e Orientador do Operador Quanto a Posição da Lâmina – URUGUA-I – ARGENTINA

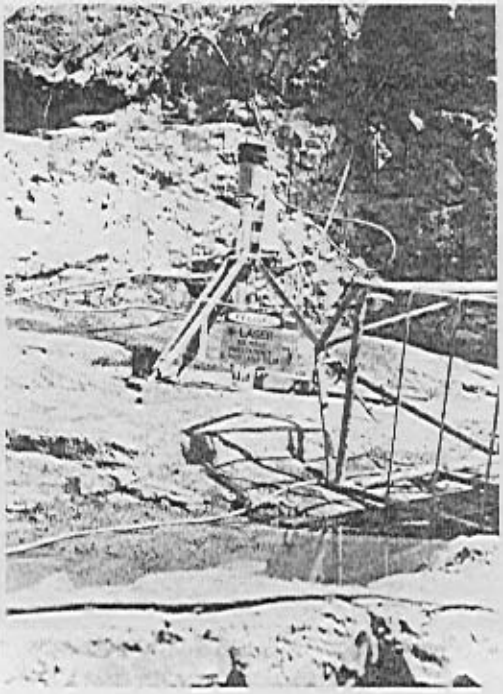


Figura 252 – Emissor de Raios Laser. A Emissão Varre um Plano, de Tal Forma a Poder Orientar a Camada, Mesmo Inclinada – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 253 – A Utilização de Equipamentos Muito Pesados (Acima de 10-11 t) Provoca Danos à Superfície, Como se Evidencia Pelo Tráfego do D-7 – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 254 – Sulcos Deixados Pela Esteira D-7 – URUGUA-I – ARGENTINA

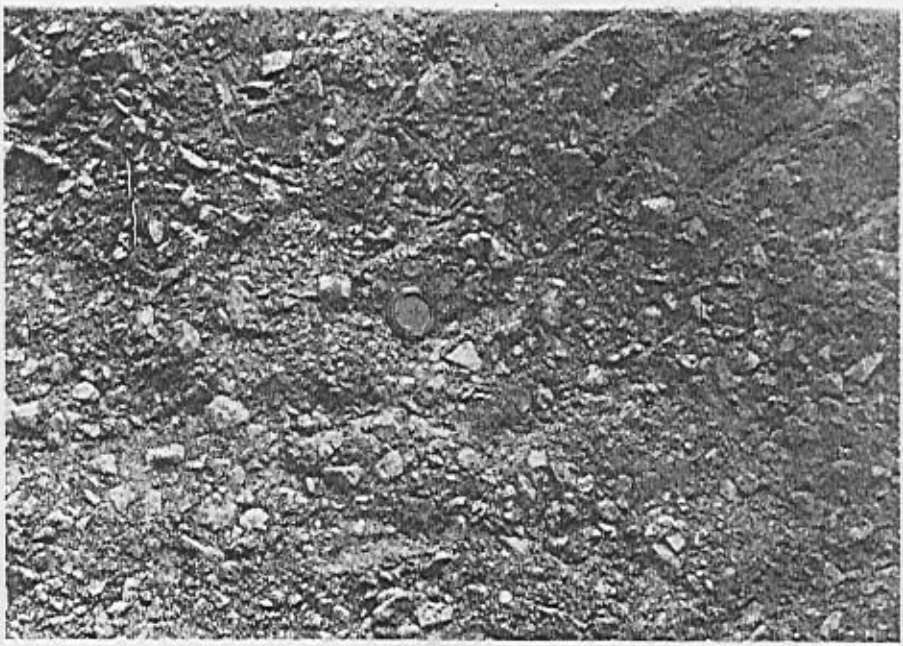


Figura 255 – Aspecto do Concreto Rolado, Com 130kg/m3 de Cimento e ϕ Max 76 mm, Durante o Espalhamento – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 256 – Textura do Concreto Rolado Com 60 Kg/m3 de Cimento e ϕ Max 76 mm – URUGUA-I – ARGENTINA

7.7. Compactação

O adensamento do "Concreto Rolado" pode ser efetuado por uma grande variedade de tipos de rolos vibratórios, inclusive os usuais nos serviços de compactação de materiais granulares, sendo que os rolos vibratórios auto-propelidos são mais adequados e de operação mais simples.

As condições operacionais, força de compactação, dimensões dos tambores, freqüência, amplitude e velocidade de translação são parâmetros fundamentais que devem ser considerados na escolha do equipamento.

A produção horária do volume de concreto compactado aumenta com o aumento das dimensões e da velocidade de translação.

Os japoneses procuram equacionar o adensamento ótimo em termos de energia de compactação através da expressão.

$$e = 2a \cdot \left[Q + \frac{E}{2} \right] \cdot \frac{L}{V} \cdot n \cdot N \cdot \frac{1}{B \cdot L}$$

sendo:
e = energia de compactação do rolo vibratório
a = amplitude do tambor (simples) vibratório
Q = carga axial do tambor vibratório
E = força de excitação
V = velocidade de compactação do rolo vibratório
L = comprimento do rolo vibratório
n = freqüência
N = número de passadas do rolo vibratório
B = largura de compactação

A eficiência operacional do equipamento pode ser avaliada por meio dos parâmetros básicos:

- coeficiente de pressão estática e,
- coeficiente de potência – pressão.

O coeficiente de pressão estática é obtido pelo peso estático dividido pela área de contato do tambor. O coeficiente de potência-pressão é obtido pela potência (mecânica) do equipamento dividida pela pressão de contacto.

De preferência deve-se procurar equipamento com maior coeficiente de pressão estática e simultaneamente de menor coeficiente de potência – pressão.

A compactação pode ser afetada, também, pela velocidade de translação. Normalmente a velocidade de translação se situa entre 1 km/h (41) e 3,0 km/h (43), sendo que as velocidades menores são mais usadas para rolos mais leves.

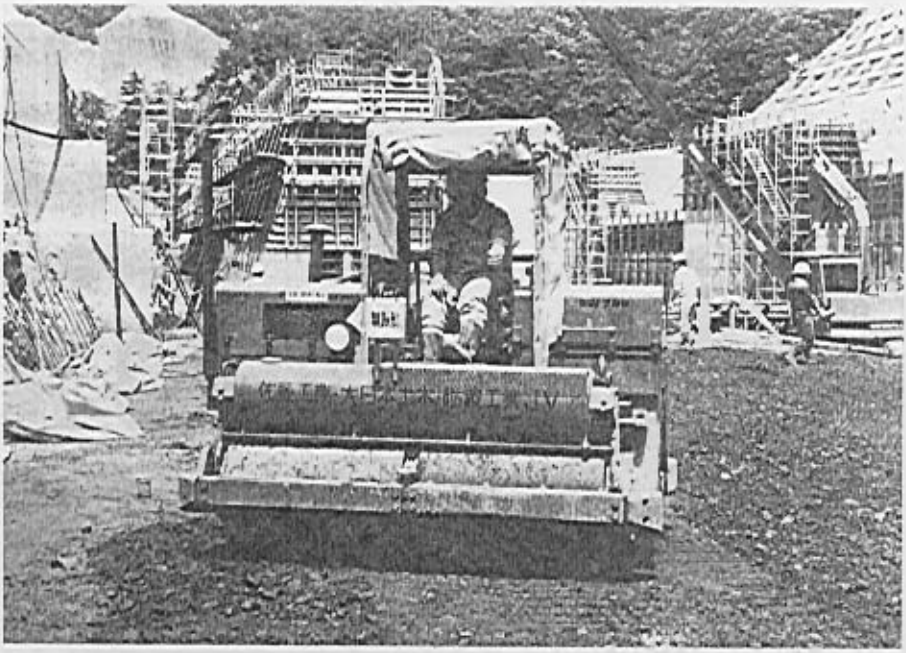


Figura 257 – Rolo Compactador Tandem – Tipo BW-200 Bomag – 7t, Usado nas Obras Japonesas – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 258 – Operação do BW-200 (7t). Notar que o próprio "Bulldozer" Usado no Espalhamento Proporciona Uma Pré-Compactação – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 259 – Rolo CA-25 (10 T), Dynapac, Usado para a Compactação do Concreto Rolado – TUCURUI – BRASIL

Figura 260 – Rolo CC-43 (12 T) Usado para Adensamento do CCR-SACO NOVA OLINDA – BRASIL

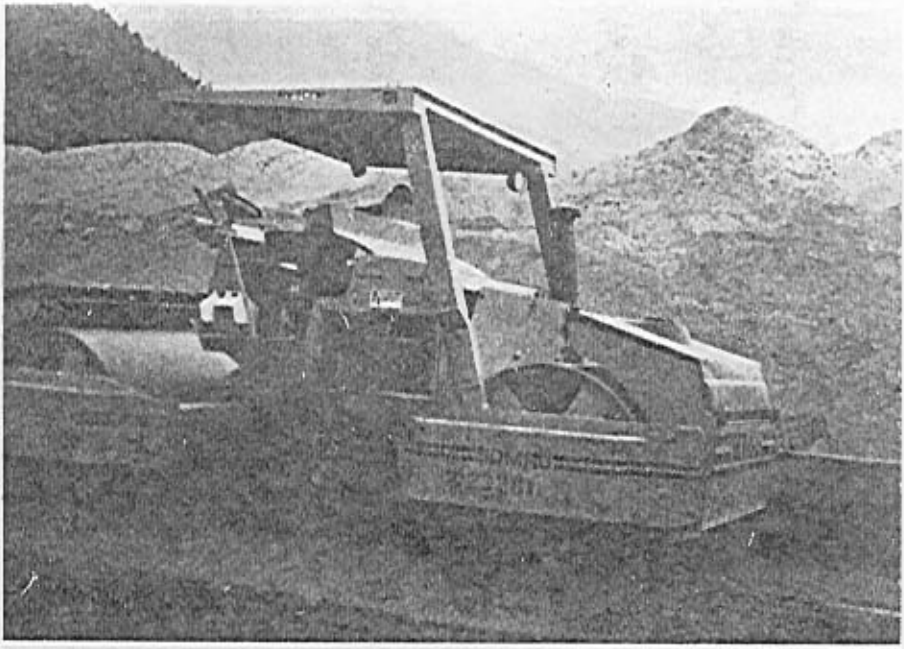


Figura 261 – Rolo Tandem – Usado em UPPER STILLWATER – E.U.A.

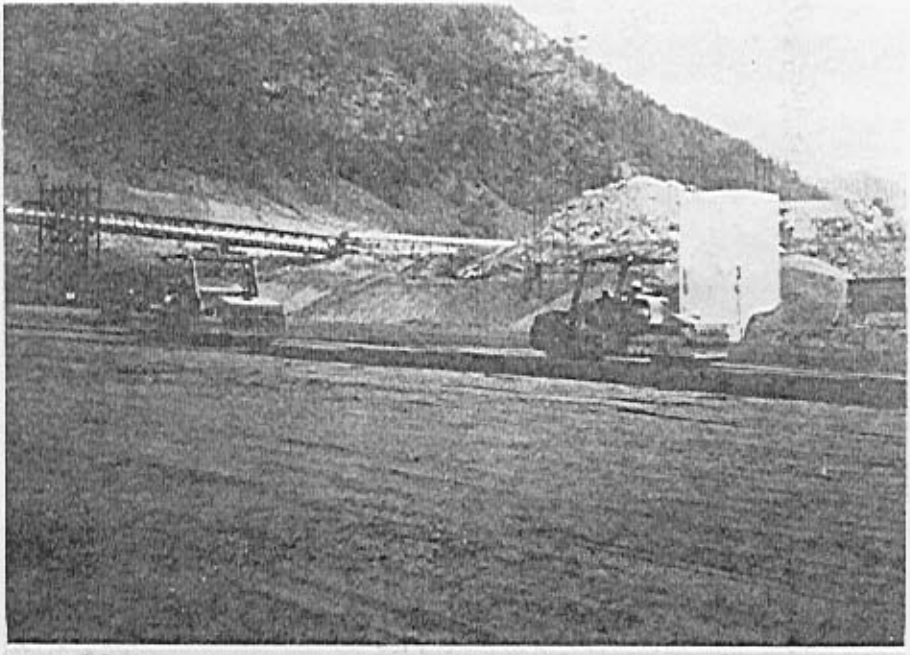


Figura 262 – Rolos Vibratórios, Usados em UPPER STILLWATER – E.U.A.

Figura 263 – Rolos Tandem – UPPER STILLWATER – E.U.A.

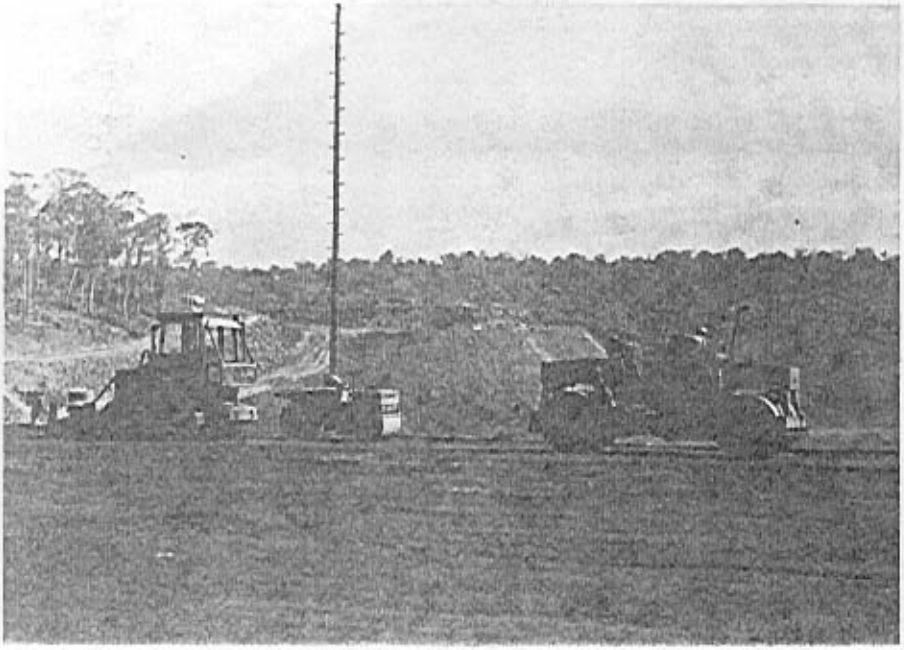


Figura 264 – Rolos Tandem de 12 t e 3 t, Usados em URUGUAI – ARGENTINA

Áreas confinadas ou de pequenas dimensões, ou ao redor de drenos devem ser compactadas por meio de compactadores portáteis ou de placa.

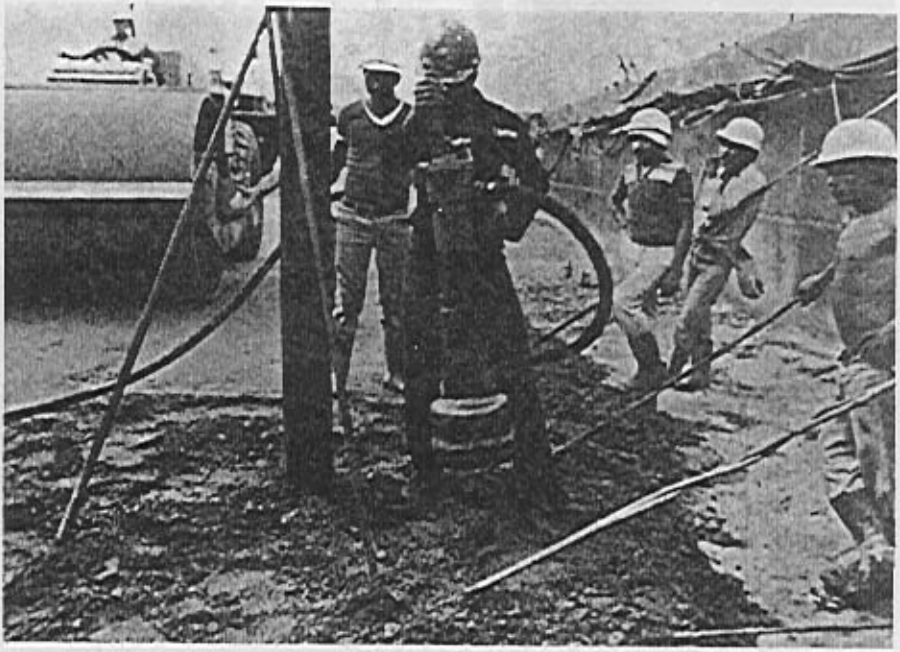


Figura 265 – Compactação ao Redor de Drenos, Com "Sapo" (Compactador Portátil) – TUCURUI – BRASIL

Tendo em vista o exposto anteriormente, onde se cita um envelopamento do "Concreto Rolado" com concreto massa convencional lançado simultaneamente com "Concreto Rolado" há necessidade de "costura" (interligação entre essas duas classes de concreto) dos concretos, o que pode ser feito com vibradores de imersão.

Figura 266 – Adensamento do Concreto Convencional de Face, Lançado Simultaneamente Com o Concreto Rolado – TUCURUÍ – BRASIL

Figura 267 – Sequência de Operação em Relação à Figura 266

Figura 268 – Adensamento do Concreto de Face com Vibrador – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 269 – Sequência de Operação, Referente à Figura 268, Adensando a Transição Concretos Rolado-Convencional – SAKAIGAWA – JAPÃO

O controle da compactação deve ser feito, fundamentalmente, com base no número de passadas do rolo vibratório, de maneira análoga ao que se faz para aterros de solo ou enrocamento. A eficiência prática do rolo compactador é verificada através da medida do abaixamento da camada a cada passada do rolo. Isso deve ser estabelecido, preliminarmente, antes da escolha definitiva do equipamento de compactação, através de experimentos em aterros. A compactação excessiva deve ser evitada pois acarreta redução da densidade do CCR. A prática japonesa (82) de compactar camadas de 45 a 100 cm de uma vez, provou ser efetiva desde que, haja a divisão em subcamadas finas no espalhamento, maior número de passadas e cuidados especiais para evitar diferença de compactação ao longo da camada.

Durante a realização dos estudos de dosagens pode ser executado um aterro experimental onde a cada subcamada de material empolado podem ser feitas medições a cada passada do rolo. O número ideal de passadas, para uma certa mistura, características do rolo e altura de subcamadas, é aquele em que a diferença sucessiva entre as alturas de uma mesma subcamada seja nula, ou praticamente nula, de modo a se atingir a máxima massa específica.

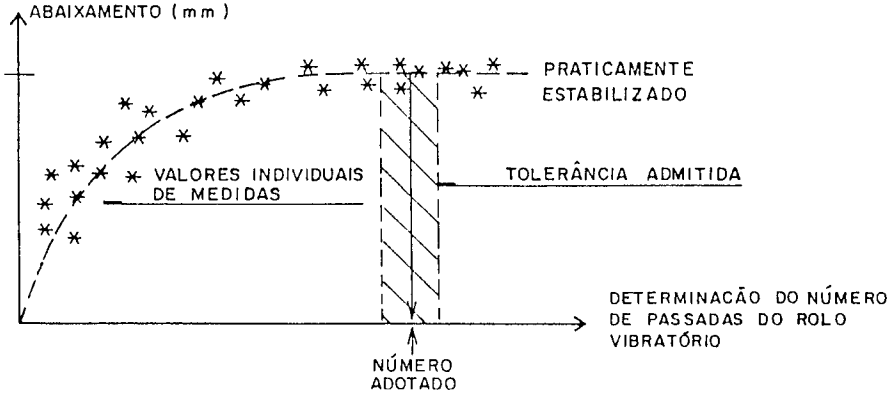


Figura 270 – Avaliação do Número de Passadas com Referência ao Abaixamento do Topo da Camada (Redução de Vázios) (38)

A partir da determinação do número mínimo de passadas, para a altura da subcamada e a mistura considerada, o controle é feito com esse número estabelecido, para a fase de construção, com o rolo vibratório escolhido.

Aparelhos de avaliação não destrutiva, tais como densímetro nuclear, aparelhos de ressonância e raio laser são instrumentos auxiliares e que podem dar maior flexibilidade ao controle, não dispensando, entretanto, o controle através do número de passadas.

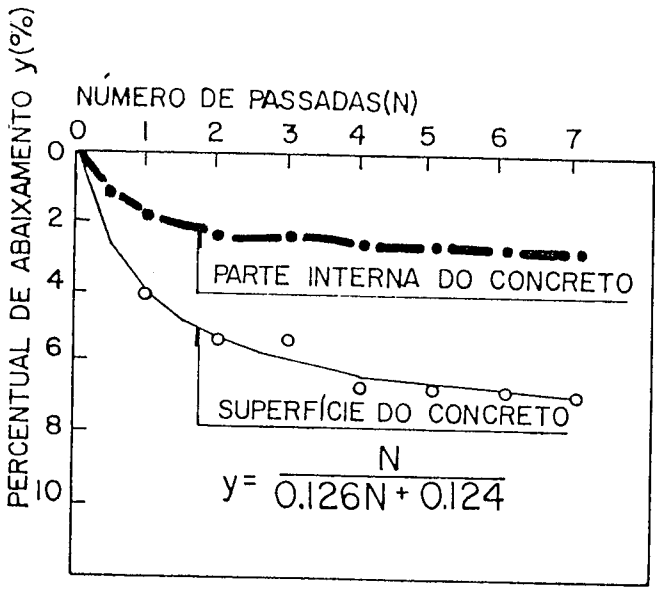


Figura 271 – Avaliação do Assentamento da Camada, com Base no Número de Passadas de Determinado Rolo (84)

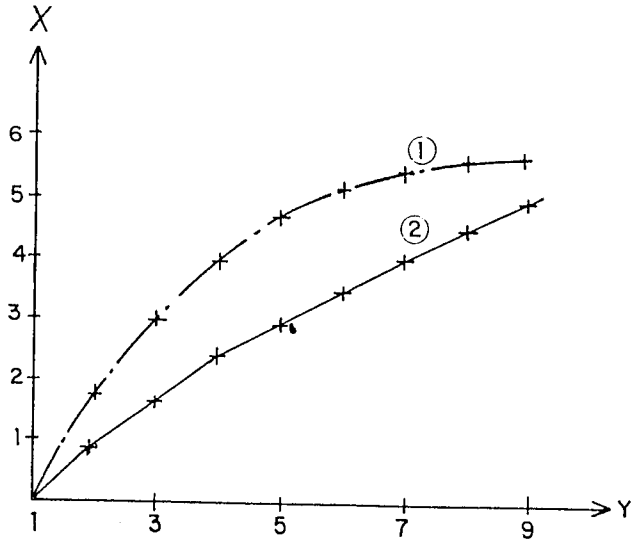
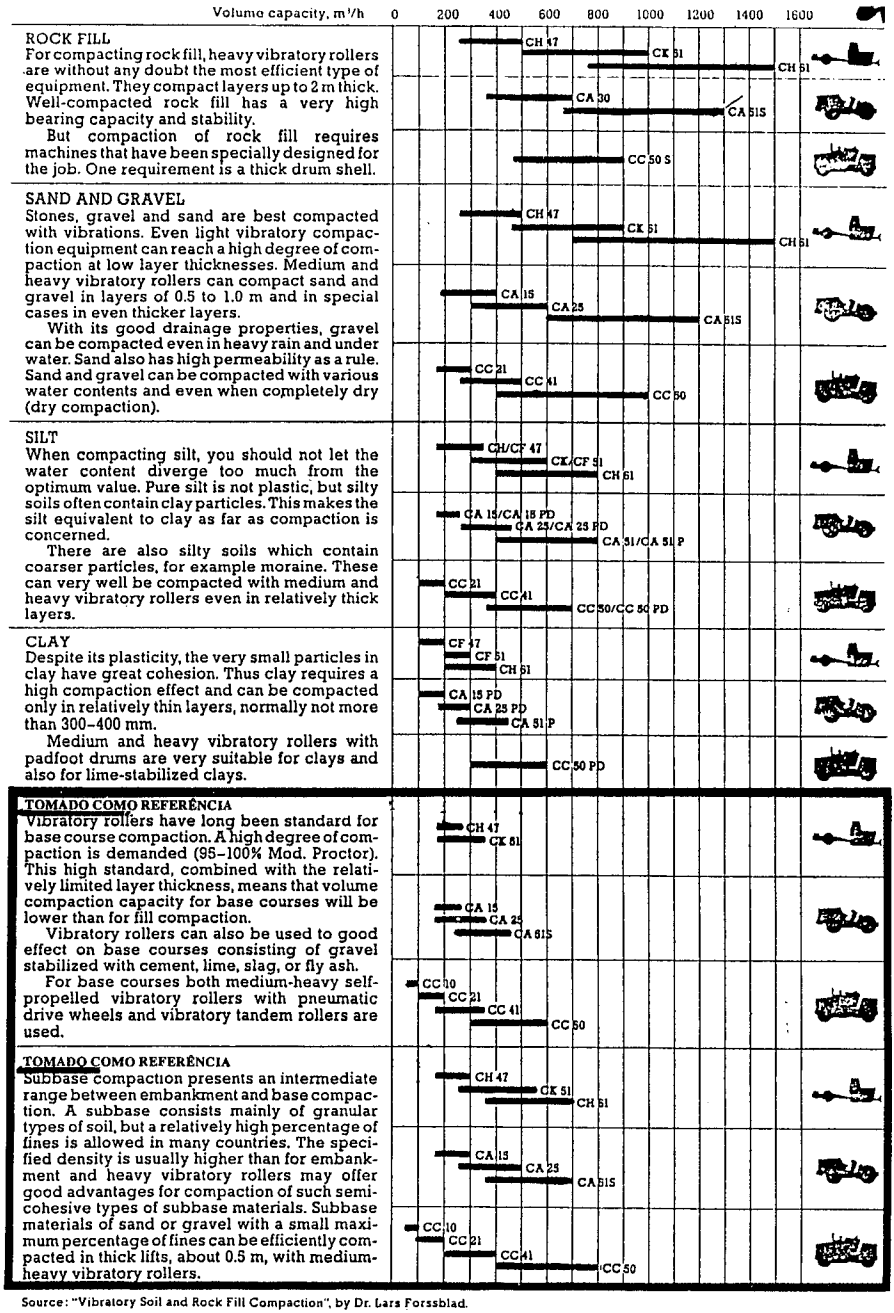


Figura 272 – Aspecto da Influência de Rolos de Diferentes na Compactação do R.C.C. (85)
1 – Rolo 2 x 5t (Tandem)
2 – Rolo de 12t
X – Fator de Compactação
Y – Número de Passadas

Um número excessivo de passadas pode causar laminação da superfície em compactação, como se observa na FIGURA 273.

Figura 273 – Laminação do Topo da Camada do R.C.C.; Devido ao Número de Passadas do Rolo Compactador – UPPER STILLWATER – EUA

O controle estabelecido deve fazer atender a massa específica requerida. As especificações atuais, indicam que a mínima massa especifica, seja superior a 95% da massa específica teórica (44).



Source: "Vibratory Soil and Rock Fill Compaction", by Dr. Lars Forssblad.

Figura 274 – Produtividades de Rolos Vibratórios Para Compactação

A FIGURA 274 mostra um conjunto de tipos de rolos compactadores, e respectivas produtividades, onde se evidencia que rolos pesados, tem produtividade muito superior aos picos obtidos (ver FIGURA 184) para a produção do Concreto Rolado.

Pela FIGURA 272 observa-se que determinados rolos fornecem uma maior quantidade de energia, logo às primeiras passadas, e que posteriormente um número maior de passadas, pouca influência proporciona. Isso indica que pode haver quebra de agregados próximos à superfície. Isso não ocorre com os certos rolos como mostra a curva 2 da FIGURA 272.

7.8. Cura e Proteção

A cura e proteção do "Concreto Rolado", em termos gerais, é semelhante ao tratamento necessário para o concreto convencional, mesmo por que o concreto deve ser mantido em uma condição úmida e a uma temperatura favorável para a hidratação do aglomerante.

A cura do "Concreto Rolado" deve ser feita com água aplicada por nebulizadores por período não inferior a 7 dias, ou até que se aplique nova camada de "Concreto Rolado".

Nos períodos de vento forte e/ou de insolação, situações essas que facilitam a evaporação, pode ser usado nebulizador.

Nos períodos de chuva intensa, e imprevista, as proteções do concreto não enrigecidos podem ser feitas com lonas plásticas, como exemplificado nas figuras a seguir:

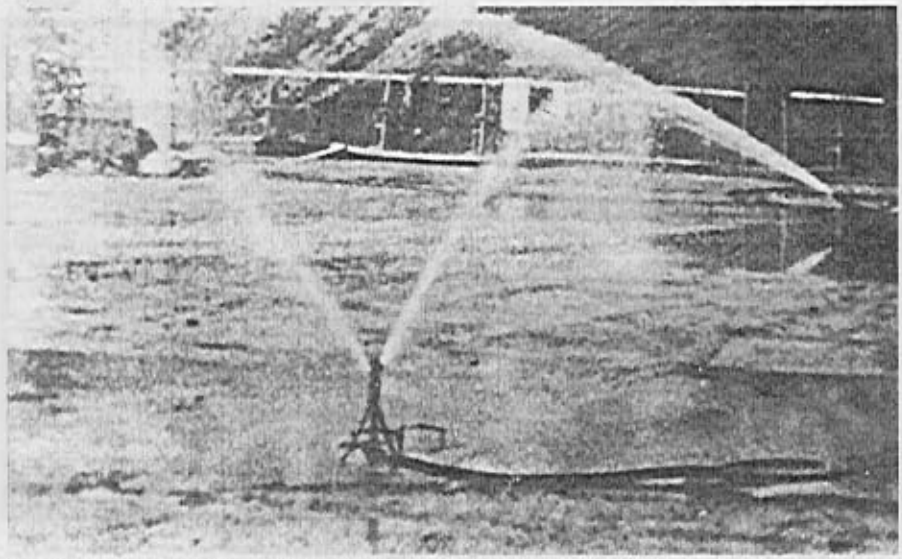


Figura 275 – Cura Sendo Executada Por Torniquetes Hidráulicos – SHIMAJIGAWA – JAPÃO

Figura 276 – Cura Por Aspersão de Água, Através de Caminhão Pipa-UPPER STILLWATER – E.U.A.

Figura 277 – Cura Por Vaporização de Água, Através de "Espingarda" – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 278 – Cura por Nebulização Com Caminhão Pipa – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 279 – Cura Por Aspersão Com Bicos do Caminhão Pipa, e Por Espingarda – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

O "Concreto Rolado" não deve ser lançado quando ocorrer chuva forte. Para tanto pode ser usado a especificação do Corps of Engineers (41) (42) que impede o lançamento do "Concreto Rolado" quando ocorrer precipitações superiores a 7 mm/h ou 0,7 mm em 6 (seis) minutos. Entretanto esses valores devem ser adequados ao teor de água da mistura.

Outros limites, estabelecidos pelo Bureau of Reclamation, indicam que o lançamento de CCR seja paralisado tão logo se tenha precipitações da ordem de 2,5 mm/h ou 0,25 mm/6 min (75).

No caso de Tucuruí, obra sujeita a chuvas intensas e imprevistas, foram utilizadas lonas de plástico como proteção ao CCR recém-lançado.

Em períodos de ventos ou elevada evaporação o "Concreto Rolado" deve ser protegido pela ação de nebulizadores para manter uma atmosfera úmida na área de trabalho.

Figura 280 – Aplicação de Lona Plástica Para Proteger o Concreto Rolado Recém Lançado, Contra Chuvas – TUCURUI – BRASIL

Figura 281 - Proteção do Concreto Rolado, Contra Chuvas – TUCURUI – BRASIL

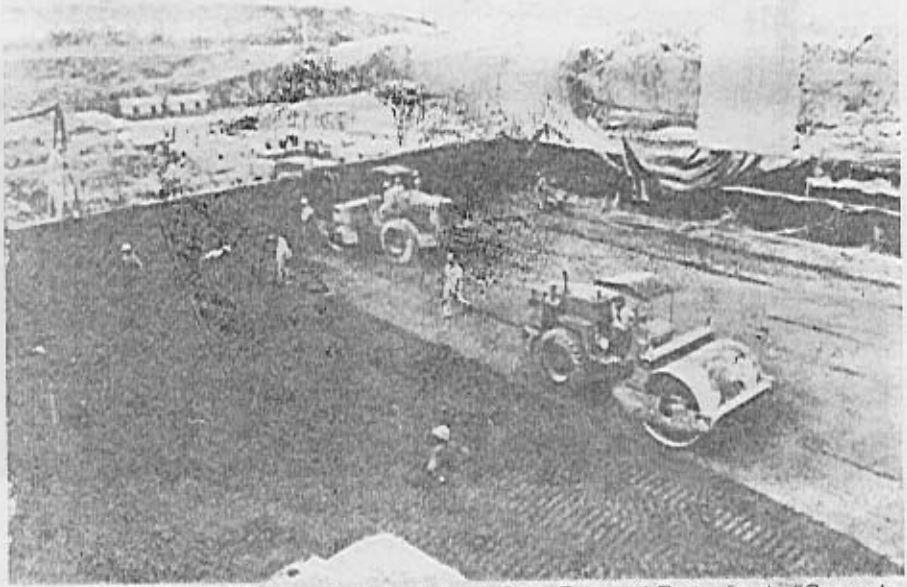


Figura 282 – Lona Plástica (Junto a Forma) Para Eventual Proteção do "Concreto Rolado" Em Períodos de Fortes Chuvas TUCURUI – BRASIL

Figura 283 – Ação de Nebulizador Para Manter Atmosfera Úmida e Evitar a Evaporação da Água do "Concreto Rolado" – TUCURUI – BRASIL.

Figura 284 – Aspersão Durante a Compactação, Para Impedir a Secagem, Com "Regador" – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 285 – Nebulização Durante as Operações de Espalhamento e Compactação, Para Impedir a Segagem – URUGUA-I – ARGENTINA

7.9. Preparo de Superfícies

7.9.1. Generalidades

Em todas as superfícies sobre as quais possa ser lançado concreto convencional, deve ser feita uma limpeza retirando todo o material solto e insano. O critério de limpeza de superfície para receber o "Concreto Rolado" não difere do critério para limpeza de superfície a receber o concreto convencional. As diferenças ocorrem nos processos usados, como é visto à frente.

7.9.2. Fundação

As fundações, devem dar o suporte para barragem com a altura prevista.

Dessa forma, as escavações devem ser feitas até se atingir os níveis adequados de fundação do ponto de vista geo-mecânico. Após a limpeza mecânica, usual nesse tipo de construção, deve ser feita uma limpeza rigorosa retirando todo material solto, decomposto ou desintegrado, através de "monitores", que é também uma operação rotineira nas construções de barragem.

No caso de ocorrer infiltrações essas devem ser orientadas através de drenos para locais desejados, onde devem ser deixados tubos para injeção e respiro. As injeções são executadas após as concretagens, semelhante ao que se faz com as demais construções de barragem.

As primeiras concretagens sobre a fundação devem ser feitas com concreto convencional cobrindo as irregularidades.

7.9.3. Juntas de Construção

Sabe-se que as juntas de construção ou as interfaces entre camadas podem ser pontos fracos numa barragem de concreto massa convencional e por isso há sempre uma grande ênfase nos procedimentos de limpeza das mesmas.

As juntas horizontais de construção podem ser planejadas ou eventuais (juntas frias). Qualquer subcamada, ou camada em lançamento, que não seja coberta em tempo, atinge a pega e causa uma "junta fria' – junta de construção não programada. A pega é bastante afetada pela temperatura, teor de cimento na mistura e pelo tipo e características do aditivo quando usado. Com base no intervalo de tempo, nota-se que há uma grande vantagem em usar aditivo retardador de pega permitindo ampliar o tempo de pega e de trabalho, dando flexibilidade e aumentando a frente de trabalho da subcamada.

O tratamento da junta horizontal de construção do "Concreto Rolado" difere daquele da junta de construção do concreto massa convencional pois no "Concreto Rolado" o teor de água e pasta é menor. Dessa forma, praticamente não há filme de carbonatação na superfície, ou seja, a água de exsudação normal no concreto massa convencional, ocorre no "Concreto Rolado" em quantidade desprezível.

Se houver contaminação, ou secagem, a junta deve ser adequadamente limpa e é comum usar uma mistura de berço ou argamassa. É importante ressaltar, entretanto, que os procedimentos aqui mencionados são apenas orientativos e refletem experiências de obras diversas. Para cada caso deve-se efetuar ensaios abrangentes que permitam uma definição clara das condições de retomada de concretagem. Essa definição é de fundamental importância para o projeto, para o planejamento construtivo e, também, para que o construtor possa fazer sua programação.

A mistura de berço pode ser lançada sobre toda a superfície da camada ou apenas num trecho parcial, de montante, com o objetivo de garantir a propriedade mecânica da junta. A mistura de berço deve ser argamassada e plástica e, de preferência, ter sua pega substancialmente retardada. Deve ser utilizado agregado com $\emptyset$ máx igual ou menor que 19 mm, embora já se tenha empregado agregado com $\emptyset$ máx 38 mm. A espessura da camada deve ser, em média, a mesma da maior dimensão de partículas da mistura. A camada de berço deve misturar-se com o CCR e não provocar a ocorrência de camadas claramente definidas. A extração de carotes provou que a

adoção dos procedimentos acima citados para mistura de berço resulta em ligação muito eficiente entre camadas de CCR.

A camada de CCR deve ser espalhada sobre a camada de berço enquanto esta estiver trabalhável e plástica, sendo então compactada. Se a camada de berço for muito fina a ligação conseqüentemente será fraca. No entanto, se a camada de berço for muito espessa o rolo pode não conseguir transmitir o esforço de compactação em toda altura, resultando em material com densidade inferior à desejada.

Convém salientar que a prática japonesa de usar argamassa em toda a área da camada não é só empregada no CCR (ou RCD) mas também no concreto convencional (em obras do Japão). Esta prática não é mais utilizada nos concretos convencionais das barragens brasileiras há pelo menos 18 anos pois foi comprovada ser desnecessária sua adoção através de ensaios feitos pela CESP (Ilha Solteira), Furnas (Itumbiara) e Itaipu, entre outras empresas (87).

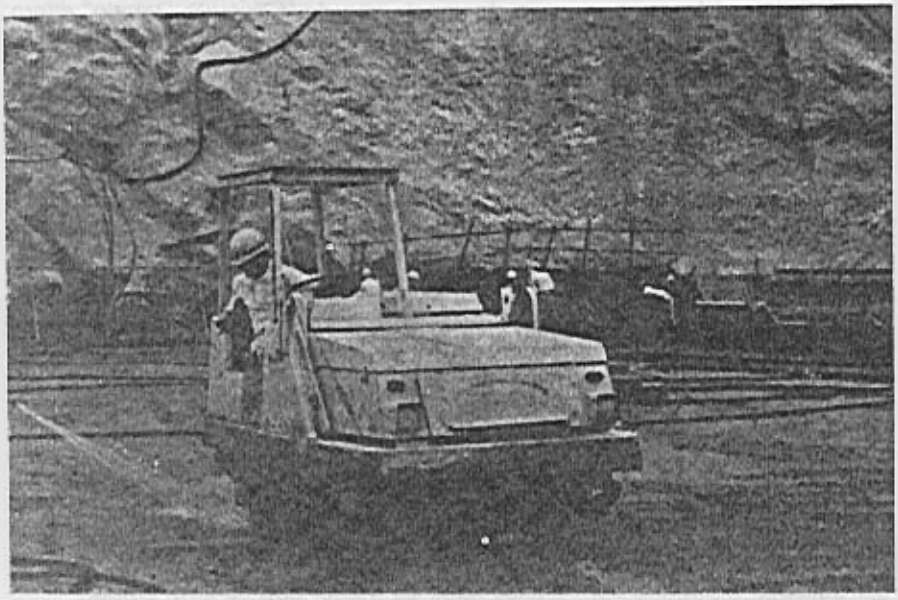


Figura 286 – Vassoura Mecânica, e Jatos D'Água, no Tratamento de Junta de Construção – SHIMAJIGAMA – JAPÃO

Figura 287 – Vassoura Mecânica – UPPER STILLWATER – E.U.A.

Figura 288 – Detalhe da Ação da Vassoura Mecânica – UPPER STILLWATER

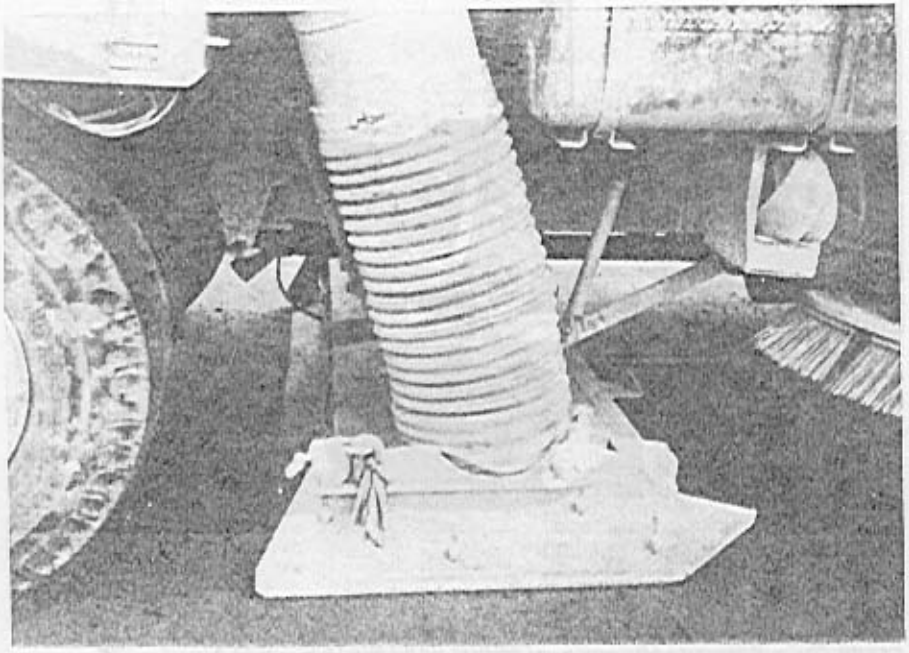


Figura 289 – Detalhe do Sistema Aspirador de Detritos, Durante Limpeza da Junta de Construção – UPPER STILLWATER – EUA.

Figura 290 – Veículo Usado Para Limpeza da Junta de Construção – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 291 – Aplicação de Argamassa na Junta de Construção das Camadas de Concreto Rolado – Tucurui – Brasil

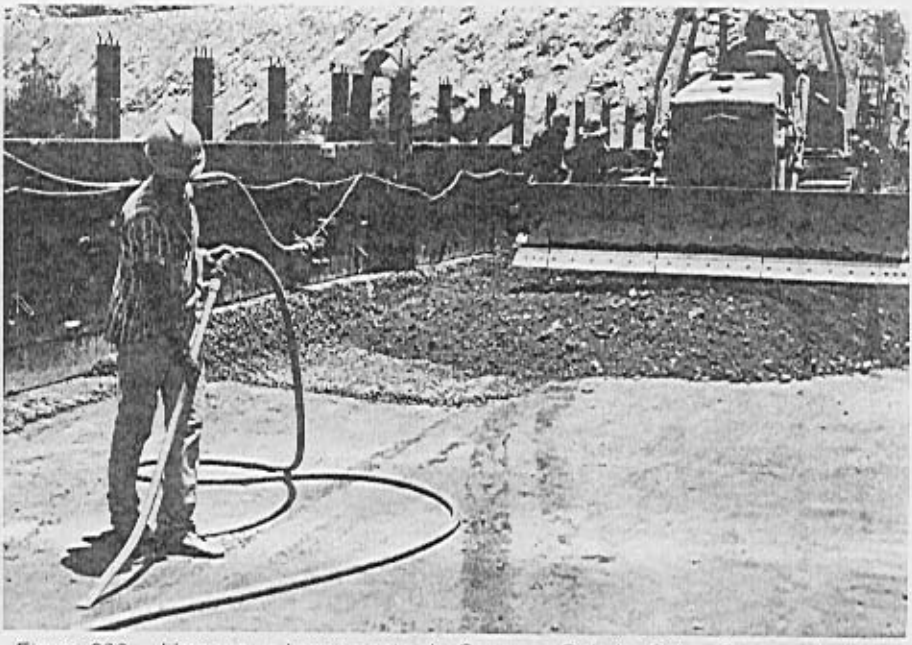


Figura 292 – Limpeza, e Lançamento do Concreto Rolado, Sobre Berço – Junto ao Concreto de Face – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

Figura 293 – Aplicação de Concreto de Berço Através de Caminhão Betoneira – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 294 – Concreto de Berço Aplicado Junto à Fundação (Talude Rochoso) – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 295 – Execução do "Corte-Verde" na Superfície do Concreto de Face – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 296 – Espalhamento de Argamassa na Junta de Construção Entre Camadas de Concreto Rolado – TUCURUI – BRASIL

7.9.4. Juntas de Contração

É convenientemente compactar o "Concreto Rolado" em áreas as maiores possíveis, de modo a usar a potencialidade do rolo vibratório. Entretanto, pode haver a necessidade de juntas de contração para compatibilizar a capacidade de produção e/ou os requisitos de projeto. Isso deve ser criteriosamente estabelecido de tal forma a otimizar intervalos de lançamento (conveniências de cronograma), dimensões dos monólitos (espaçamento de juntas) e temperatura de lançamento levando em consideração, evidentemente as condições climáticas da região, além da forma da estrutura e as propriedades dos materiais.

Estudos (39) de geração de calor e de elevação de temperatura de lançamento do "Concreto Rolado" indicam que um lançamento seqüencial ou uniforme da subcamadas tem um efeito benéfico na redução da fissuração, devido à distribuição uniforme na massa, e redução da restrição entre subcamadas ou camadas. A velocidade de lançamento ou intervalo entre lançamentos tem maior influência na evolução da temperatura do que a altura da camada e a temperatura ambiente afeta mais o pico de temperatura do que a temperatura de lançamento. Para uma mesma velocidade de lançamento a elevação de temperatura diminui com a redução da altura da camada. (Ver item 4.5).

A principal função do espaçamento das juntas de contração é o de limitar as zonas críticas de restrição das regiões inferiores da barragem (38), além de dar certa liberdade de deformação à estrutura como um todo. O controle das temperaturas devido à hidratação é fundamental para reduzir a fissuração nessas regiões. Entretanto, as juntas de contração servem também para reduzir a fissuração nas partes mais altas da obra.

Há ainda estudos que mostram ser indispensável a existência de juntas transversais, para a redução da fissuração (36).

Do ponto de vista de construção em si, as juntas de contração em barragens de CCR podem ser tanto formadas, como na construção tradicional, quando cortadas, serradas após a compactação do CCR, ou induzidas. Diversas técnicas e equipamentos podem ser empregados, tais como:

- corte por meio de lâmina vibratória e/ou percursora acoplada a trator como já citado;
- inseração de lâmina metálica e folha plástica por meio de equipamento, ou mesmo manualmente, em caso de camadas de pouca altura;
- enfraquecimento da linha de junta pela inserção de lâmina tipo pente e preenchimento do vazio por bentonita ou areia.

Tanto nas juntas de contração moldadas quanto "cortadas" é usual a utilização de veda-juntas tradicionais.

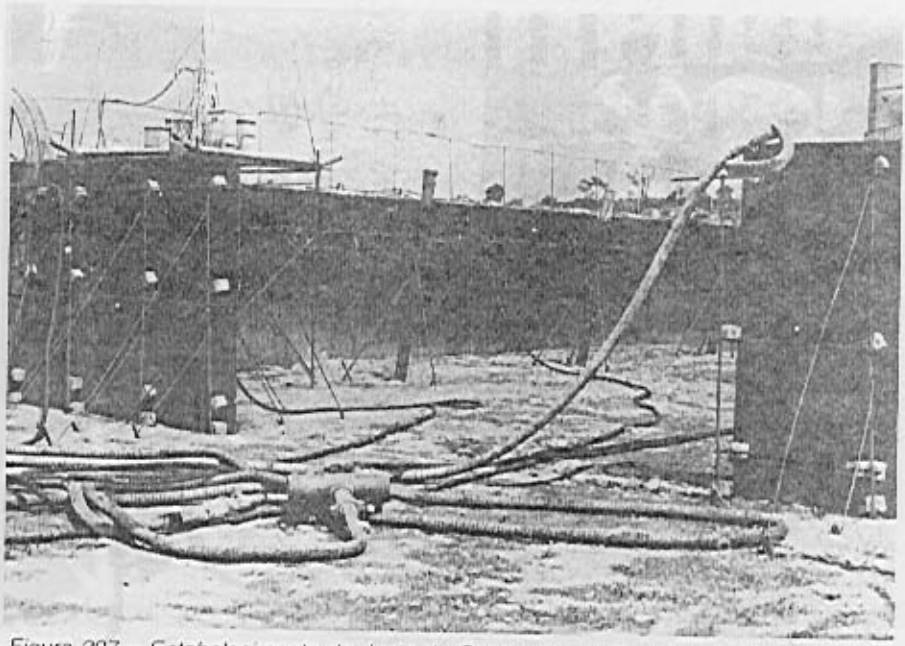


Figura 297 – Estabelecimento de Junta de Contração, no Concreto Rolado, Com Painéis de Madeira Compensada – TUCURUI – BRASIL

Figura 298 – Lâmina Metálica Moldando a Junta na Região do Concreto de Face. Notar os Veda-Juntas e o Dreno – SHIMAJIGAWA – JAPÃO

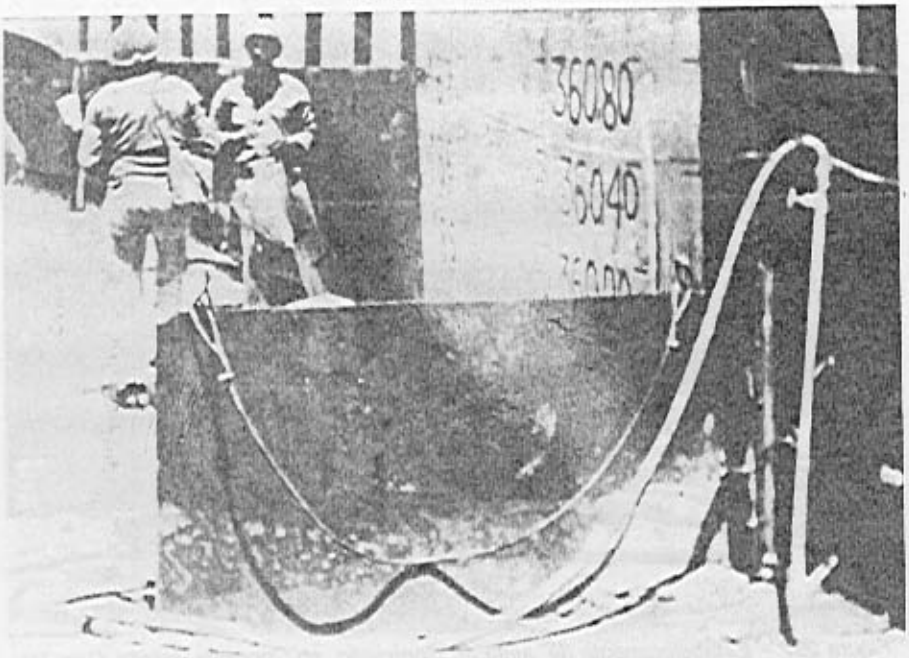


Figura 299 – Lâmina Para Estabelecimento de Junta de Contração na Região do Paramento de Montante – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

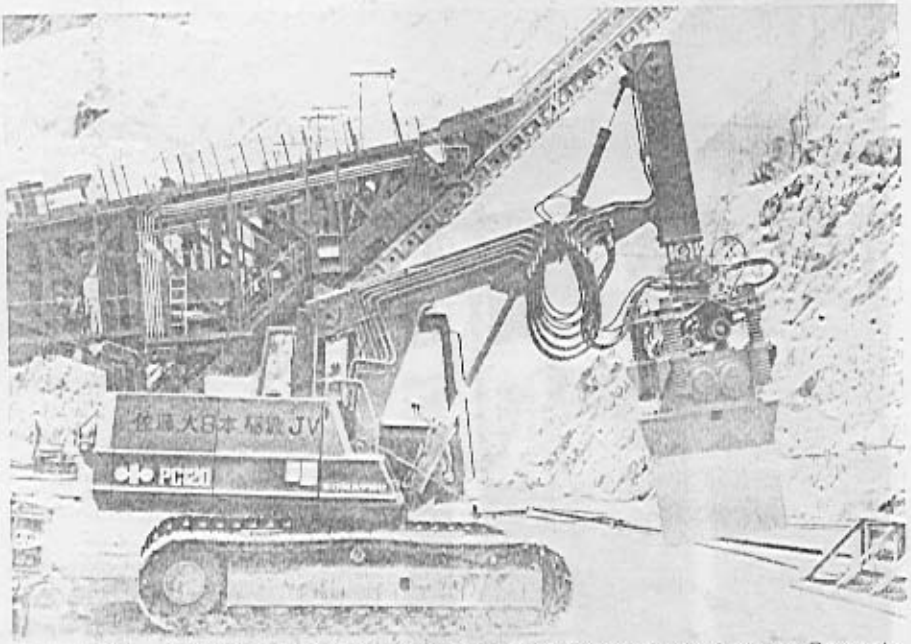


Figura 300 – Máquina com Lâmina Vibratória, Para Formação de Junta no Concreto Rolado – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 301 – Outra Vista da Máquina "Cortadora" – SAKAIGAWA – JAPÃO

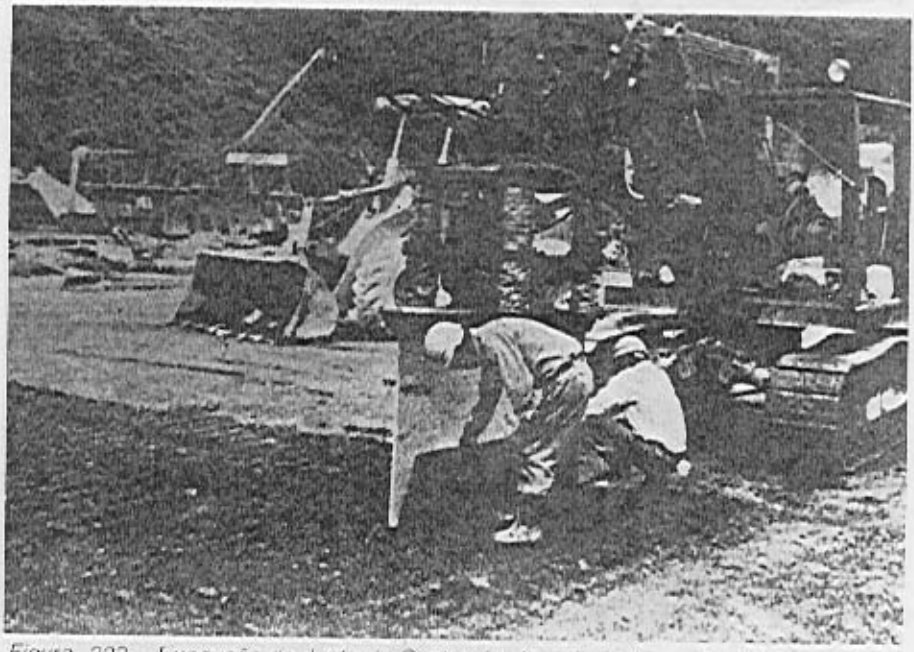


Figura 302 – Execução de Junta de Contração Através da Inserção de Lâmina Metálica, Juntamente com a Lâmina Vibratória – SHIMAJIGAWA – JAPÃO

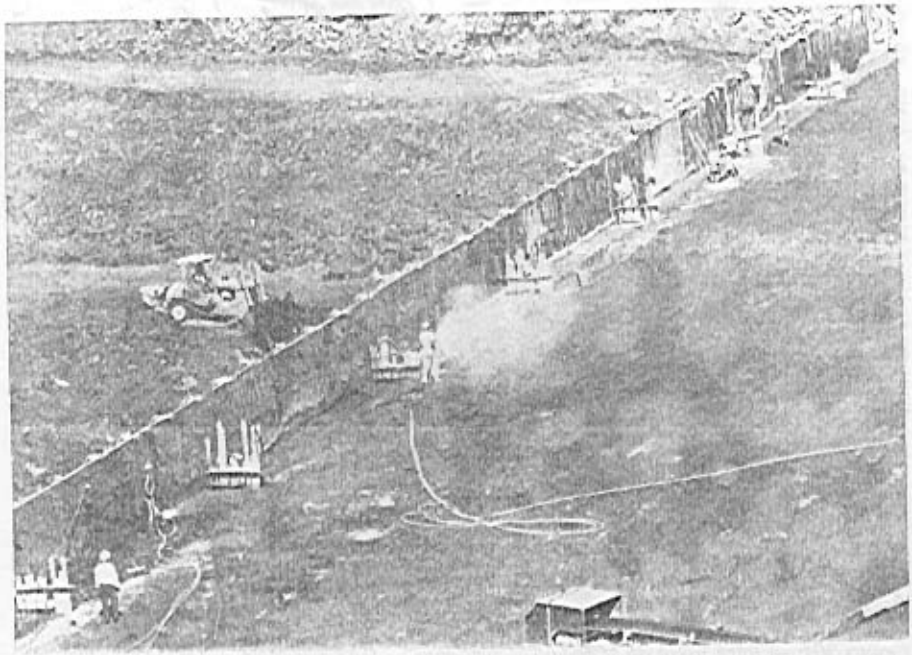


Figura 303 – Juntas de Contração no Concreto de Face, Estabelecida a Cada 15 m – URUGUA-I – ARGENTINA

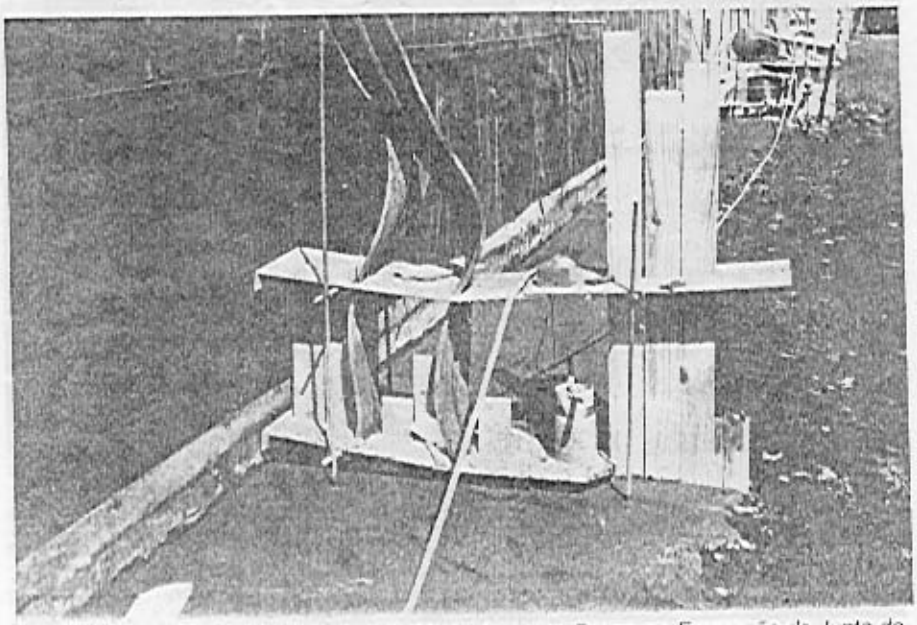


Figura 304 – Detalhe do Conjunto de Veda,Juntas e Dreno na Formação de Junta de Contração no Concreto de Face, Notar o Pré-Moldado com Membrana Elastomérica, Como Proteção à Montante – URUGUA-I – ARGENTINA

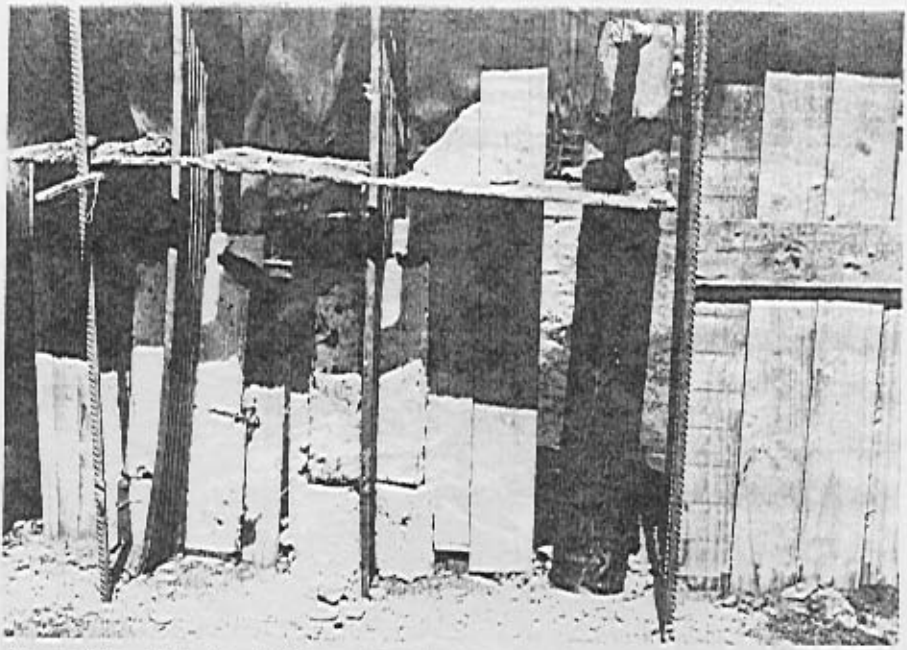


Figura 305 – Detalhe do Sistema Para Moldar a Junta de Contração no Concreto de Face – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 306 – Lâminas Metálicas Para Moldar Juntas de Contração (Espaçadas à Aproximadamente 60 M) no Concreto Rolado – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 307 – Envolvimento das Lâminas Metálicas com Manta Plástica Para o Estabelecimento de Junta de Contração no Concreto Rolado – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 308 – Envolvimento do Sistema de Formação de Juntas, na Face de Montante, Com Concreto Convencional de Face – URUGUA-I – ARGENTINA

7.10. Formas-Paramentos e Acabamentos

A utilização de "Concreto Rolado" no projeto não altera os tipos usuais de formas, pelo contrário facilita e reduz sua quantidade.

As barragens de CCR apresentam como uma de suas principais vantagens a pouca utilização de formas e portanto, as vantagens daí decorrentes tais como redução do pátio de formas, equipamentos para seu manuseio, mão-de-obra e materiais.

O projeto deve ser desenvolvido de maneira a dar ao contrutor as diversas opções, para que se possa obter vantagens econômicas.

Podem ser usadas, para a conformação do paramento de montante, formas que em nada diferem daquelas empregadas para concreto convencional, no entanto deve-se ter especial cuidado quanto às técnicas de fixação, encaixe e ancoragem das formas. As formas mais comumente empregadas, neste caso, são as auto-trepantes.

Caso formas sejam empregadas para a conformação do CCR, deve ser considerado que:

- a forma irá restringir o espaço disponível de trabalho dos rolos vibratórios e, portanto, a área adjacente às formas deverá ser adensada por meio de compactadores de pequeno porte;

- eventualmente, não será obtido bom acabamento da superfície do CCR em contato com a forma, o que pode ser minimizado com o emprego, na zona de contato, de mistura de alto teor de pasta e com agregado de ϕmáx igual ou inferior a 76 mm;

- próximo a crista da barragem a relação área de formas/volume de camada é alta, o que significa que o manuseio, lançamento e fixação de formas convencionais passa a consumir muito mais tempo, por altura de camada compactada, podendo gerar fatores complicadores (juntas frias horizontais, por exemplo).

São empregadas, ainda, diversas técnicas para a conformação de superfícies de paramentos, destacando-se, entre elas, as seguintes:

- uso de estrusoras de concreto ("power curbers"): utiliza-se a estrutosa para moldar um perfil de concreto convencional, contra o qual pode ser lançado o CCR, após prazos relativamente curtos (cerca de 8 horas); tal processo foi empregado na Barragem de Upper Stillwater (Ver FIGURAS 320 a 324);

- concreto pré-moldado: são, também, utilizados elementos pré-moldados como formas, consistindo, geralmente, de painéis finos ou blocos de concreto, com suportes para lançamento e posicionamento; para prover a impermeabilização já foi utilizada membrana plástica, de alta resistência, do

lado interno da barragem, contra a qual foi moldado o CCR; tal técnica foi empregada nas barragens de Winchester e Urugua-i (Ver FIGURAS 314 a 319);

- concreto não compactado: empregado, em geral, no talude de jusante, como camada sacrificial. Caso não se confine o paramento durante a compactação, o CCR vai assumir seu ângulo natural de repouso, do material.

Deve ser lembrado que a prática usual de concretagem do paramento montante prevê o lançamento simultâneo do concreto convencional e do CCR, adotando-se, em geral, a seguinte seqüência:

- lançamento sem adensamento, do concreto convencional do paramento;
- lançamento da camada de berço (concreto convencional) se necessário;
- lançamento e espalhamento da camada do CCR, inclusive sobre a camada de berço;
- compactação do CCR;
- adensamento do concreto convencional de paramento.

Tal seqüência de lançamento pode ser visualizada na FIGURA 309.

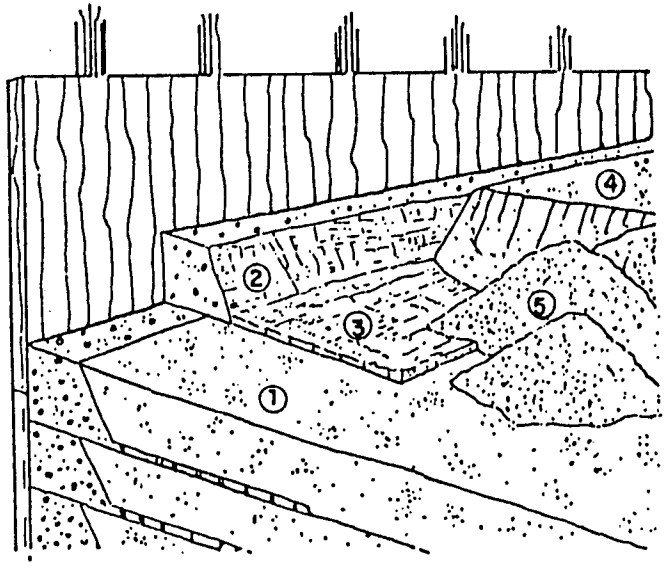


Figura 309 – Sequência Executiva de Lançamento – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

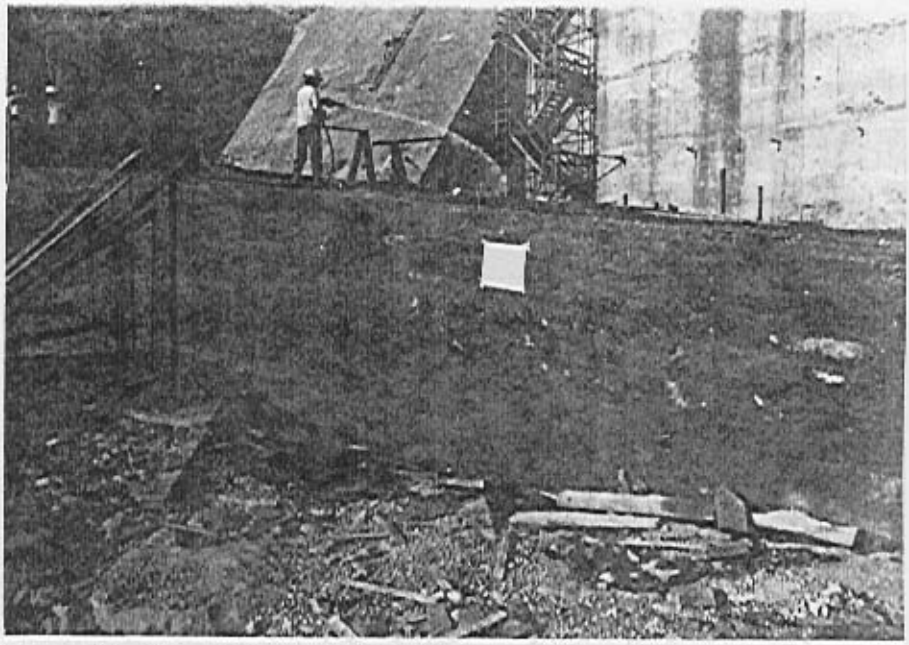


Figura 310 – Concreto Rolado Moldado Diretamente Contra a Forma – ITAIPU

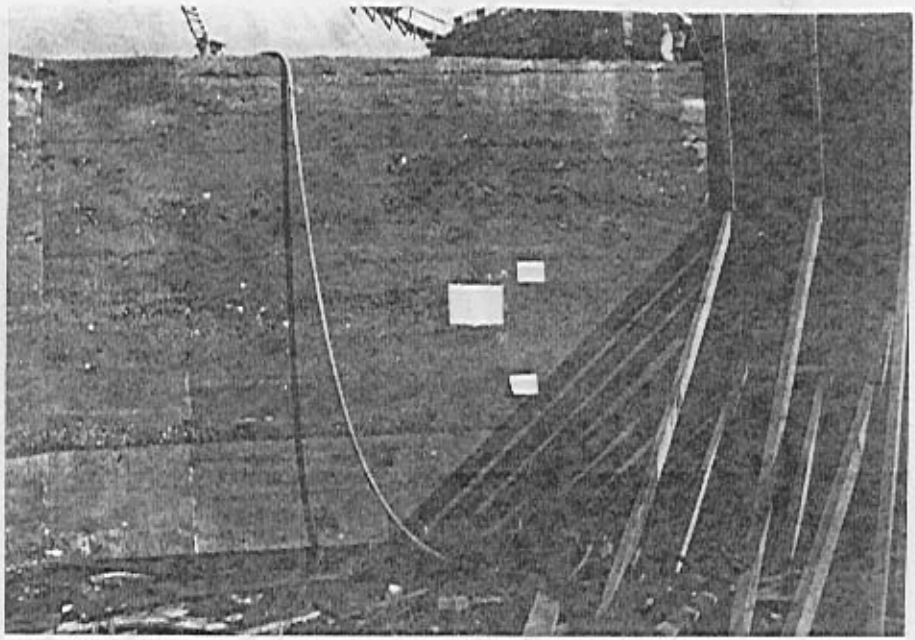


Figura 311 – Aspecto da Textura do Concreto Rolado Moldado Diretamente – Contra Forma – ITAIPU

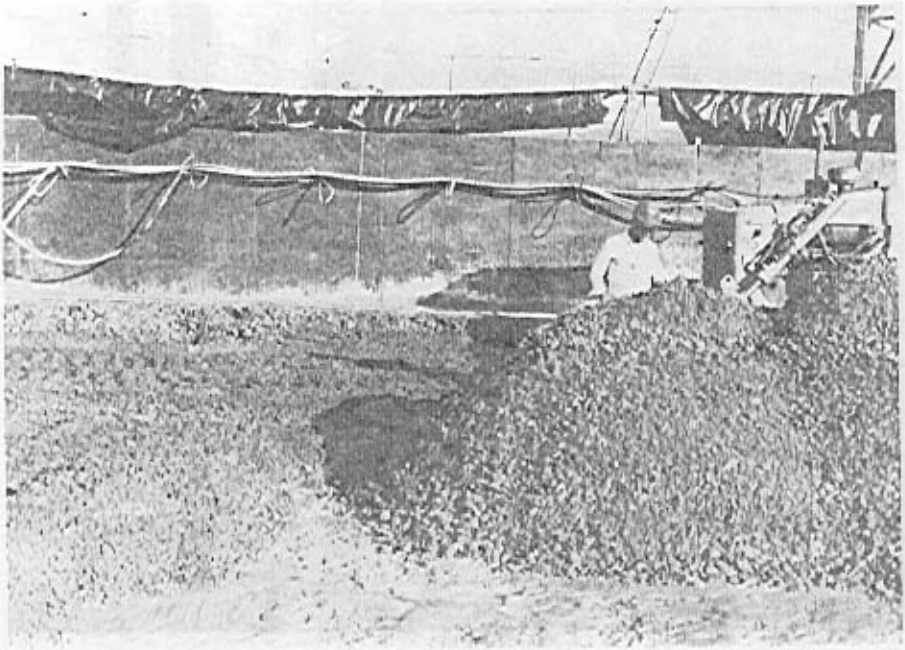


Figura 312 – Formas "Trepantes" Convencionais Utilizadas Para o Concreto de Face – TUCURUI – BRASIL

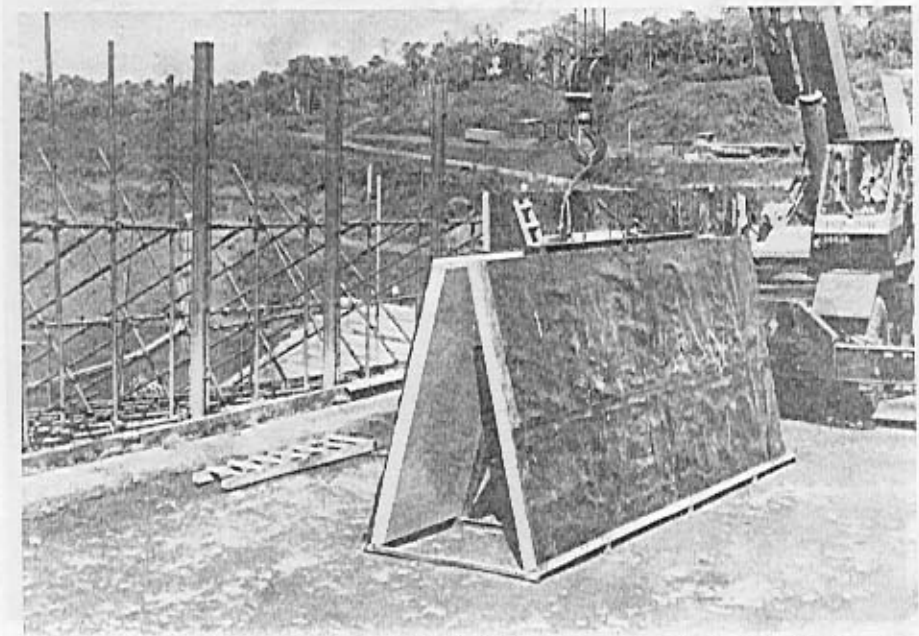


Figura 313 – Placas de Concreto Pré-Moldado Com Membrana Elastomérica – URUGUA-I – ARGENTINA

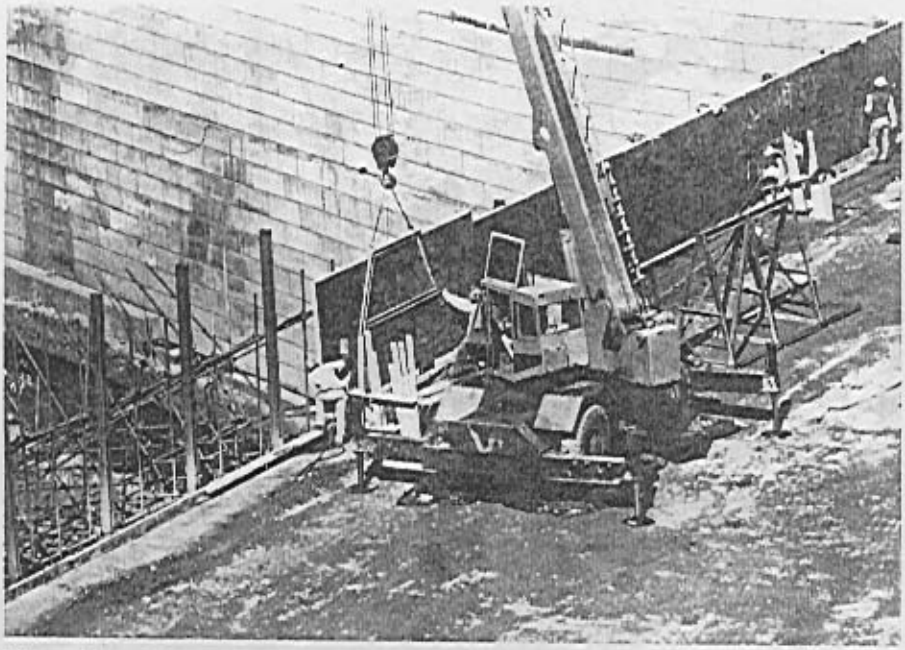


Figura 314 – Colocação de Placa Pré-Moldada – URUGUA-I – ARGENTINA

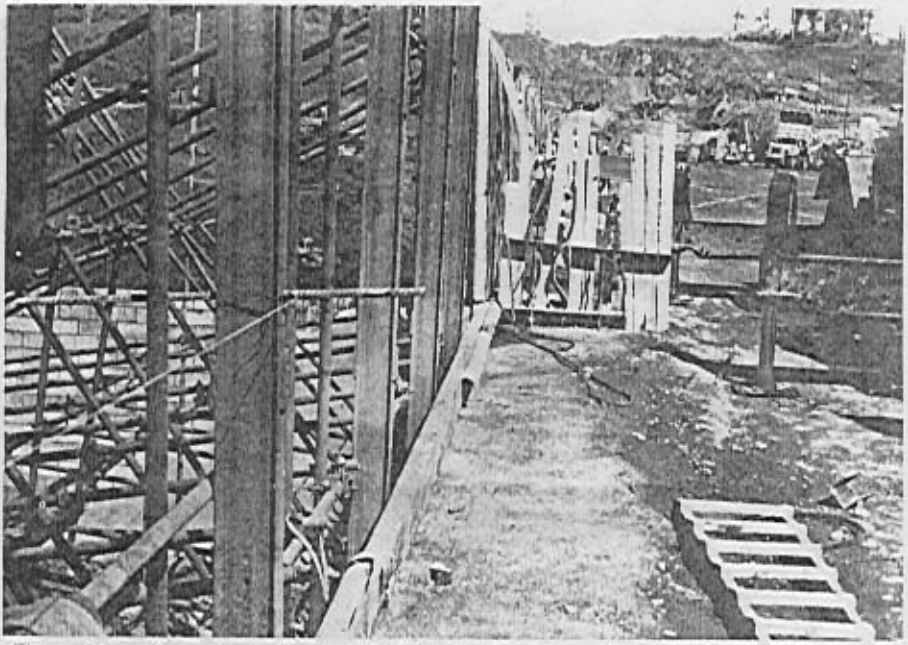


Figura 315 – Aspecto do Sistema de Fixação das Placas Pré-Moldadas – URUGUA-I – ARGENTINA

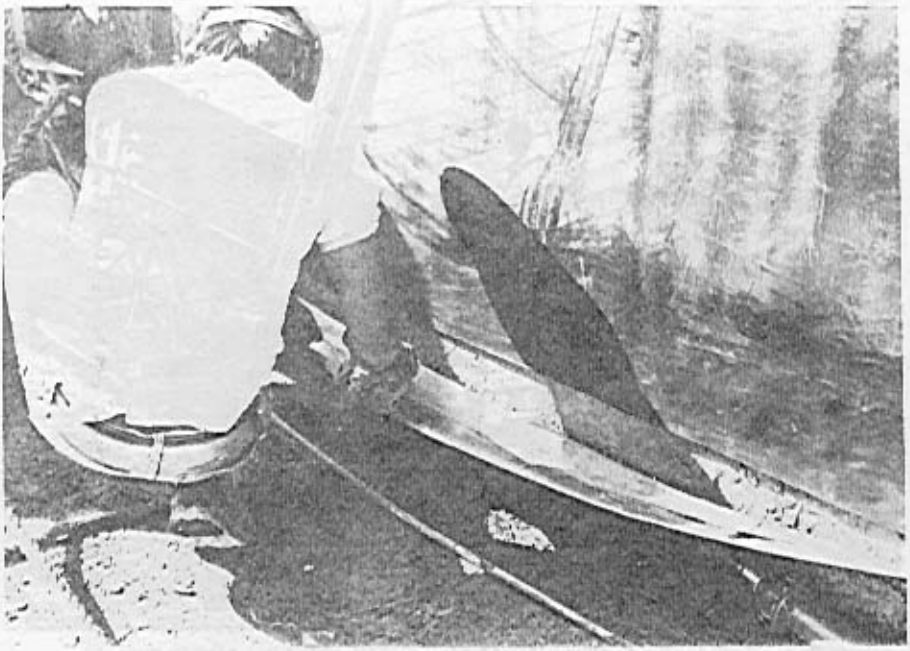


Figura 316 – Execução da Emenda da Membrana Elastomérica – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 317 – Auto Vulcanização da Membrana Elastomérica – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 318 – Elemento de Fixação da Placa Pré-Moldada – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 319 – Aspecto Global do Conjunto de Placas Pré-Moldadas – Vista Por Montante – URUGUA-I – ARGENTINA

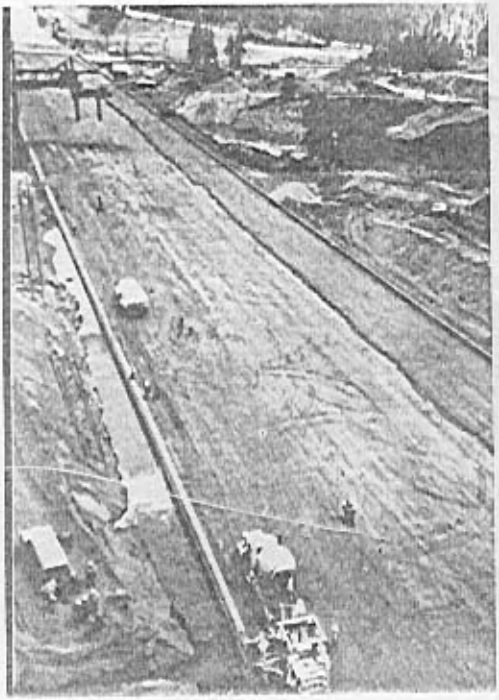


Figura 320 – Faces Moldadas Com Máquinas Extrusoras – UPPER STILLWATER – EUA

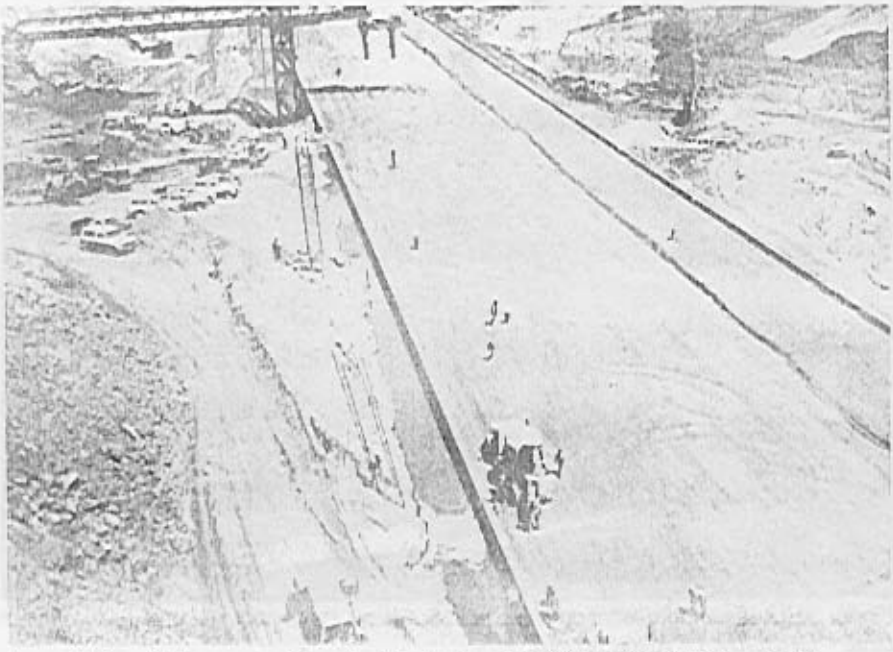


Figura 321 – Moldagem da Face de Montante – UPPER STILLWATER – E.U.A.

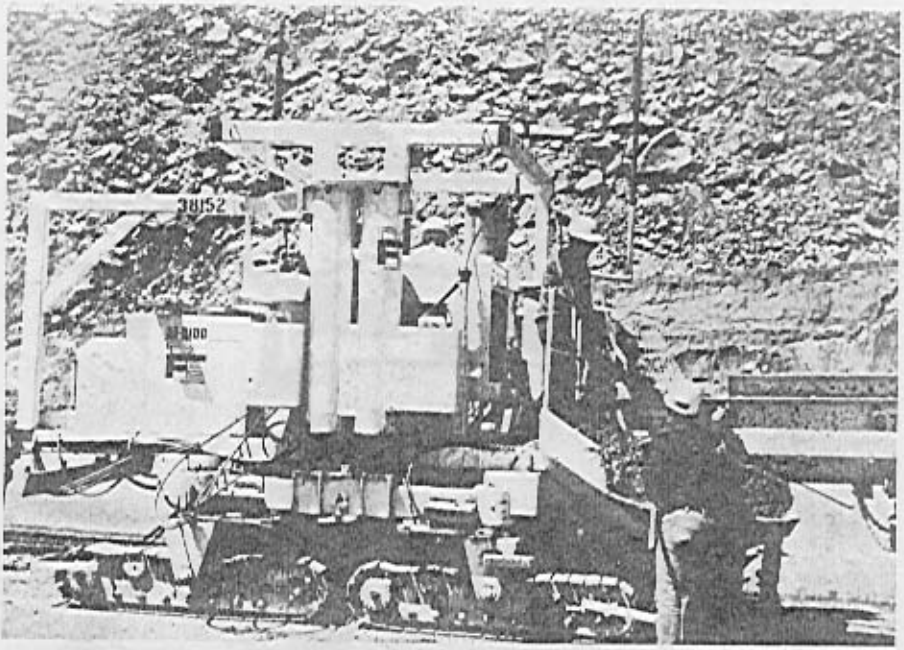


Figura 322 – Máquina Extrusora. Notar Haste Com Sensor Para Raio Laser – UPPER STILLWATER – EUA.

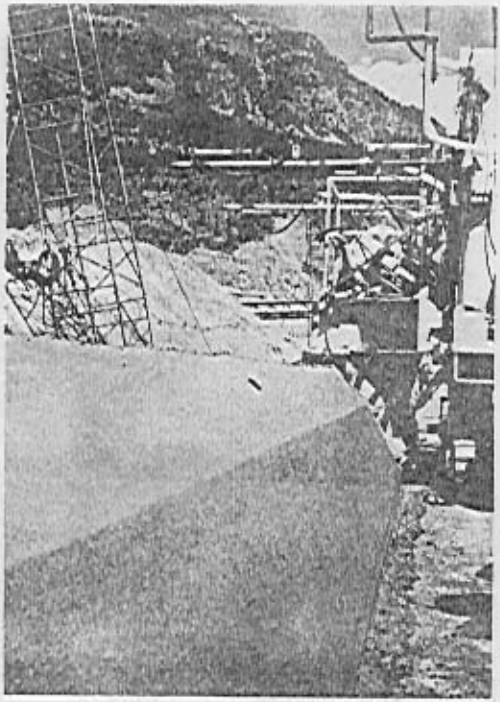


Figura 323 – Aspecto da Face Moldada Com a Máquina Extrusora. Notar os Sensores, Laser, da Máquina – UPPER STILLWATER – E.U.A.

Figura 324 – Aspecto do "Muro" Moldado – UPPER STILLWATER – E.U.A.

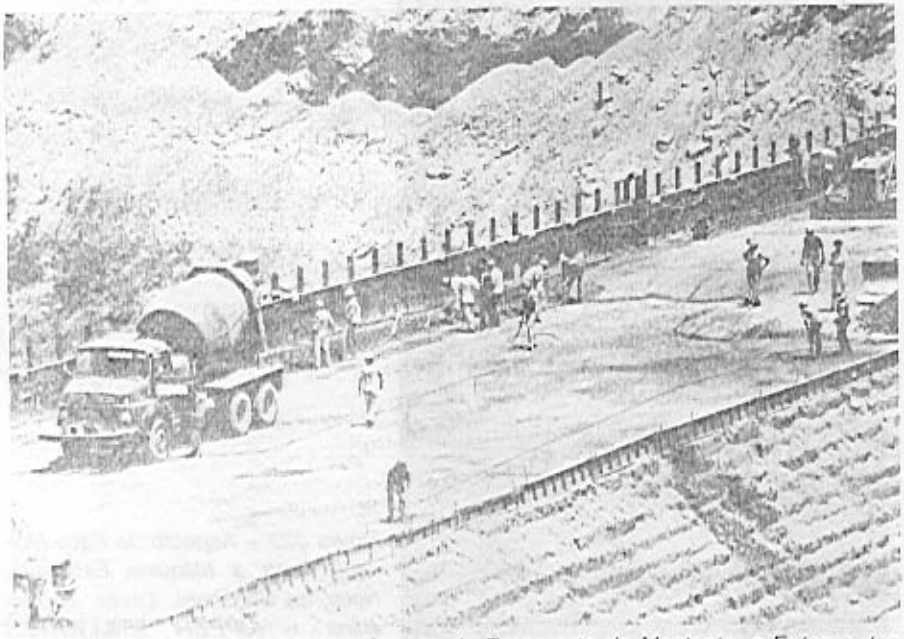


Figura 325 – Vista Interna das Formas do Paramento de Montante, e Externa das "Formaletas" de Jusante – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

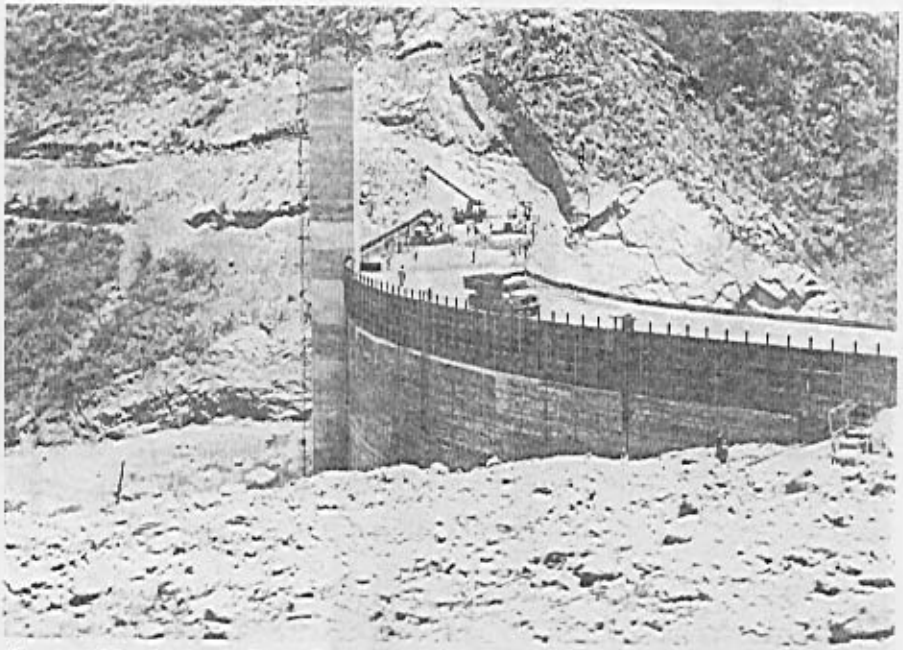


Figura 326 – Vista da Parte Externa das Formas da Face de Montante – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

Figura 327 – Aspecto do Conjunto de Paineis e das "Juntas Induzidas" no Concreto de Face de Montante – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

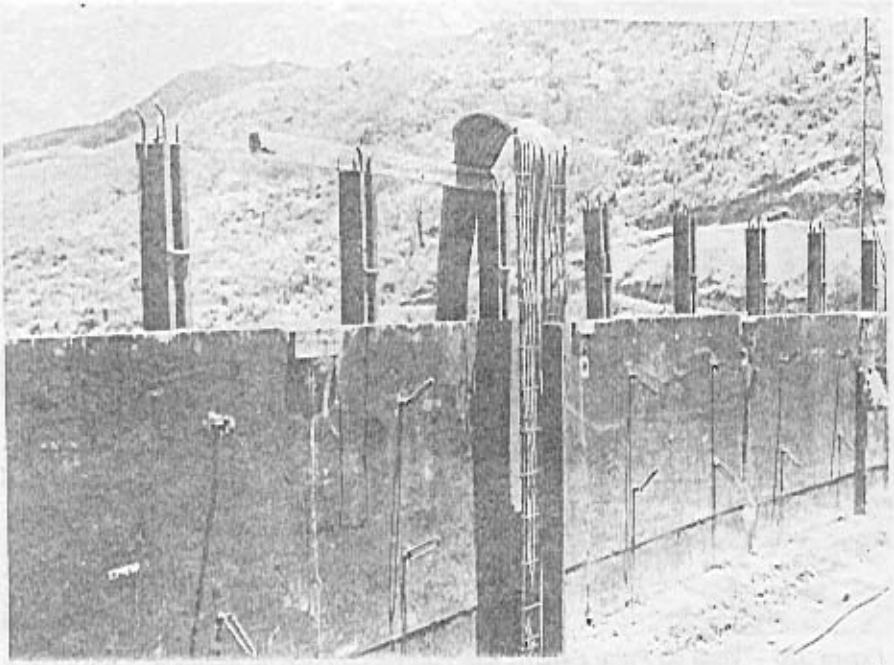


Figura 328 – Detalhe do Painel e do Veda Junta do Indutor de Junta, no Paramento de Montante – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

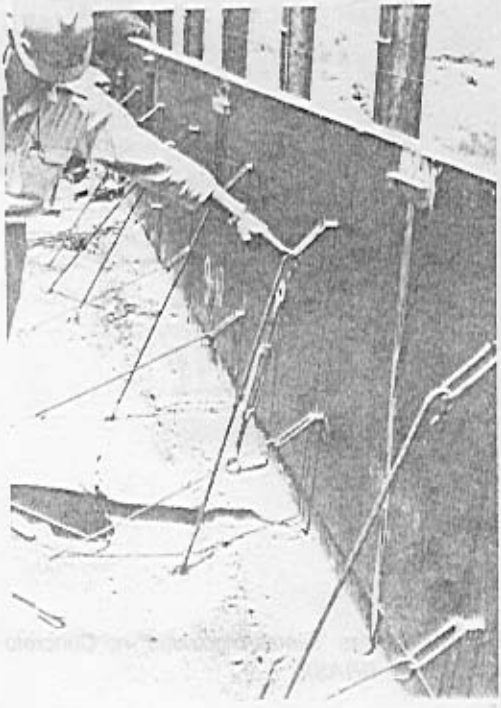


Figura 329 – Detalhe dos Fixadores dos Paineis de Montante – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

Figura 330 – Operação de Desmoldagem, Içamento e Reposicionamento de Forma, Com Gaiola Acoplada a Guindaste – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

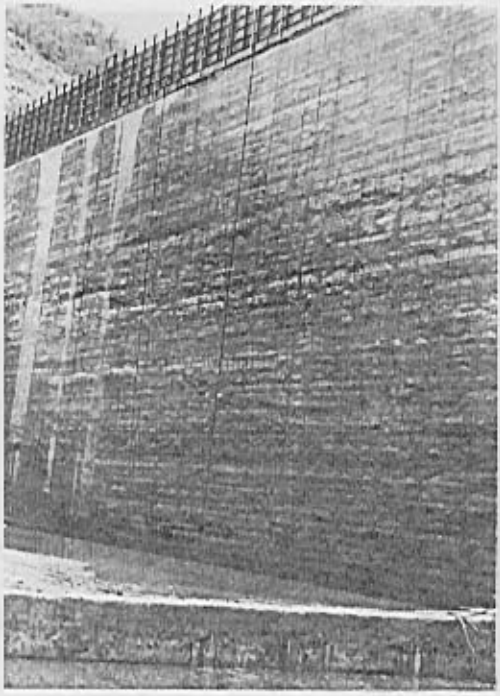


Figura 331 – Aspecto da Face de Montante Após Desforma – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

Figura 332 – Aspecto do Talude de Jusante, Executado Sem Forma – GALESVILLE – E.U.A.

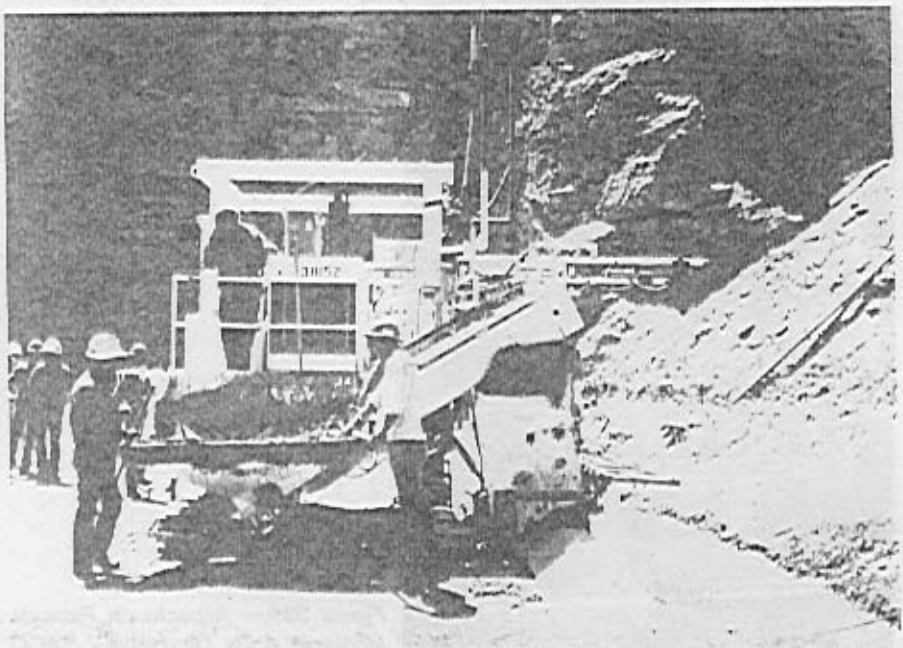


Figura 333 – Máquina Extrusora Moldando o Talude de Jusante, Com Concreto Convencional – UPPER STILL WATER – E.U.A.

Figura 334 – Aspecto Global dos Pré-Moldados de Montante e da Face de Jusante, Moldada em Degreaus, Com Blocos Pré-Moldados ou Com Formas – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 335 – Vista do Talude de Jusante, Em Degraus – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 336 – Moldagem do Talude de Jusante, Com Formas, À Esquerda São Vistos "Picolés" (Blocos de Concreto Pré-Moldados) Também Utilizados Para a Conformação do Talude de Jusante – URUGUA-I – ARGENTINA

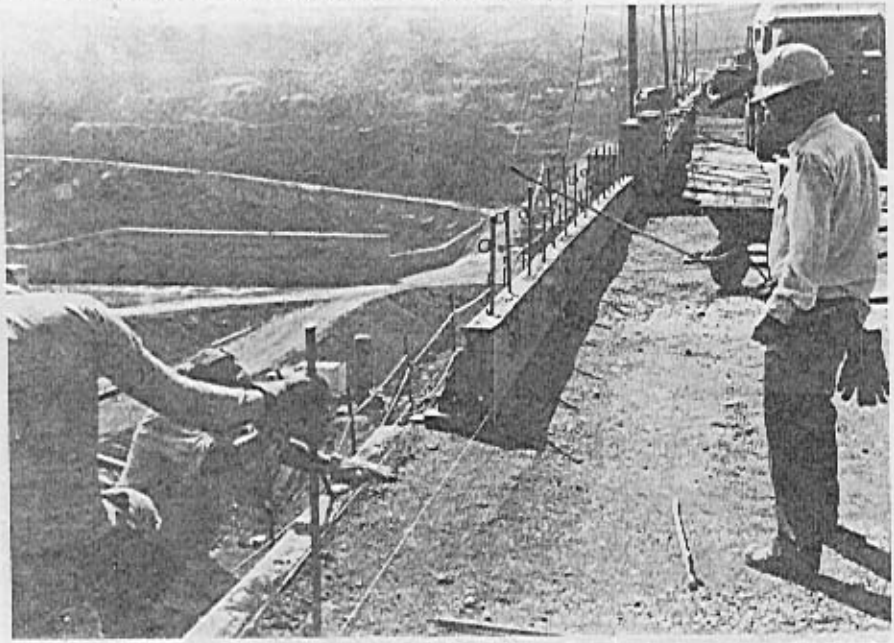


Figura 337 – Molde Metálico Usado Para Executar o Talude de Jusante – URUGUA-I – ARGENTINA

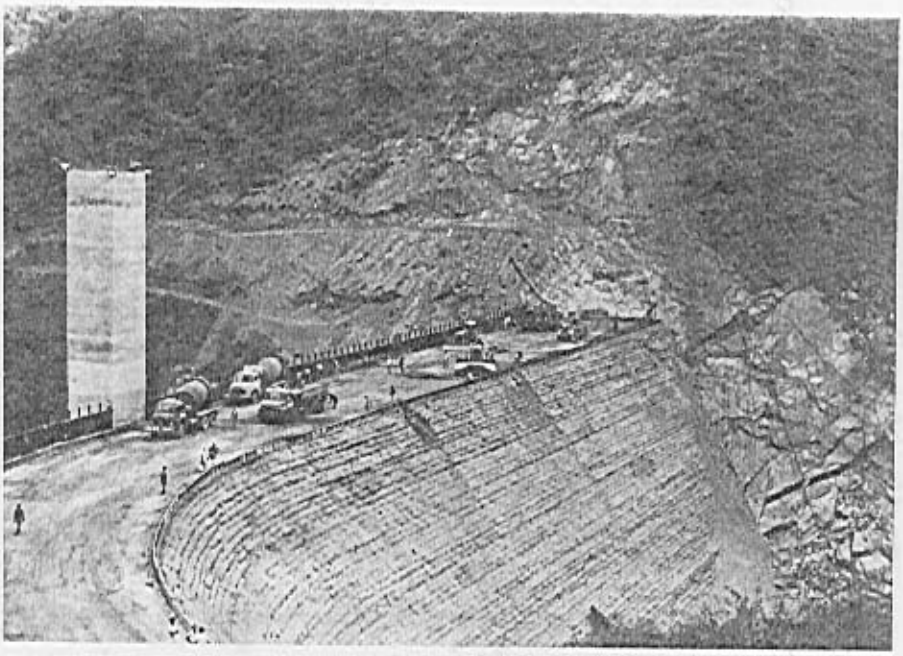


Figura 338 – Aspecto do Talude de Jusante (Ver Foto 325) – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

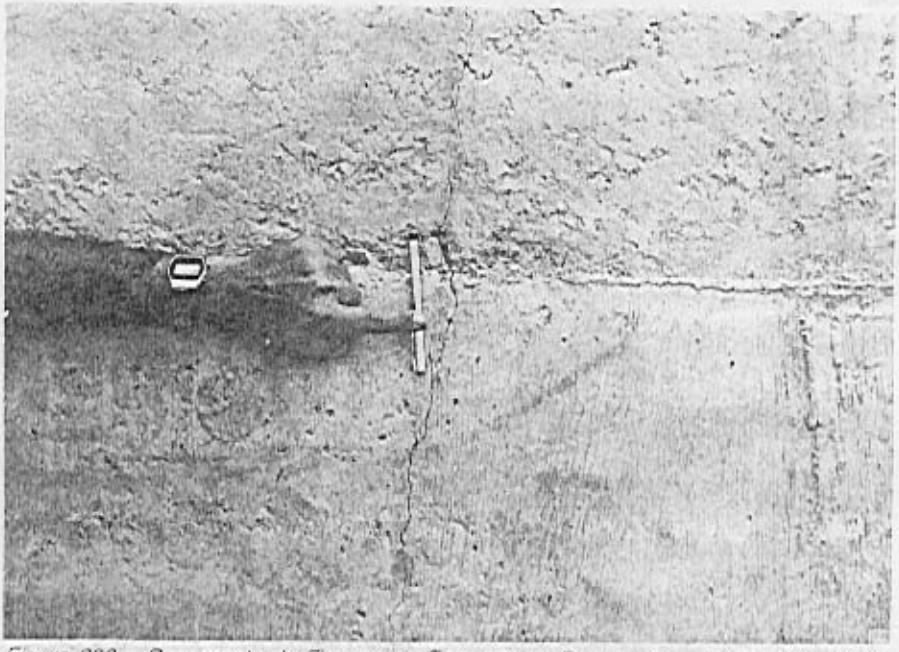


Figura 339 – Surgimento de Fissura no Concreto de Paramento – TUCURUI – BRASIL

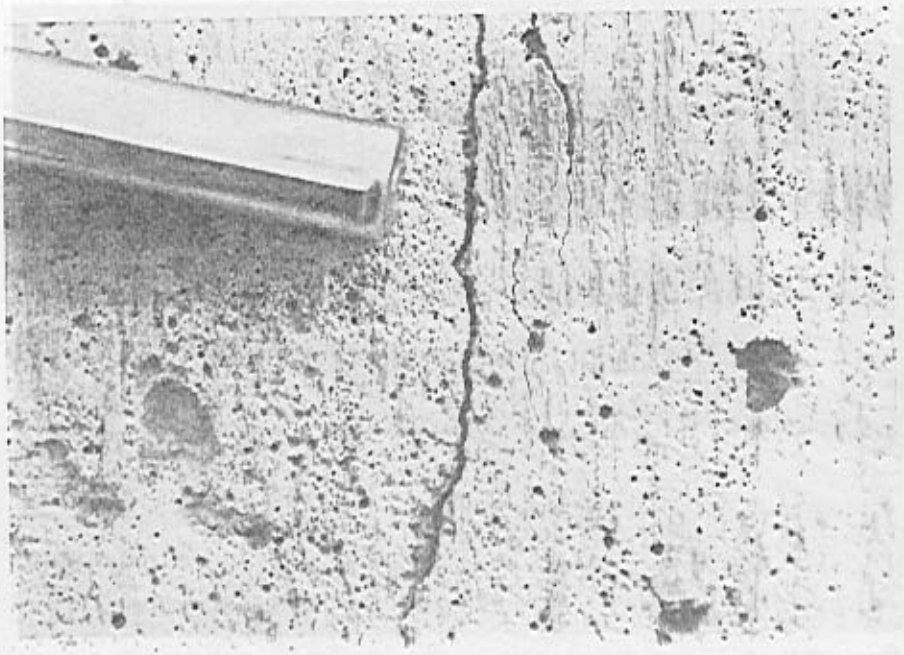


Figura 340 – Detalhe de Fissura Existente no Concreto de Face – TUCURUI – BRASIL

Figura 341 – À Esquerda da Foto Nota-se o Ponto Até Onde Penetrou a Fissura, Através do Concreto de Face que Possui Uma Largura de = 2,5 M, e à Direita o Ponto de Transição Entre o Concreto Convencional e o Concreto Rolado – TUCURUI – BRASIL

O concreto de face, deve ter uma espessura dimensionada com base nos requisitos (permeabilidade, resistência, etc.) evitando-se utilizar concreto que produza fissuração (devido a consumo elevado). Tem-se observado entretanto, que a ocorrência de fissuras, na maioria dos casos não penetra na massa de concreto rolado, como se observa pelas fotos 339 a 341.

7.11. Galerias, Poços e Drenagem

A utilização do "Concreto Rolado" não dificulta a execução de galerias e poços.

É importante que o Projeto seja desenvolvido no sentido de otimizar o traçado das galerias e poços, evitando as galerias inclinadas que podem ser substituídas por poços interligando as galerias em vários patamares. Isso pode ocorrer nas proximidades das ombreiras.

Para a moldagem das galerias e poços na massa do "Concreto Rolado" há técnicas disponíveis que são citadas a seguir (Ver também item 4.9).

Para a moldagem das galerias e poços pode ser adotado o processo de formas de uso comum.

As formas e escoramentos usualmente empregadas não necessitam de dimensionamento complementar para suportar as pressões e esforços da compactação.

Podem, ainda, ser usados painéis em concreto pré-moldado.

Nessa situação as peças de pré-moldados devem ser dimensionadas para suportar o empuxo do concreto fresco, sobrecargas e os esforços devido à compactação, e ainda, devido ao manuseio (desforma, estocagem, transportes e içamento).

Outro processo disponível, é da utilização de material granular inerte para dar forma ao vazio. Posteriormente, após o endurecimento do concreto envolvente, esse material é retirado, como na construção de túneis e "shafts". Essa técnica, foi desenvolvida durante a aplicação do "Concreto Rolado" em Tarbela e posteriormente usada em outras obras.

A seqüência construtiva é iluustrada na FIGURA 342.

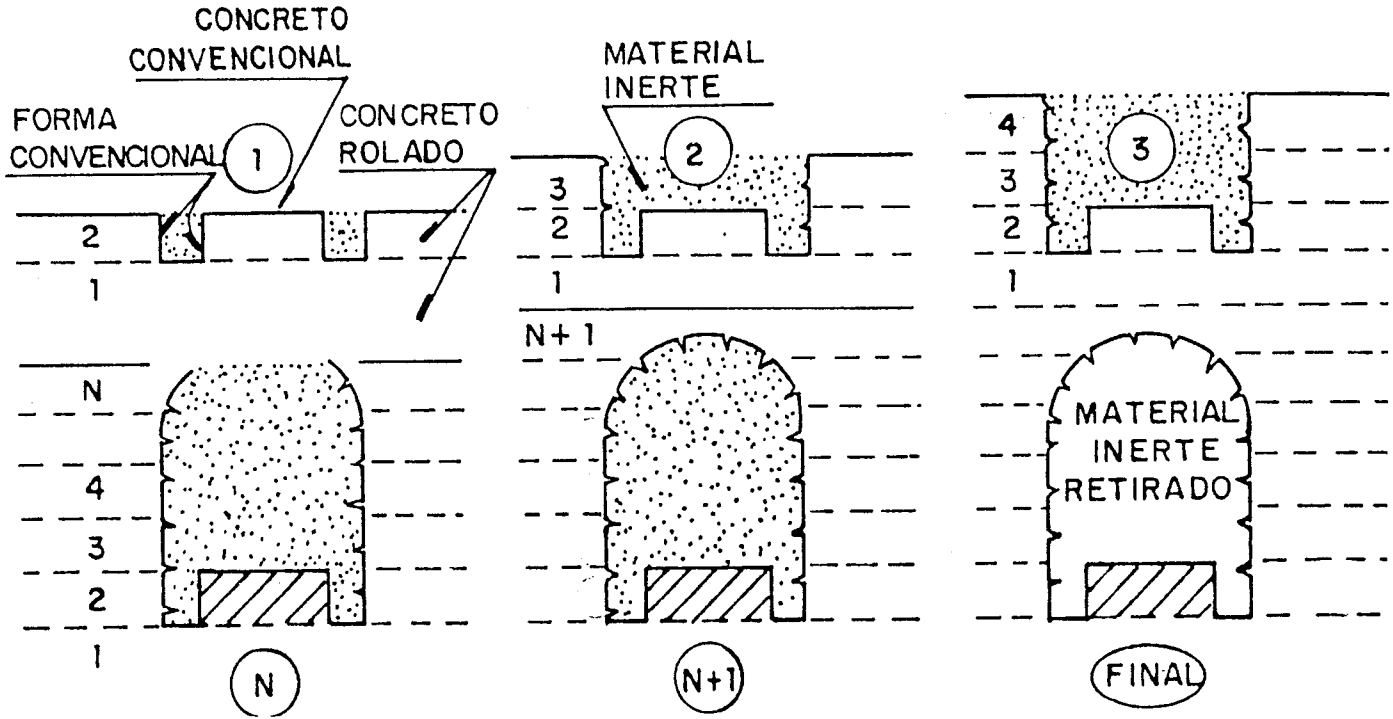


Figura 342 – Sequência de Escavação de Galeria Sem Uso de Forma.

Figura 343 – Execução de Galeria Com Madeira Compensada, Escorada Por Materiais Granulares – URUGUA-I – ARGENTINA

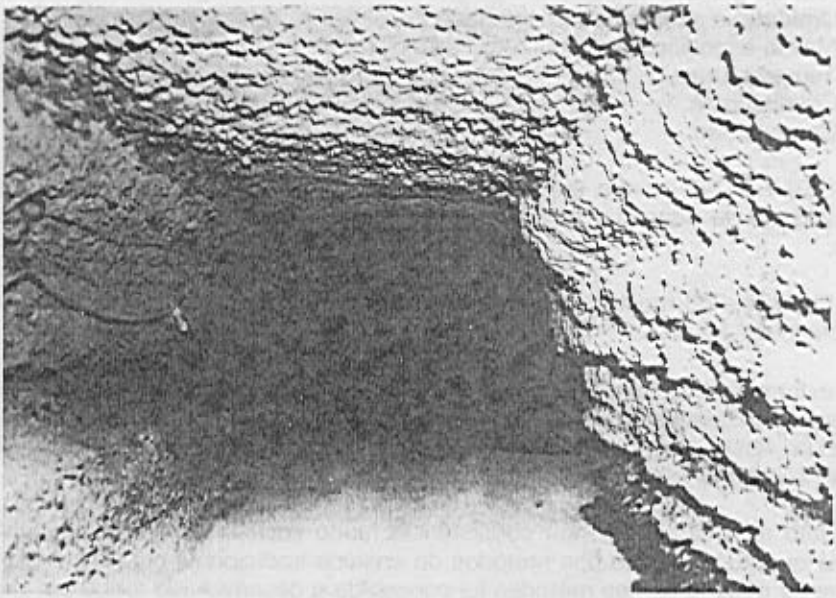


Figura 344 – Aspecto de Galeria, Moldada Como se Mostra na Figura 342 – WILLOW CREEK – E.U.A

Os controles a serem adotados para a construção das obras, devem ser organizados com base na premissa de assegurar a continuidade dos serviços garantir o emprego de materiais adequados e aprovados, e evitar as falhas através da manutenção de elevado padrão de qualidade. Isso é de extrema importância para obras com grande velocidade de concretagem.

Tendo em vista as elevadas produções possivelmente previstas com o emprego do "Concreto Rolado" é importante que se dê especial atenção ao controle de uniformidade da produção que normalmente pode ser feito sobre uma mistura fresca do concreto, nas centrais de produção.

Esse controle de uniformidade pode englobar as seguintes rotinas principais, entre outras:

- Análise granulométrica dos agregados (antes da ensilagem nas centrais);
- Umidade e absorção dos agregados;
- Massa específica do "Concreto Rolado" e outros concretos;
- Temperaturas;
- Consistência;
- Composição.

A FIGURA 345 mostra um quadro de sugestões para o estudo e controle de qualidade de materiais para o Concreto Rolado, e do próprio Concreto Rolado.

A FIGURA 346 mostra uma carta de controle usada nas obras de Concreto Rolado no Japão.

É extremamente importante que os materiais componentes do concreto, entrem no misturador, com as quantidades de acordo com a dosagem estabelecida. Assim é que a pesagem (estática ou dinâmica, pelo fluxo de material) seja controlada.

O fato do CCR apresentar consistência muito seca traz algumas dificuldades quanto a adoção dos métodos de ensaios tradicionais para concreto. A grande maioria destes métodos foi concebida e desenvolvida tendo em vista o concreto tradicional que, por mais seco que seja, ainda apresenta alguma plasticidade quando sujeito apenas à vibração.

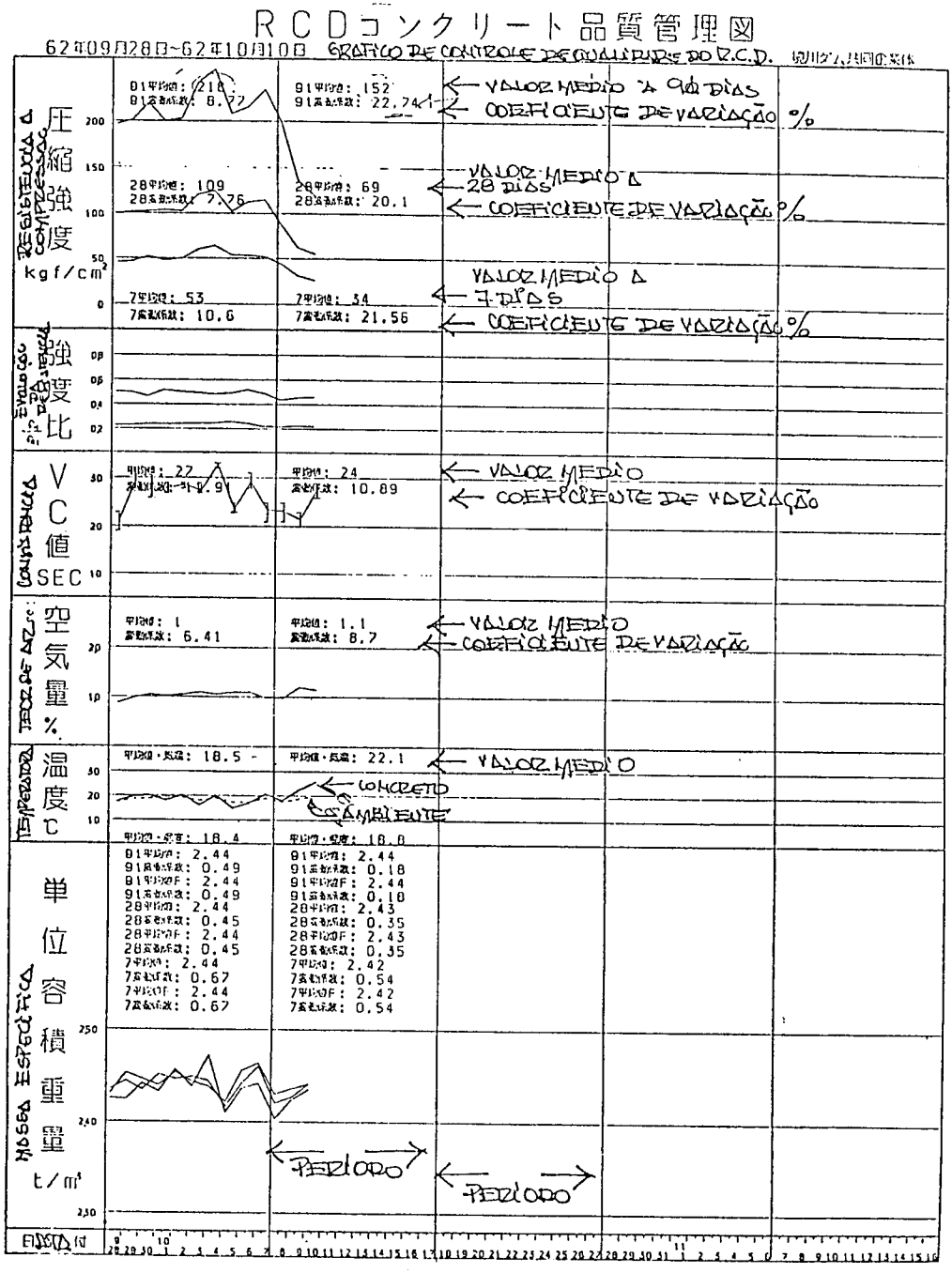


Figura 346 – Carta de Controle Para o Concreto Rolado, Utilizada nas Obras JAPONESAS

MATERIAL	ENSAIOS	OBJETIVO
Agregados	Granulometria	Controle
	Pulverulentos	Controle
	Massa Específica e Absorção	Controle/Seleção
	Umidade	Controle
	Sanidade	Seleção
Adições Inertes	Limite de Liquidez	Controle/Seleção
	Limite de Plasticidade	Controle/Seleção
	Material passando na Peneira 200	Controle/Seleção
Água	Ph	Seleção
	Análise Química	Seleção
Aglomerantes	Análise Química	Seleção
	Ensaios Físicos, Mecânicos, e Térmicos	Seleção
Aditivos	Efeitos	Dosagem
CCR	Temperatura	Controle
	Consistência	Dosagem
	Resistência a Compressão	Dosagem
	Massa Específica	Dosagem/Controle
	Módulo de Deformação	Dosagem
	Cisalhamento	Estudo
	Teor de Cimento	Controle

Figura 345 – Conjunto de Sugestões Para Controle de Qualidade do Concreto Rolado

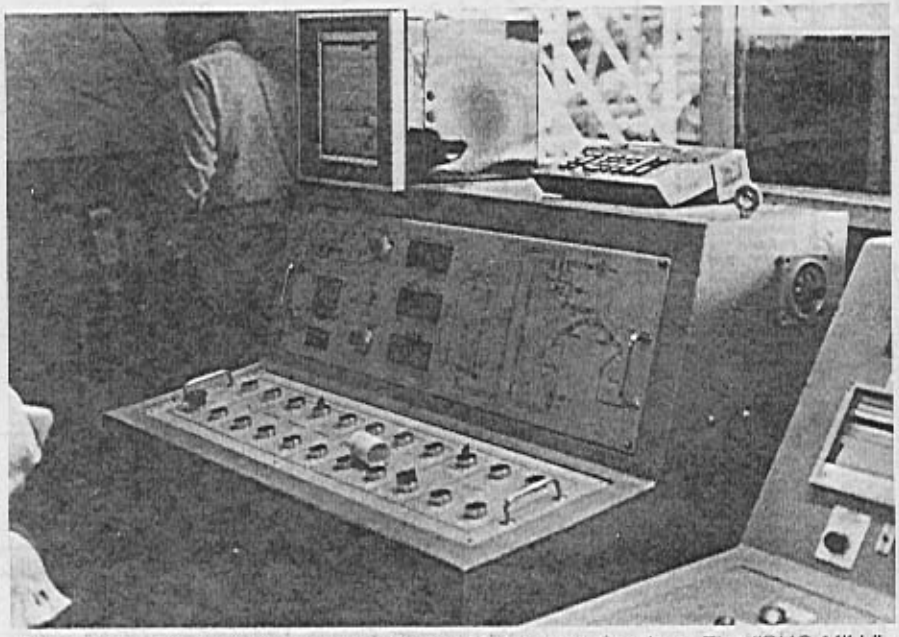


Figura 347 – Painel de Controle de Central Misturadora Contínua, Tipo "PUG-MILL" - Utilizada em URUGUA-I – ARGENTINA

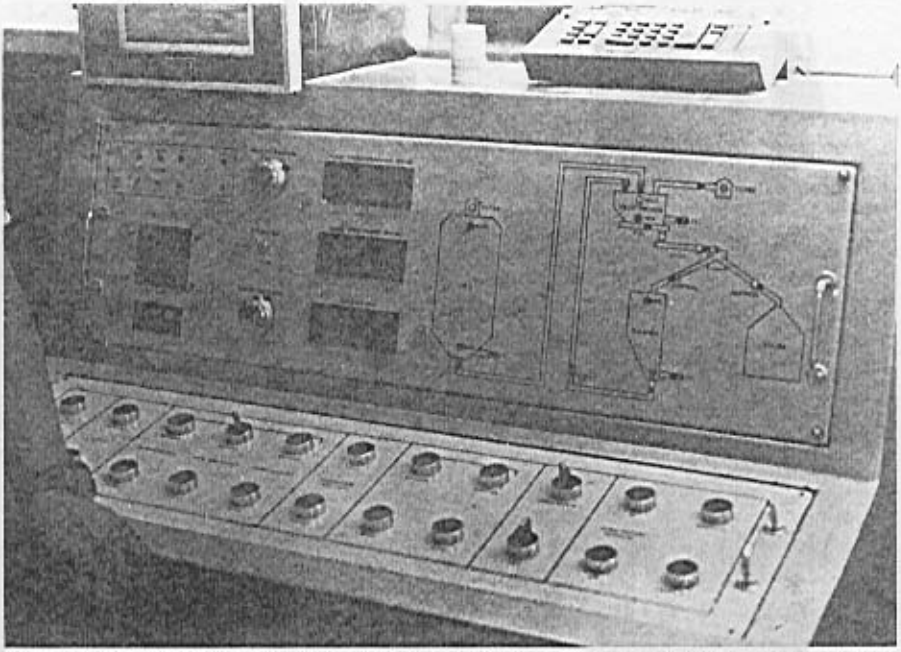


Figura 348 – Painel de Controle de Fluxo de Materiais na Produção do Concreto Rolado – URUGUA-I – ARGENTINA

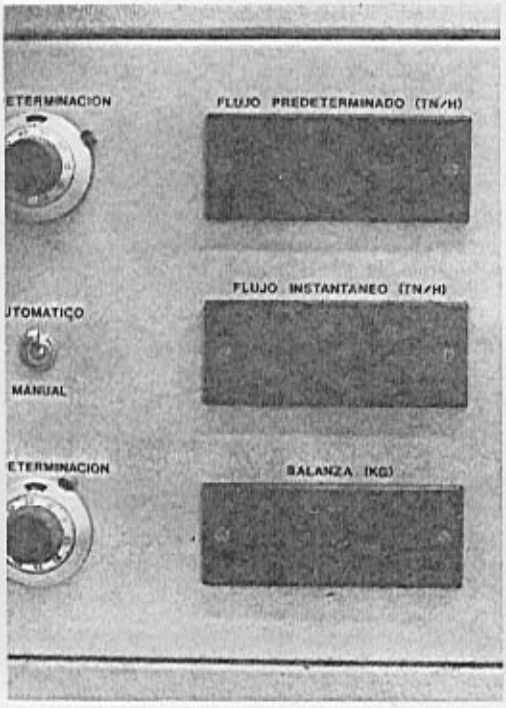


Figura 349 - Indicadores Controladores da Produção de Concreto Rolado. As Figuras 349 A 351, Devem ser Vistas em Conjunto Com as Figuras 198 a 200 - URUGUAI-I–ARGENTINA

Figura 350 – Mostradores Digitais dos Dosadores (Em T/H) dos Materiais Componentes do Concreto Rolado – URUGUAI – ARGENTINA

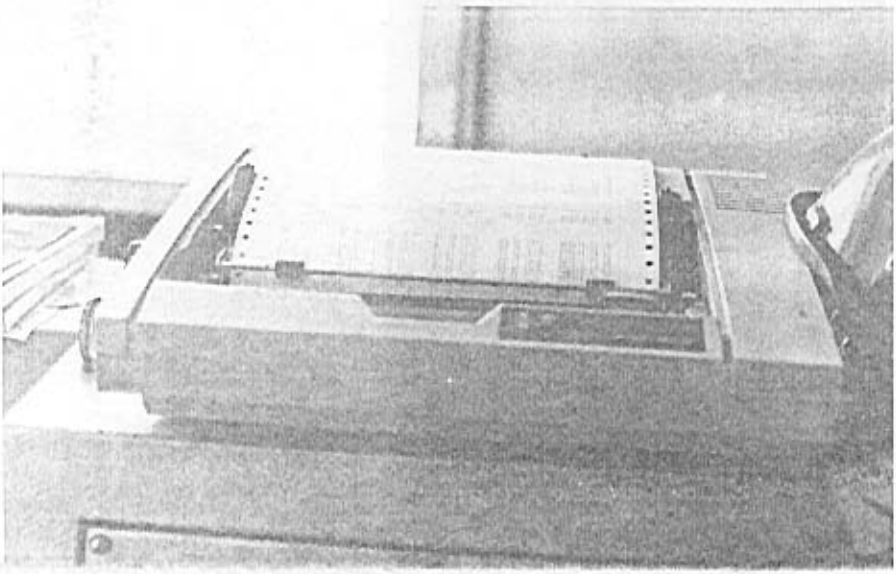


Figura 351 – Registrador dos Dosadores da Central de Concreto Rolado – URUGUAI – ARGENTINA

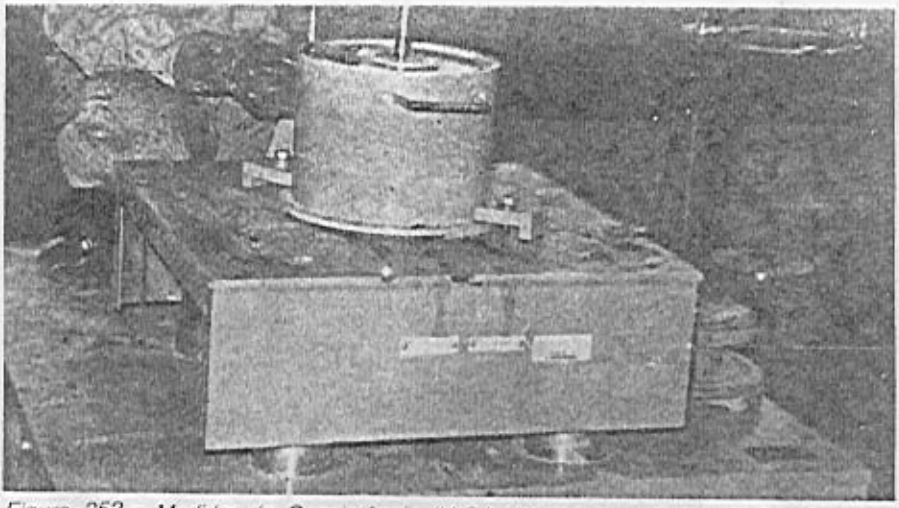


Figura 352 – Medidor de Consistência (V.C.) Utilizado nas Obras JAPONESAS – SHIMAJIGAWA – JAPÃO

A moldagem de corpos de provas de CCR, face a consistência seca do material, requer muita energia, para a conformação nas dimensões requeridas. A forma do corpo de prova pode ser cilíndrica, cúbica ao prismática. No entanto, a melhor distribuição da energia de compactação é obtida nos cilindros, devido ao efeito aresta observado em cubos e prismas. Além disso, o posicionamento de equipamento de compactação e sua operação são mais facilmente executadas em cilindros, resultando em confinamento e eficiência melhorados.

Figura 353 – Moldagem de Corpo de Prova Ø 15 x 30 cm. Com Auxílio de Peso Auxiliar e Mesa Vibratória (VEBE) ITAIPU

Figura 354 – Moldagem de Corpo de Prova ϕ 25 x 50 cm, Com o Uso de Soquete Manual (Perereca) a Ar Comprimido – TUCURUI-I – BRASIL

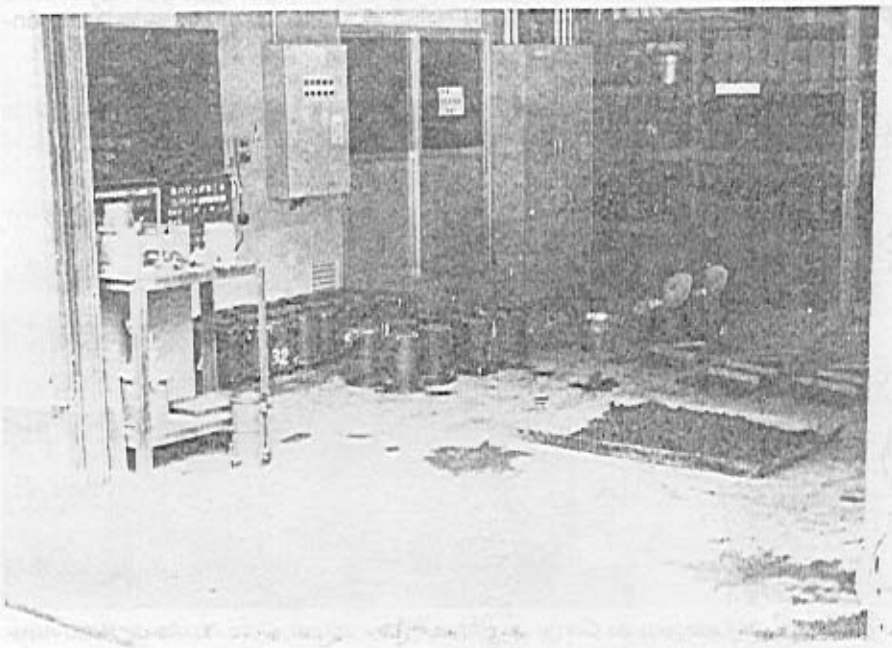


Figura 355 – Vista do Laboratório de Controle (≅ 100 m2) – SAKAIGAWA – JAPÃO

Figura 356 – Mistura de Concreto Rolado em Preparação Para Ensaios – SAKAIGAWA – JAPAO

Figura 357 – Compactador Elétrico Usado Para Moldagem de Corpos de Prova/ Peso 10 KGF
Vibração = 3.000 a 3.600 RPM – SAKAIGAWA – JAPÃO

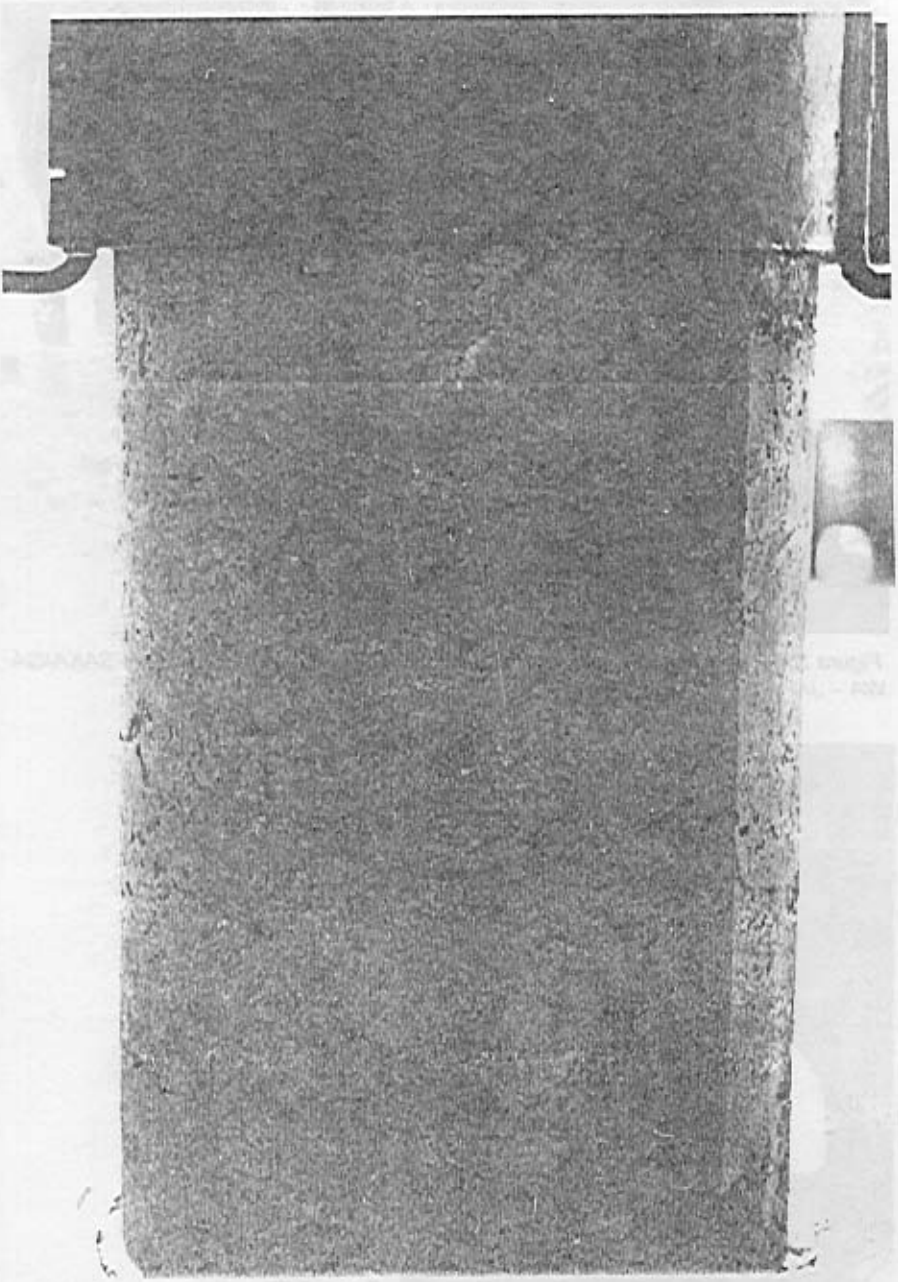


Figura 358 – Corpo de Prova Ø 25 x 50 cm, Moldado Com Concreto Rolado – ITAIPU

A determinação da umidade de amostras do CCR lançado deve ser feita com bastante freqüência de modo a permitir o controle e os ajustes de água de amassamento, evitando, na praça, problemas originados por misturas muito úmidas ou secas. Já a verificação da densidade do material compactado permite controlar junto com o número de passadas do rolo compactador, a obtenção dos valores estabelecidos.

A determinação da umidade pode ser feita através dos métodos tradicionais, onde uma amostra é seca a temperaturas elevadas com circulação de ar, enquanto o controle da densidade pode ser executado através da coleta de amostras indeformadas ou de métodos tradicionais de ensaios de material para aterros. Entretanto, tais métodos de ensaio não produzem resultados com a rapidez necessária para evitar o lançamento de material fora dos limites estabelecidos, podendo originar daí a necessidade de remoção de volumes substanciais de CCR o que comprometeria a rapidez da execução, principal benefício da adoção do CCR em barragens.

O controle de umidade e densidade do CCR é atualmente executado por meio do densímetro nuclear, face a rapidez de obtenção de resultados. A precisão dos resultados obtidos a partir do emprego do densímetro depende, basicamente, de correlação prévia com resultados de ensaios convencionais (e correspondente adoção de coeficientes ou curvas para calibração), além a boa operação e manutenção do equipamento.

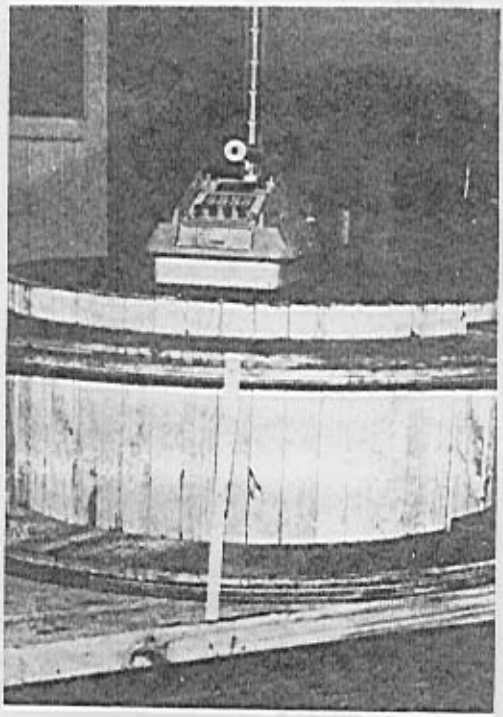


Figura 359 – Densímetro Nuclear, de Uma só Haste, Em fase de Calibração, em Laboratório – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 360 – Cravação de Haste Para Execução de Furo Para Introdução do Sensor de Radiação – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

Figura 361 – Descida do Sensor Para Leitura da Unidade e da Massa Específica – SACO NOVA OLINDA – BRASIL

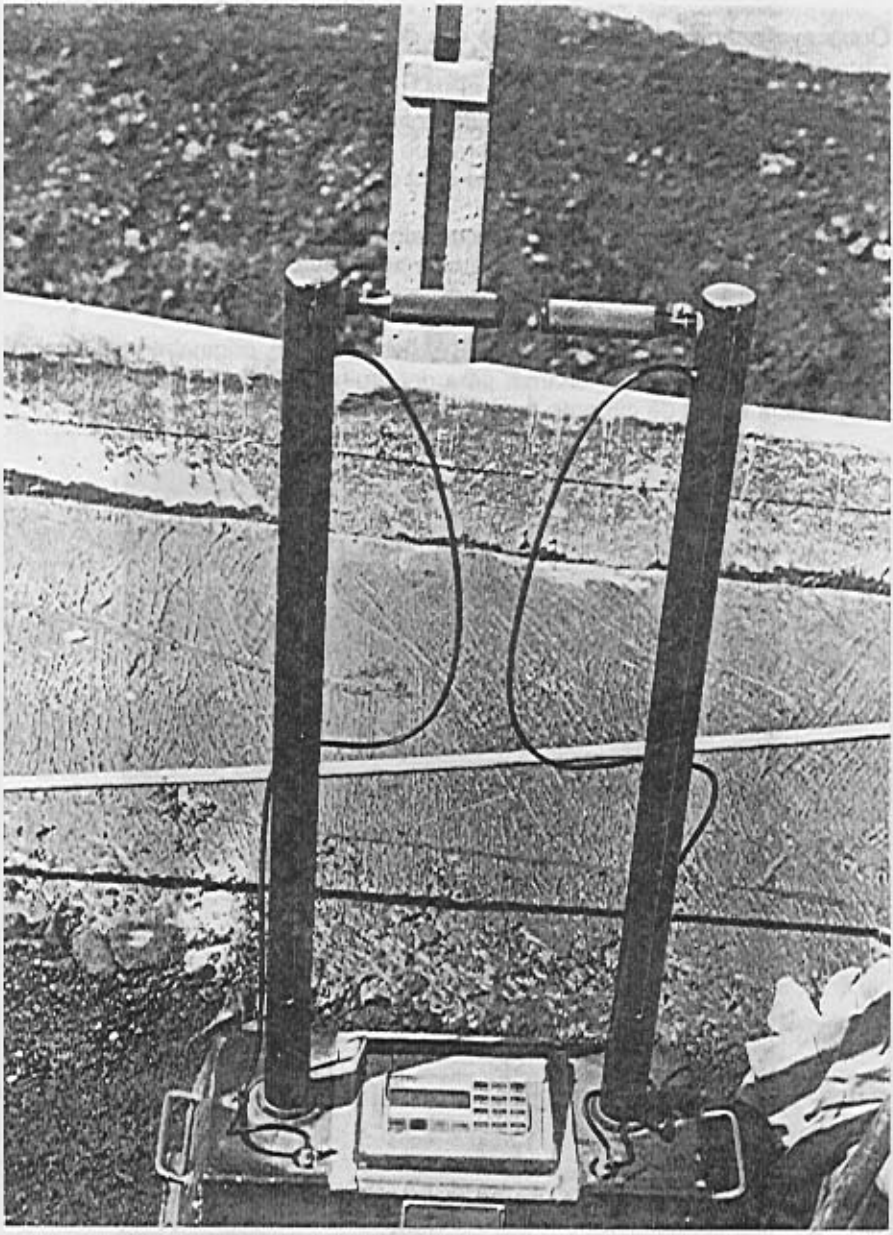


Figura 362 – Densímetro Nuclear, Com 2 Hastes, Permitindo Obter Dados a Várias Alturas – URUGUA-I – ARGENTINA

Outra avaliação que pode ser feita é a do teor de cimento através do Calciometer.

O método tem a grande vantagem de apresentar resultados em pouco tempo (cerca de 15 minutos), porém para que isso seja possível, deve-se dispor de medidores específicos de cloretos e/ou cálcio ou de espectro fotômetros.

A descrição completa do método de ensaio encontra-se no Technical Report M 212 – 1977 do Construction Engineering Research Laboratory, do Corps of Engineers, mas que se cita resumidamente a seguir (88).

O método baseia no sistema CERL/K-V (Kelly e Vail), originalmente estabelecido para fotometria de chama, para determinação do teor de cálcio, e em decorrência o teor de cimento na mistura.

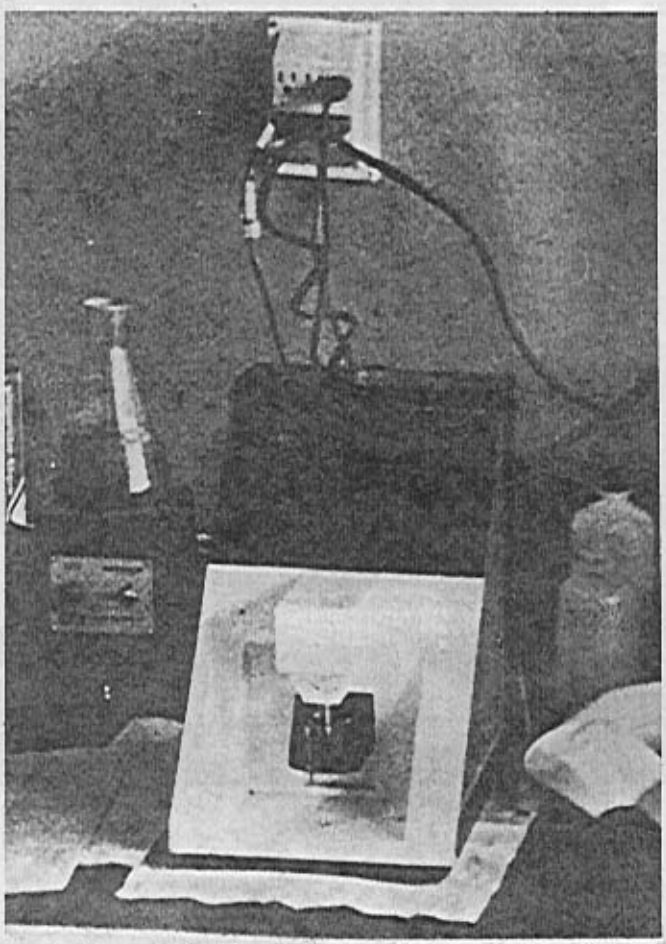


Figura 363 – "Calciometer" – Medidor do Teor de Cimento (Através da Fotometria de Chamas Sobre o Calcio)

A determinação do cálcio (e o cimento) pode também ser feita por titulação através de uma solução de EDTA (Et Dendiamintetra Acetato) em presença de um estabilizador e um indicador negro "T" Ericromo.

Os resultados tem mostrado rapidez, coerência e uniformidade com os obtidos por fotometria.

Figura 364 – Conjunto Lavador – Agitador Com Bomba Recirculadora Para Extração da Alíquota de Cimento da Mistura de Concreto Rolado – URUGUA-I – ARGENTINA

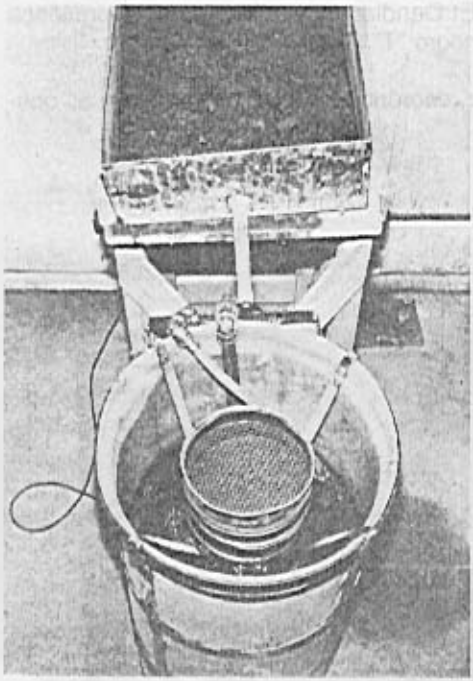


Figura 365 – Amostra de (= 6 Kg) de Concreto Rolado, Sobre a Bandeja Superior, Para Lavagem e Passagem Sobre o Conjunto de Peneiras (Abaixo) no Interior do Tanque Lavador – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 366 – Lavagem (Com Água de Recirculação) Intensa dos Agregados, Para Extratair o Cimento – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 367 – Lavagem dos Fragmentos Sobre o Conjunto de Peneiras, No Interior do Lavador – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 368 – Colocação de Uma Alíquota (125 ml) da Suspensão de Cimento Em Um Becker. À Esquerda, Vê-se a Solução de Ácido Nítrico – URUGUA-I – ARGENTINA

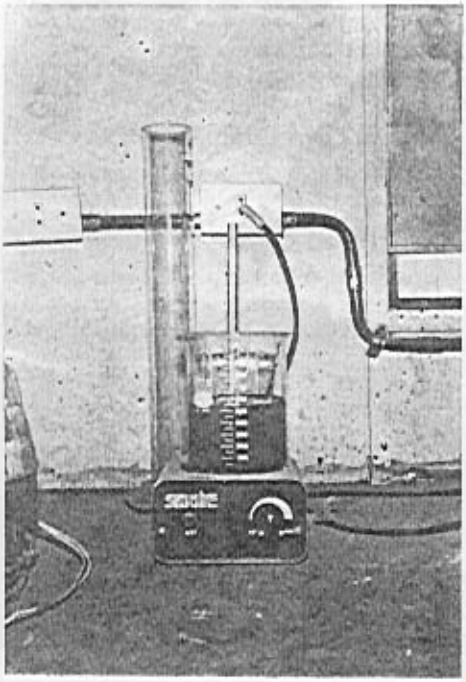


Figura 369 – Agitação da Solução, Através de Agitador Magnético, Garantindo a Dissolução do Cimento – URUGUA-I – ARGENTINA

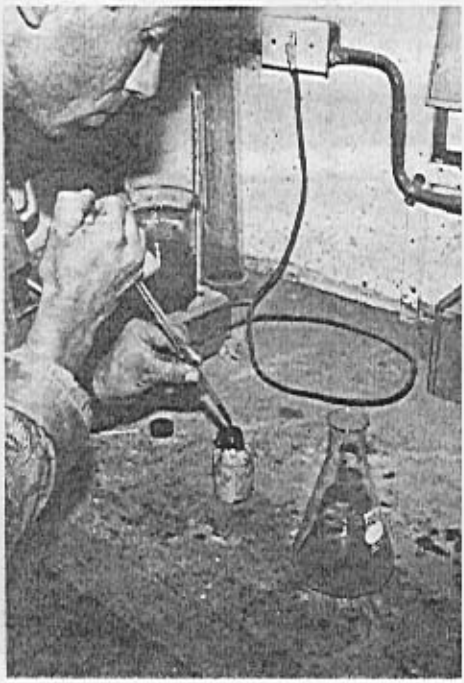


Figura 370 – Pipetagem da Solução Estabilizadora – URUGUA-I – ARGENTINA

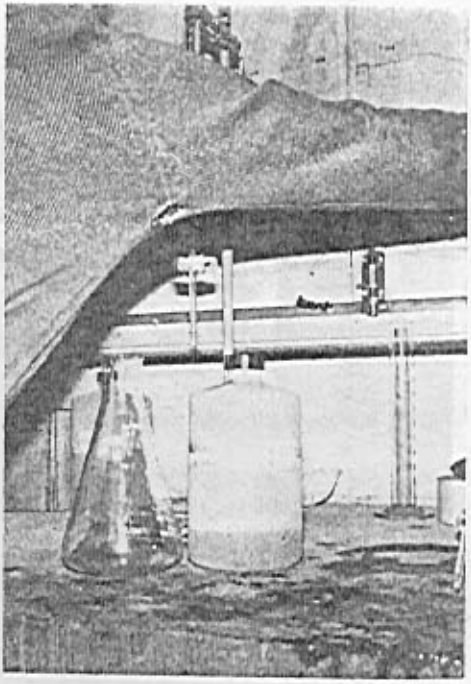


Figura 371 – Preparação da Solução de Cloreto de Amônio – URUGUA-I – ARGENTINA

Figura 372 – Agitação Intensa do Frasco Para a Titulação – URUGUA-I – ARGENTINA

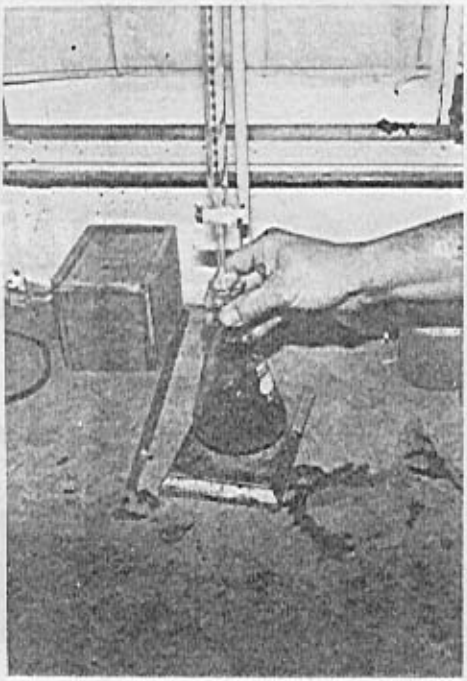


Figura 373 – Titulação Atingida Pela Mudança de Coloração – URUGUA-I – ARGENTINA

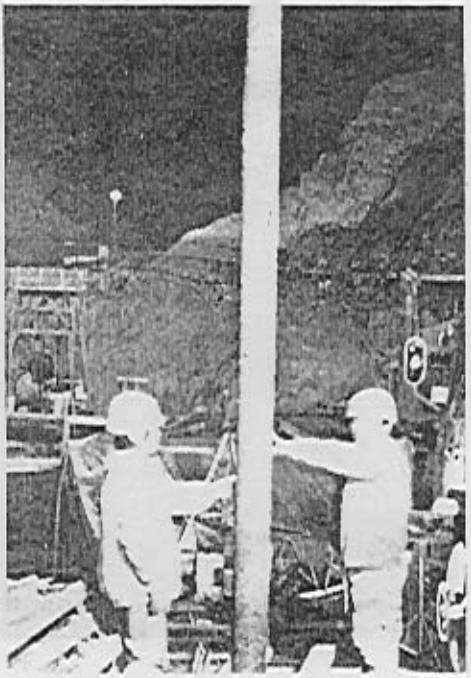


Figura 374 – Testemunho de Concreto Rolado, Extraído de SHIMAJIGAWA – JAPÃO

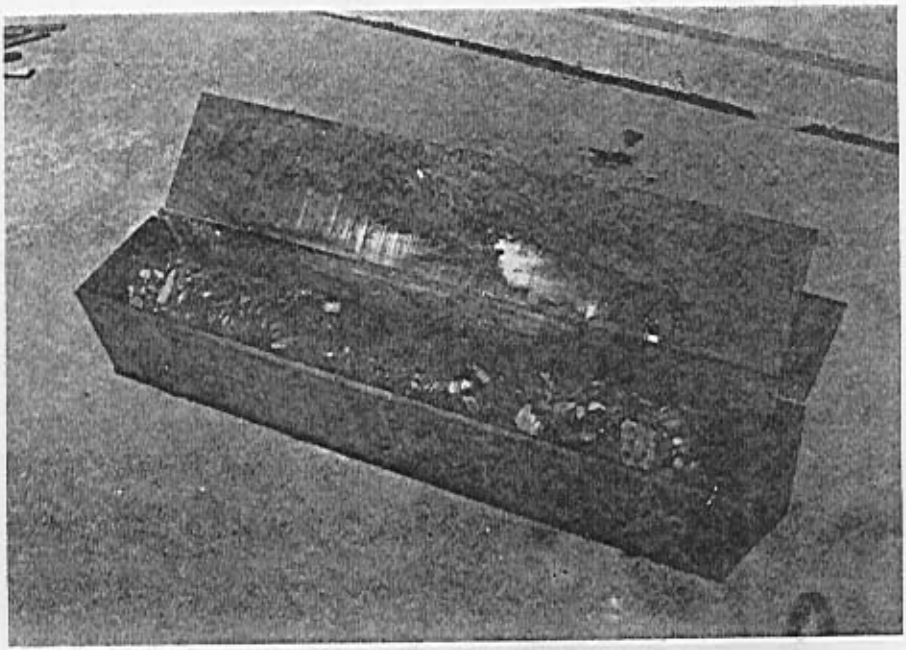


Figura 375 – Testemunho de Concreto Rolado Extraído de Aterro Experimental – TUCURUI – BRASIL

Figura 376 – Testemunhos Extraídos do Concreto Rolado – TUCURUI – BRASIL

Figura 377 – Corpos de Prova, de Concreto Rolado, Preparados a Partir de Testemunhos – TUCURUI – BRASIL

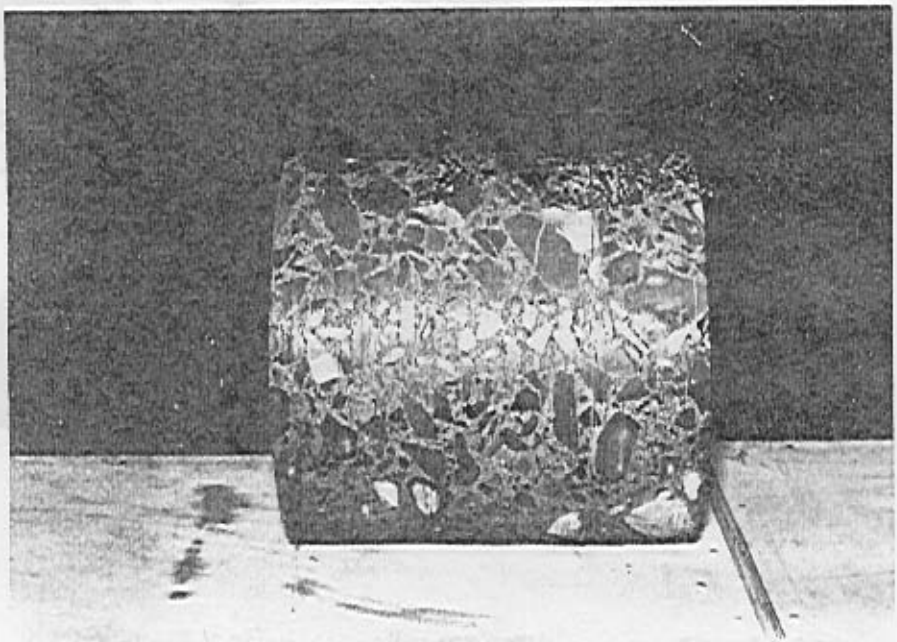


Figura 378 – Corpo de Prova Para Ensaio, Obtido a Partir de Extração. Notar a Boa Distribuição de Agregados – TUCURUI – BRASIL

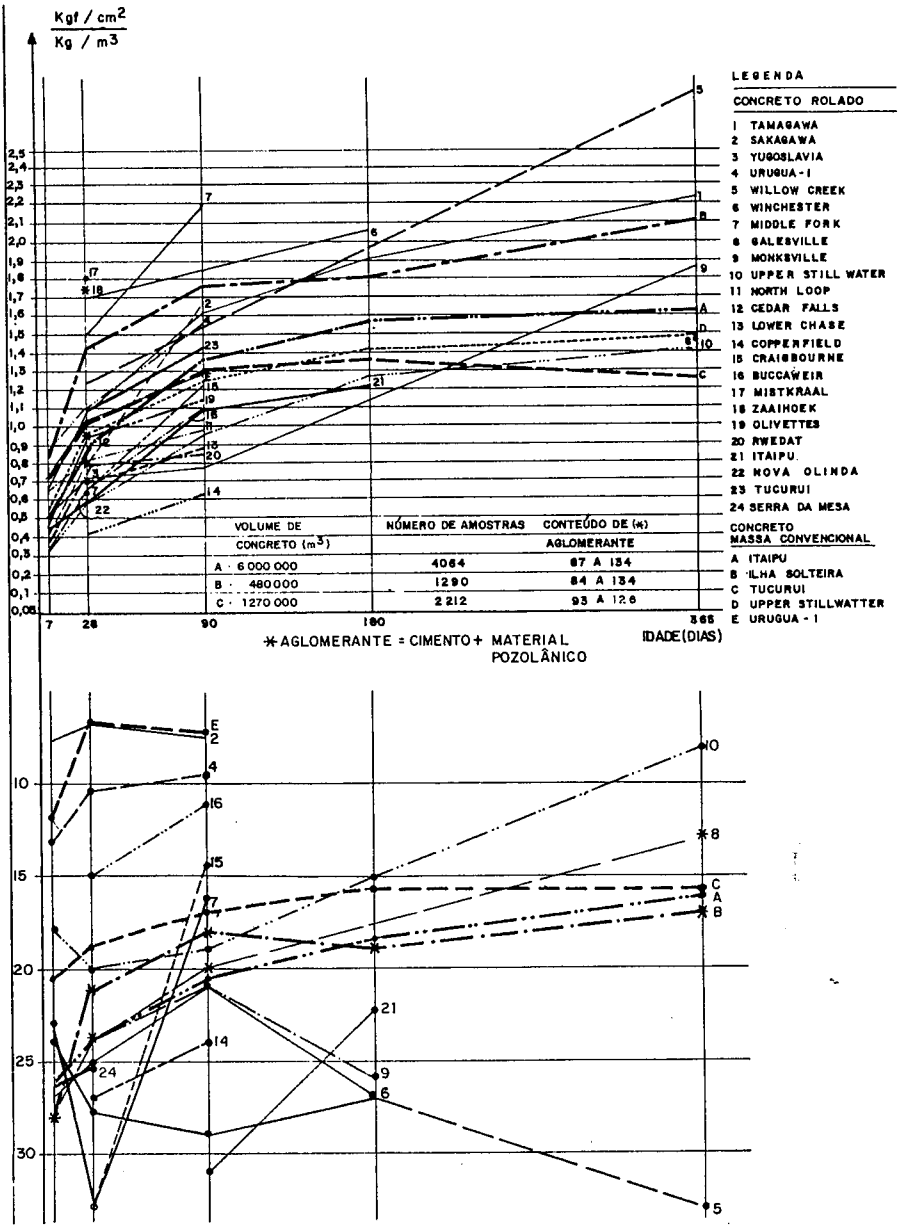


Figura 379 - Valores de Rendimentos e Coeficientes de Variação de Várias Obras de Concreto Rolado e de Concreto Massa Convencional

O Controle de Qualidade pode, ainda, englobar a extração de testemunhos e a auscultação.

A FIGURA 379 resume um conjunto de valores (rendimentos e coeficientes de variação) obtidos nos controles de várias obras. Comparativamente são mostrados parâmetros de controle de concreto convencional de obras semelhantes mostrando que pode-se obter "Concreto Rolado" com rendimentos melhores que os do concreto convencional, e com menores dispersões.

É importante, para melhor entendimento do conjunto de valores, que os dados da FIGURA 379 (que contém valores da FIGURA 106) sejam analisados em conjunto com as informações da FIGURA 35.

9 CUSTOS

É importante lembrar que um dos parâmetros para a escolha do tipo de uma obra, além dos aspectos de qualidade e segurança é o custo.

A FIGURA 380 – Resume um conjunto de preços obtidos para o "Concreto Rolado".

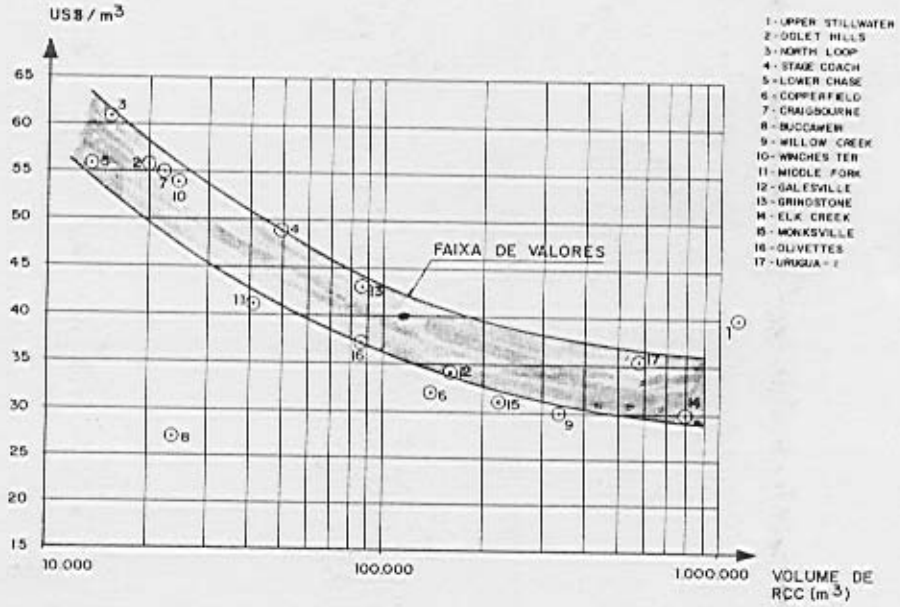


Figura 380 – Informações Sobre Preços Unitários de Concreto Rolado a Partir de Várias Obras (35 e Outros)

Deve ser lembrado que a técnica do Concreto Rolado tem possibilitado a redução, além de prazos e materiais, do contingente de mão-de-obra. Assim é que para a obra de Sakaigawa – Japão, para o período de pico, com a produção de 45.000 m^3/mês de Concreto Rolado. está a disposição um contingente de, apenas, 200 homens, dando uma taxa de aproximadamente 1,25 Hh/m^3. A equipe total (inclusive mão-de-obra indireta e de supervisão) compõe-se de:

SERVIÇOS	EQUIPE
• Sistema de Beneficiamento de Agregados e Transporte (britagem separado da alimentação da Central de Concreto – Ver FIGURAS 92 a 99)	35 homens
• Colocação de concreto	40 homens
• Formas	20 homens
• Armação	10 homens
• Preparo, e tratamento de junta e argamassa	30 homens
• Limpeza geral da obra	10 homens
• Operadores diversos	15 homens
• Diversos	35 homens
• Supervisão	5 homens
TOTAL	200 homens

10 OUTRAS APLICAÇÕES

O "Concreto Rolado" tem sido aplicado também para a construção de pavimentos de pátios de estocagem e de estradas.

Deve ser lembrado que a primeira aplicação de "Concreto Rolado" no Brasil, foi como piso de almoxarifado, no Canteiro de Obras de Itaipú.

Figura 381 - Execução de Piso de Almoxarifado, com Concreto Rolado – ITAIPU

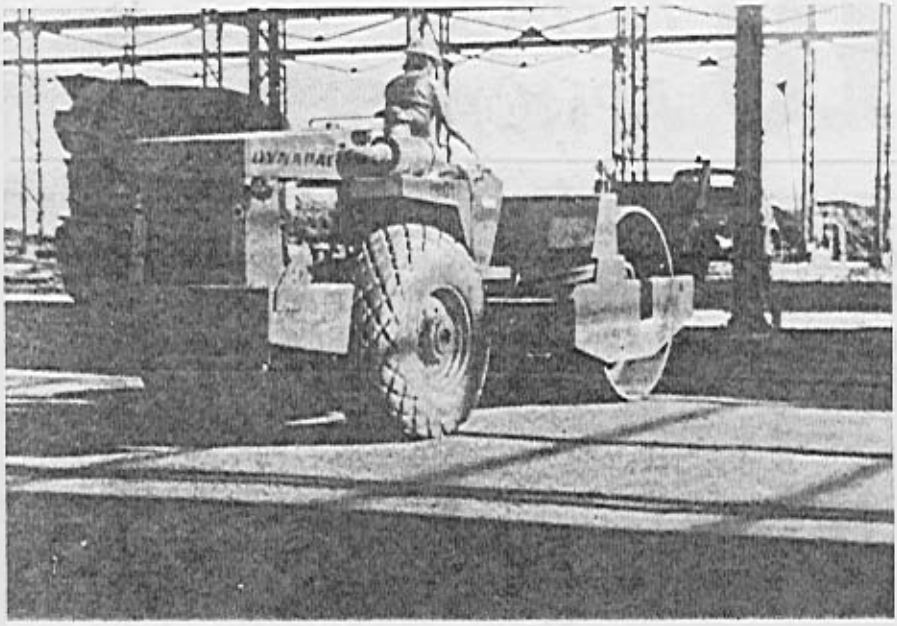


Figura 382 – Compactação com Rolo Vibratório, de Piso de Almoxarifado – ITAIPU

A partir de 1976 a British Columbia Forest Products Limited planejou a execução de grandes áreas de pavimento (4,9 hectares) com o CCR.

A resistência obtida para essas aplicações esteve entre 152 e 405 kgf/cm^2.

Nas conferências de San Diego – Califórnia – fevereiro-março/1988, uma série de trabalhos foi publicada citando a aplicação do CCR em pavimentos, como se mostra no resumo aproximado abaixo:

LOCAL	ÁREA
Austrália	60.000 m^2
Kentucky USA	41.800 m^2
Maryland USA	17.550 m^2
Utah USA	6.500 m^2
Rennick USA	113.710 m^2
Texas – USA	16.000 m^2
Tasmania	67.600 m^2
Kitzingem – Alemanha	14.200 m^2
Corps of Engineers	307.000 m^2

A Argentina desenvolveu um programa de execução de trechos de estradas (89), aplicando o RCC. Esses trechos abrangem diversas regiões, inclusive de clima frio.

No Brasil (90) duas estradas foram construídas entre 1986 e 1987 utilizando o RCC, de baixo consumo de cimento.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. "Rapid Construction of Concrete Dams' – Proceedings of the Engineering Foundation Research – Conference, Asilomar – California 1970 – American Society of Civil Engineers.

2. Lowe, John – "Roller Compacted Concrete Dams – an Overview – Roller Compacted Concrete – II" – A.C.I. – San Diego – Califórnia – February – March – 1988.

3 R. W. Cannon – "Laboratory Investigations and Full-Scale Trials by the Tennessee Valley Authority.

4. Dunstan M. R. H. – "Rolled Concrete for Dams – Construction Trials Using High Fly-Ash Content Concrete".

5. Tynes, W. O. – 1973 – "Feasibility Study of No-lump Concrete for Mass Concrete Construction – U.S. Army Engineers – Waterways Experiment Station – Vicksburg – Mississippi.

6. Lost Creek Dam – North Pacific Division Laboratory – Corps of Engineers – U.S. Army – Oregon – 1973.

7. Proposed New Technique for Construction of Concrete Gravity – XTH ICOLD CONGRES – Montreal – 1979 – Wallingord V.M.

8. A Study of Dry Lean Concrete Applied to the Construction of Gravity – XIth ICOLD – CONGRESS – Madrid 1973 – Moffat A.I.B.

9. Price A. C. – "An Investigation into the Engineering Characteristics of dry lean Concrete with reference to its use in the construction of gravity dams University of New Castle – 1977.

10. B. Price A. C. – Mofat A. I. – "Roled dry lean Concrete Gravity Dams – Water Power and Dam Contruction – 1978.

11. B. Price A. C. – Moffat A. I. – "Rolled Dry Lean Applied to fill construction of Dams – Internacional Conference on Materials of Construction for Developing Countries – Bangkok – Tailandia – 1978.

12. Toshio Hirose-Tsutomu Yamagida – Construction of Dams with roller Compacted Concrete in Japan – River Bureau Ministry of Construction – Symposium on Roller Compacted Concrete – A.C.I. Committee 207 – 1983 – Los Angeles.

13. Report of the Rationalisation of Concrete Dam Construction – Ministry of Construction – Japan – March 1977 – Japanese – English Translation – British Research Centre for Civil Engineering Development.

14. Takaki k – The Outline of Design of Gravity Dams – Public Works Research Institute Japan – 1977.

15. Suzuki K. – Tanaka M. – Sakata T. – Rationalised work performance of a Concrete Dam – River Shimazi Dam Project Office – Ministry of Construction – Japan – July 1978.

16. R. C. D. Concrete for Shimajigawa Dam – Shimajigawa Dam Project Office – Ministry of Construction – Japan 1979.

17. Shimizu T. e Takemura K. – Design and Construction of a Concrete Gravity dam on a weak Bedrock – XIIIth ICOLD – CONGRESS – Nova Delhi – 1975.

18. Dunstan M. R. H. – Trial of Lean Rolled Concrete at the Tamar Treatment Works – Report to the South West Water Authorit – 1977.

19. Cannon R. W. – Bellefonte Nuclear Plant – test for Compactation of No-Slump Concrete next to form work – progress Report – Tennessee Valley Authority – Knoxville – 1974.

20. Cannon R. W. – Bellefonte Nuclear Plant – Test for Compactation of no – Slump Concrete next to form work – Report 2 – Tennessee Valley Authority – Knoxville – 1974.

21. Cannon R. W. – Bellefonte Nuclear Plant – Roller Compacted – Summary of Concrete Plant – Roller Compacted – Summary of Concrete Placement and Evaluation of cores Recoveries – Tennessee Valley Authority – Knoxville – 1974.

22. Cannon R. W. – Bellefonte Nuclear Plant – Roller Compacted – Evaluation of Core Tests Results – Tennessee Valley Authority – Knoxville – 1974.

23. A first in Alaska – Roller Compacted Concrete Alaska Construction and Oil – 1978.

24. Marshall T. – Tarbela Rescue – 380.000 m^3 – Plug Beats the flood 1975.

25. Hayward D. – I.R.C. Wing Race to Project Tarbela's Eroded Plunge Pool – New Civil Engineer – London – 1978.

26. F. R. Andriolo – I. Betioli – L. Scandiuzzi – Concreto Adensado com Rolo Vibratório – XIII Seminário Nacional de Grandes Barragens – Rio de Janeiro – 1980.

27. Schrader Ernest – Willow Creek – The First Concrete Gravity Dam Designed and Built for Roller Compacted Construction Method – U.S.A. – 1982.

28. F. R. Andriolo – G. R. L. Vasconcelos – H. R. Gama – Use of Roller Compacted Concrete in Brazil – A.C.I. – Fall Convention – Los Angeles 1983.

29. Burec Debuts first Roll Crete Dam – Engineer News Record – March/1984.

30. Boggs, Howardl – Richardson, Alan T. – "U.S.B.R. – Design Considerations for Roller Compacted Concrete Dams' – Roller Compacted Concrete – A.S.C.E. – Denver Colorado – May – 1985.

31. William G. Dinchak – Kenneth D. Hansen – Consider Roller – Compacted Concrete for Hydro Power Facilities – International Conference on Alternative Energy Sources – Florida – 1982.

32. F. Holling Worth – F. H. W. M. Druyts – W. W. Madrtens – "Some South African Experiences in Design and Construction of Rollcrete Dams" – 16ª ICOLD – S. Francisco – U.S.A. – June 1988.

33. Development in Japan of Concrete Dam Construction by the RCD Method – 1986.

34. Ernest K. Schrader – "Behaviour of Completed R.C.C. Dams' – Roller Compacted Concrete II – A.S.C.E. – San Diego – California – February – May – 1988.

35. Glen Tarbox – Kenneth Hansen – "Planning, Design and Cost Estimates for RCC Dams – Roller Compacted II – A.S.C.E. San Diego – California – February – March – 1988.

36. Toshio Hirose; Isao Nagayama; Kotaro Takemura; Hiroaki Sato – "A Study on Control of Temperature Cracks in Large Roller Compacted – Concrete Dams – 16ª ICOLD – S. Francisco – U.S.A. – June 1988.

37. Bazant, Z. P. – "Pore Pressure Uplift and Failure Analysis of Concrete Dams – Criteria and Assumptions for Numerical Analysis of Dams".

38. Andriolo, F. R. – Concreto Adensado com Rolo Vibratório – Sugestões para Projeto e Construção" – XVI – S.N.G.B. – Belo Horizonte – 1985.

39. Roller Compacted Concrete – A.C.I. – Committee 207 – Report A.C.I. 207 – 5R-80 – A.C.I. Journal – july-august/1980.

40. Ernest Schrader – D. Namikas – "Performance of Roller Compacted Concrete Dams' – 16ª ICOLD – San Francisco – U.S.A. – june/1988.

41. Willow Creek Lake – Herpner – Oregon – Suplement 1 to G DM2 – Main Dam, Spillway and Outlet Works – Walla Walla District – Corps of Enginners 1981.

42. Design Memorandum nº 2 – General Design Memorandum for Willow Creek Lake – Oregon – U.S. Army Engineers – District 3 C – Roller Compacted Concrete (R.C.C.) – U.S. Army Corps of Engineers 1981.

43. Technical Provision – Section 3C – Roller Compacted Concrete (R.C.C.) – U.S. Army Corps of Engineers – 1981.

44. Golick, Miguel – "Urugua-i em H.C.R. – Aplication de una Tecnologia en Expansión – Jornadas de Extensión Universitaria – Hormigón Compactado a Rodillo para Presas y Otras Estructuras – septiembre 1988 – Córdoba – Argentina.

45. Design and Construction Manual for R.C.D. – Concrete Technology Center for National Land Development – 1978.

46. BN – ICOLD – Sub-Committee on Material for Concrete Dams – Draft Report on Rolled Concrete – London.

47. Rolled Concrete for Dams – proceedings of the international Ciria Conference – 1981 – London.

48. Concrete Report – Willow Creek Dam – World's First all Roller Compacted Concrete Dam – U.S. Army Corps of Engineers – Walla Walla District.

49. Andriolo, F. R. – Pena, D. F. – Gottardo, G. – "Urugua-i: Uma barragem em Concreto Rolado" – XVII SNGB – Brasília – agosto 1987.

50. Andriolo, F. R. – Gottardo, G. – Braga, J. A. – "O Desenvolvimento e uso do Concreto (betão) Adensado com Rolo Vibratório, em Obras Hidráulicas em Países da América do Sul" – Conferência Íbero-Americana sobre Aproveitamentos Hidráulicos – Lisboa – Portugal – 1987.

51. Forbes, B. A. – "The Development and Testing of Roller Compacted Concrete for Dams in Austrália" – 16ª ICOLD – San Francisco – U.S.A. – June 1988.

52. Gentile, G. – "Study Preparation and Placement of Low Cement Concrete with Special Regard to its use In Solid Gravity Dams – 8ª ICOLD – Great – Britain – 1964.

53. ACI – Committee – 211 – "Recommended Practice for selecting Proportions for No-slump Concrete".

54. ACI – Committee – 207 – "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures.

55. RE-02/79 – III Resumo do Controle Tecnológico do Concreto – Itaipu Binacional – 1979.

56. Andriolo, F. R. – Braga, J. A. – "Sugestões para Estabelecimento de Rotina para Controle de Concreto" – IBRACON – julho 1981.

57. Observações e Controle sobre o Concreto Aplicado na Eclusa 1 de Tucuruí – TUC-61-8005-RE – 1983.

58. ACI.SP-46 – Proportioning Concrete Mixes.

59. Francis, G. Mc Lean – James S. Pierce – "Comparison of Joint Shear Strenghts for Conventional and Roller Compacted Concrete" – Roller Compacted Concrete II – A.S.C.E. – San Diego – Califórnia, february-march – 1988.

60. Abstracts of the Japan Society of Civil Engineers 36th Annual Academic Presentation Meeting to be held in October 1981 – Shimizu Construction Co. Ltd.

61. Walter H. Price – Elmo C. Higginson – "Bureau of Reclamation Practices in Mass Concrete" – Symposium on Mass Concrete.

62. "Concrete for Massive Structures". Concrete Information – Portland Cement Association – 1966.

63. Lewis H. Tutthill – Robert F. Adams – Donald R. Mitchell – "Mass Concrete for Oroville Dam" – Symposium on Mass Concrete.

64. Donald L. Houghton – "Concrete Volume Change Dworshak Dam – A.S.C.E. – 1969.

65. Measures Being Taken for Prevention of Cracks in Mass Concrete at Dworshak and Libby Dams – Xth ICOLD – Montreal – 1970.

66. J. A. Braga – A. Sonoda – L. Scandiuzzi – F. R. Andriolo – "Considerações sobre o Módulo de Deformação e Permeabilidade do Concreto" – IBRACON – agosto/1984.

67. Andriolo F. R. – Scandiuzzi, L. – "Concreto e seus Materiais – Propriedades e Ensaios" – Editora Pini – 1986.

68. Houghton D. L. – "Determining Tensile Strain Capacity of Mass Concrete" – A.C.I. Journal – Proceedings V. 73 nº 12 DEC-1976.

69. R. W. Carlson – D. L. Houghton – M. Polivka – "Causes and Control of Chacking in Unreinforced Mass Concrete" – A.C.I. Journal – 1979.

70. Investigation of Method of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete' – 1959 – U.S. Army Corps of Engineers – Waterways Experiment Station – Vicksburg.

71. Investigation of Method of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete" – 1959 – U.S. Army Corps of Engineers – Waterways Experiment Station – Vicksburg.

72. L. Caccialanza; S. Morelli; M. Babbini; A. Marcelo – "Economic Assements and New Plant Developments in Construction Methods of Concrete Gravity Dams" – 16ª ICOLD – S. Francisco – U.S.A. – June 1988.

73. Horace A. Johnson – Paul C. Chao – "Rollcrete Usage at Tarbela Dam" – Concrete International – November 1979.

74. Elk Creek Dam – Roller Compacted Concrete Mixing – Placing Study – Department of the Army Portland District Corps of Enginners" – Tucker Associates Inc. – Designers, Engineers Planners.

75. Documento – AD-A-102753 – Referente Especificações Técnicas para a Obra de Upper Stillwatter.

76. Dennis Hofman; Oswin Keifer; Fred A. Anderson – "Current Corps of Engineers Concepts for Roller Compacted Concrete in Dams" – Roller Compacted Concrete – A.S.C.E. – Denver – May 1985.

77. Ernest Schrader – "Permeability and Seepage Control in Roller Compacted Concrete Dams" – Roller Compacted Concrete A.S.C.E. Denver – May 1985.

78. Willian F. Parent; Willian A. Moler; Ronald W. Southard – "Construction of Middle Fork Dam" – Roller Compacted Concrete – A.S.C.E. Denver – May 1985.

79. Shigeyoshi Nagataki, Tsutomo Yanagida; Tadahiko Okumura – "Construction of Recent RCD Concrete Dam Projects in Japan" – Roller Compacted Concrete – A.S.C.E. – Dennver – May 1985.

80. Dick Karl – "Upper Stillwater Dam RCC Construction Program" – Roller Compacted Concrete – I – A.S.C.E. – Denver – May 1985.

81. F. Hollingworth – F. H. W. M. Druyts – "Experimental use of Rollcrete on Sections of a Concrete Gravity Dam 15ª ICOLD – Lausanne – 1985.

82. Takeshi Yamagushi; Joji Harada; Teruo Okada; Shoichi Shimada – "Construction of Tamagawa Dam by the RCD – Method" – 15ª ICOLD – Lausanne – 1985.

83. Alan T. Richardson – "Upper Stillwater Dam Roller Compacted Concrete Design and Construction Concepts' – Lausanne – 1985.

84. Morio Kurita; Yukio Ayoagi; Takao Endo; Tadahiko Okumura – "Compactation Characteristics of Roller Compacted Concrete" – Roller Compacted Concrete II – ASCE – San Diego – February-March – 1988.

85. J. L. Lama – I. Perez de Juan; J. Benet – "The Santa Eugenia Dam": Use of Roller Compacted Concrete" – 16ª ICOLD – San Francisco – U.S.A. – June 1988.

86. Rock and Roll – The Soil Compaction Concept from Dynapac.

87. Andriolo F. R. – "Construções de Concreto Manual de Práticas para Controle e Execução" – Editora Pini – 1984.

88. Quevedo Carlos – "Guia de Operaciones de Una Metodologia Química para Determinar el Contenido de Cemento" – Presa Urugua-i.

89. J. A. Galizzi – "HCRV – Hormigón Compactado con rodillo de Aplicación Vial – Programa Experimental Argentino – Jornadas de Extensión Universitaria – Córdoba – Argentina – Septiembre – 1988.

90. Cimento e Concreto – ABCP – São Paulo.

91. Cannon, R. W. – "Concrete Dam Construction using compaction methods", in proceedings of the Engineering Foundation Conference Economical Construction of Concrete Dams. Califórnia, May 1972.

92. Hansen, K. D. – "Roller compacted dams worldwide", in Water Power & Dam Construction-Handbook 1987, pp. 27-31.

93. CIRIA Technical Notes 105 and 106, "Rolled concrete for dams – construction trials", London, May 1981.

94. BUSH, E. G. W. – "Rollcrete in Revelstoke Cofferdam", in Proceedings of the International CIRIA Conference Rolled Concrete for Dams, June 1981.

95. BISCHOFF, J. A.; JOHNSON, D. H. and WONG, N. C. – "Strengthening and raising of Gibraltar dam using roller-compacted concrete", in ASCE – Speciaty Conference on Roller-Compacted Concrete, San Diego, USA, 1988.

96. Bogdovitz, W.; CHOUDRY, T. and CHAVARRI, G., "Construction of cofferdam at Guri rollcrete", in 14th ICOLD Congress, Rio de Janeiro, 1982 (Q. 55 – R. 5), pp. 69-84.

97. Boggs, H. L. and RICHARDSON, A. T., "USBR design consideration for roller-compacted concrete dams", in Roller-compacted concrete. ASCE, New York, 1985.

98. Brett, D. M., "Craigbourne Dam, design and construction", in ANCOLD Bulletin, nº 74 August 1986.

99. Carlson, R. W., "Concrete dams built without contration joints", in Rapid Construction of Concrete Dams, ASCE, New York, 1979.

100. Dawson, E. S. and Dunstan, M. R. H. "Trials for a prototype rolled concrete dam", in 13th ICOLD Congress, New Delhi, 1979, Vol. I (Q.48-R.35), pp. 647-660.

101. Delaney, M. and Forbes, B. A. – "Design and construction of Copperfield River Gorge dam", in AN-COLD Bulletin, nº Augusto 1985.

102. Dreaux, G. and Gorisse, F., "De la représentabilité des éprouvettes en béton", in Annalles de l'ITBTP, Paris, 1981.

103. Druyts, F. H. W. and Hollingworth, F., "Experimental use of rollcrete on sections of a concrete gravity dam", in 15th ICOLD Congress, Lausanne, 1985, Vol. II (Q.57.R.2), pp. 23-28.

104. Druyts, F. H. W. and Hollingworth, F., "Rollcrete: some application to dams in South Africa, in Water Power & Dam Construction, vol. 38 nº 1, January 1986, pp. 13-16.

105. Druyts, F. H. W. and Hollingworth, F., "Ash and rollcrete dams", in Ash – a valuable resource, CSIR, Predoria, 1987.

106. Dunstan, M. R. H., Rolled concrete – with particular referente to its use as a hearting material in concrete dams, Concrete Society, London, 1978.

Impresso na
GRAPHOS
Rio - (021) 223-1272