

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**1<sup>as</sup>. CONFERENCIAS PORTUGUESAS SOBRE  
BARRAGENS DE BETÃO COMPACTADO COM  
CILINDROS (BCC)**

Lisboa - Portugal - Novembro de 1996

**Barragens de Betão Compactado com Cilindro  
(BCC) - Controlo de Qualidade**

**Francisco Rodrigues Andriolo**  
Engenheiro Consultor

Andriolo Ito Engenharia S/C Ltda  
Rua Cristalândia no. 181 - São Paulo - Brasil - CEP- 05465-000 - Tel-++55 11- 260 5613 - Fx-++55 11- 260 7069

**RESUMO**

O trabalho apresenta um conjunto de informações de Planos de Controlo de Qualidade utilizados em barragens construídas com BCC - Betão Compactado com Cilindro. Faz uma análise e estabelece um debate sobre as práticas usuais.

## **1- Introdução**

Os Projectos de barragens, quer sejam elas construídas por diferentes processos e metodologias, são baseados em propriedades conhecidas a partir de ensaios laboratoriais.

A adequação do Projecto, o conhecimento da tecnologia aplicada ao BCC, do material rochoso local, a escolha do sistema industrial de produção, os equipamentos principais de transporte, colocação e adensamento e a correcta definição das etapas evolutivas do maciço, a qualificação técnica das equipas envolvidas e disponibilidade de recursos financeiros são os principais factores que determinam o sucesso ou insucesso do empreendimento.

Certa margem de segurança é considerada no Projecto para cobrir as variações das propriedades dos materiais aplicados na construção.

Essa margem de segurança não deve ser comprometida por controlos deficientes. As propriedades da obra executada devem ser consistentes com aquelas consideradas no Projecto.

## **2- Generalidades**

As actividades de Controlo podem ser exercidas de maneira simples e “despreocupada” ou podem se tornar difíceis, delicadas e envolventes à medida que a pessoa, equipa, agente ou entidade, deva agir diante dos factos que se apresentam [1].

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

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

A velocidade de construção que pode ser atingida com o BCC requer que os procedimentos de controlo sejam mais abrangentes, envolvendo todas as variáveis que possam afectar a Qualidade durante a mistura e colocação do BCC [2].

## **3- FINALIDADE DO CONTROLO**

### **3.1- Objectivo do Controlo**

Nas construções de BCC, como outras de betão, os objectivos do controlo são de garantir que sejam executadas de acordo com o previsto nos Projectos e Especificações, a um menor custo possível e assegurando qualidade e uniformidade suficientes para garantir um desempenho satisfatório durante toda sua vida útil.

Como valor agregado a isso, há a possibilidade do desenvolvimento técnico que também deve ser considerado.

Vários são os factores que influenciam na Qualidade de uma estrutura de betão, desde a selecção dos materiais até os procedimentos de execução. Deve-se dar atenção principalmente em:

- Controlo de fabricação dos materiais manufacturados;

- Pesquisa, ensaios de pré- qualificação e controlo do beneficiamento de materiais;
- Composição e mistura;
- Transporte, colocação, espalhamento e compactação do BCC;
- Condições da fundação, juntas de construção;
- Condições de embutidos e moldes - cofragens;
- Cura; Auscultação; e
- Capacidade e comportamento da equipa de construção.

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

Nas obras de BCC, com elevada velocidade de execução, o controlo assume uma importância decisiva pois permite que sejam detectados desvios na qualidade de maneira ágil e evitar correcções altamente onerosas.

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

### **3.2- Conceito do Controlo**

O Controlo é a acção de inspecção e observação dos factores que influenciam na qualidade da estrutura. Em geral, deve incluir, pelo menos, as seguintes actuações:

- Identificação, exame, aceitação e todos os ensaios de campo, dos materiais;
- Controlo de composição e mistura;
- Inspecção das fundações e superfícies a receber os betões;
- Inspecção dos moldes e outros serviços preliminares ao lançamento do BCC;
- Contínua inspecção na mistura, transporte, colocação, espalhamento, adensamento e cura do BCC;
- Preparação dos Provetes para ensaios de laboratório;
- Observações gerais a respeito das instalações e equipamentos e equipas;
- Análise estatística dos resultados e acções;
- Relatórios.

### **3.3- Organização**

A construção de uma obra envolve basicamente as equipas de Projecto, de Inspecção e Controlo e o Construtor.

O Controlo de Qualidade pode ser exercido por diversos segmentos técnicos da sociedade.

A tendência observada em vários países é que o Controlo de Qualidade seja de responsabilidade do próprio Construtor e que a Supervisão seja do Dono da Obra, ou de um seu agente.

O número de elementos necessários para o Controlo de uma obra varia em função do volume e da responsabilidade da obra.

## **4- O Fiscal**

#### **4.1- Importância do Fiscal**

O Fiscal ou Inspector é um dos componentes principais no controlo das construções de betão, pois dele dependerá a certeza de se obter a Uniformidade da Qualidade da construção em todas as suas fases e provavelmente a confiabilidade da construção.

#### **4.2- Qualificação**

O Fiscal deve ter conhecimento e experiência com respeito ao serviço para o qual foi designado. Deve saber como o serviço deve ser feito e porque está sendo feito daquela maneira. Todo Inspector deve ter um período de experiência, trabalhando sob a orientação de um elemento experimentado, mesmo que ele tenha sido tecnicamente treinado.

O Fiscal deve ter, de preferência, escolaridade em nível técnico. Em alguns países, os fiscais de betão são qualificados por institutos normativos que fornecem autorização para desempenhar essas funções.

O Fiscal deve ter carácter e personalidade, para que mereça o respeito dos trabalhadores e tenha condições de ser firme, porém, justo e responsável nas suas atitudes.

O Fiscal deve ser observador e ter bom senso, a fim de dedicar mais atenção aos problemas de maior importância.

#### **4.3- Responsabilidade**

O Fiscal é responsável pela verificação de que o serviço é executado de acordo com os planos e especificações, permitindo somente alterações por escrito dos seus superiores. Uma negligência da sua parte pode levar a um defeito na construção, tendo como consequência riscos de prejuízo econômico ou de vidas humanas.

Ele é responsável pelo conhecimento minucioso da especificação e por aplicá-la correctamente.

#### **4.4- Autoridade**

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

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

Essas decisões devem ser tomadas directamente pelo Fiscal, reportando, imediatamente após, o seu superior. Entretanto, a paralisação deve ser efectuada somente como último recurso, ou seja, quando for evidente que a continuidade é prejudicial e seu superior não estiver próximo.

O Fiscal deve, também, estar autorizado a requerer a remoção ou reparação de serviço defeituoso.

Problemas menores, não previstos nas especificações, exigirão um julgamento e decisão pessoal Fiscal e assim deve ser resolvido o maior número de problemas.

Caso o Fiscal tenha condições de prever os problemas, poderá obter, antecipadamente, uma orientação de seu superior, evitando polêmicas.

#### **4.5- Relacionamento com a Equipe de Produção**

O Construtor (quando o Controlo de Qualidade for executado por um agente do Dono da Obra) ou o Pessoal de Produção (quando o Controlo de Qualidade for executado pelo próprio Construtor) deve procurar e ter a liberdade de executar os serviços ao custo mais barato possível, desde que obedeça aos requisitos da especificação. Agindo desta forma o com procedimentos justos estará ajudando a reduzir o custo da construção.

A menos que seja evidente (e para isso o Fiscal deve ter conhecimento) que não será obtido um serviço adequado através do método construtivo adoptado pelo Construtor (ou pela Produção), o Fiscal não deve interferir neste processo executivo, nem retardar a construção desnecessariamente.

Não devem ser feitas imposições que não estejam de acordo com as especificações.

O Fiscal deve manter relações objectivas, coerentes e prestativas com o executante e seus operários. Entretanto, ele deve evitar familiaridade. Ele pode conseguir a cooperação e o respeito dos operários reconhecendo e elogiando os serviços bem executados.

O Fiscal não deve tomar atitudes para mostrar sua autoridade, mas somente sugerir alguma coisa que tenha possibilidade de tirar benefício para o serviço. Deve, particularmente, evitar subestimar a organização do executante ou fazer alarde das falhas observadas.

As instruções de serviços devem ser dadas ao responsável pelo serviço. As instruções devem ser dadas, preferivelmente, sob a forma de advertência de que um serviço com defeito não será aceito nas condições da especificação.

*Por exemplo:* Se for observado que poderá ocorrer defeito na estrutura devido à cofragem mal alinhada ou mal fixada, o Fiscal deve advertir o executante, antecipadamente, para que sejam tomadas as providências.

Dizendo ao executante ou seus operários “como fazer”, o Fiscal pode, inadvertidamente, perder os direitos e assumir a responsabilidade.

Isso deve ser evitado, a menos que o Superior (Dono da Obra, Supervisor etc) concorde que a responsabilidade por aquela parte da construção pode ser assumida por ele.

O Fiscal deve estar certo de que o seu julgamento está correcto e justo antes de emitir as instruções. A decisão deve, então, ser mantida firmemente. As discussões devem ser evitadas. Isso é de extrema importância nas construções rápidas como o BCC.

Um bom começo é ***importante***; firmeza no início do trabalho tenderá a evitar discussões futuras.

Um princípio geral de fiscalização, muitas vezes deixado de lado, é que o Fiscal não deve revelar hábitos que possam ser premeditados pelos operários.

#### **4.6- Fontes de Referência - Informações - Treinamento**

Para que o Fiscal desempenhe adequadamente suas funções, ele deve ter, à sua disposição, pelo menos as seguintes informações:

- Projecto ou Croquis com detalhes do Projecto;
- Especificações do Projecto e materiais;
- Composição do Betão;
- Plano de Betonagem;
- Planeamento de equipamentos e pessoal;
- Métodos de ensaios;
- Condições contractuais e responsabilidades;
- Atualização sistemática das técnicas envolvidas.

Uma maneira de informar com mais segurança e disciplina o com procedimentos justos é através de um “Manual de Controlo”, onde sejam descritos, com linguagem fácil e detalhada, todos os processos de especificações da obra.

#### **4.7- Medições - Tolerância - Uniformidade**

A função do Fiscal compreende a observação e controlo do processo executivo bem como o controlo de tolerâncias exigidas nas especificações.

Deve ter em mente que uma “medida” tem sua importância, mas que por mais cuidadosa que a mesma seja feita ou obtida, pode não ser exacta e, para cada caso em particular deve ser feito um julgamento das tolerâncias permitidas.

A uniformidade pode ser avaliada pela dimensão das dispersões, normalmente avaliada pelos Coeficientes de Variação, como mostra-se na Figura 15 e que exemplificam alguns Coeficientes de Variação de controlos de resistência de betões massa e BCC, que servem para estabelecer metas.

Assim é que para o BCC pode-se estabelecer uma Meta de Coeficientes de Variação da resistência como sendo inferiores a 15% para idades superiores a 90 dias. O Coeficiente de Variação dentro do ensaio, não deve ser superior a 4%.

O controlo de densidade deve ter Coeficiente de Variação inferior a 2%.

O controlo do teor de ligante deve ter um Coeficiente de Variação inferior a 10%.

### **5- O QUE CONTROLAR?**

Antes ao início da obra deve-se estabelecer um Plano de Controlo que então se seguirá.

#### **5.1- Características do Maciço em BCC**

Para efeito de planeamento, os maciços em BCC apresentam maior semelhança com as barragens de enrocamento, em solos ou mistas, do que com as barragens de gravidade em betão convencional.

Muitas vezes as fases executivas de um maciço em BCC lembram a construção de uma barragem em enrocamento, ou de uma em solo.

Tal semelhança exige que o planeador tenha, não apenas sólidos conhecimentos das tecnologias de betão, mas também vivência no planeamento das barragens de solo e de rocha.

A utilização do Betão Cilindrado permite:

- Maior velocidade de construção com menor elenco de equipamentos;
- Redução do contingente de Mão de Obra;
- Aumento do nível de mecanização na construção das obras.

Numa comparação entre as características condicionantes na execução de um maciço de materiais soltos (terra e/ou enrocamento) ou de betão convencional com uma de BCC, onde estaria a diferença básica que exige uma maior importância do planeamento e controlo ?

A MAIOR VELOCIDADE DE CONSTRUÇÃO é que requer uma atenção maior do planeamento do controlo de qualidade.

De maneira geral, a aplicação da técnica do BCC reveste-se de uma simplicidade ímpar, justamente por agregar, numa única técnica, as simplificações e vantagens inerentes às outras duas técnicas específicas.

Essa “Simplicidade”, paradoxalmente, induz a maioria dos profissionais a uma “simplificação” de pensamento.

Passam a ver o BCC com uma técnica rápida, com a mesma dinâmica observada nas técnicas antecedentes, ou precedentes. Esta visão simplista pode levar, e tem levado, a “imprevidências” e a amargos aumentos de custo.

O BCC tem velocidades de execução comparáveis às velocidades de maciços em materiais soltos. No entanto, tem necessidade de manusear e utilizar uma gama mais ampla de materiais (agregados, ligantes, moldes, etc.); uma maior amplitude de acções (conhecimento técnico, controlo de qualidade etc.) e necessidade de providências (acessos, interferências etc.) em outra escala de velocidade.

Porém, mesmo sendo uma construção em betão, não pode ser observada na mesma velocidade, relativamente baixa, das construções sequenciais, por blocos, em betão convencional.

Para uma visualização mais clara do exposto, pode-se citar apenas alguns itens:

- Cofragens - o planeamento inadequado dos moldes numa construção de BCC torna-se mais crítico que na construção em betão convencional. Praticamente todo o molde dos paramentos de BCC deve ser providenciado com antecedência, mas nem todo do BCV precisa ser providenciado, já que os blocos evoluem de modo alternado e independente.
- Agregados - as grandes velocidades de execução do BCC requerem grandes produções horárias de agregados (ou stocks “pulmões”), ao passo que, nas construções de BCV, a prática estabelecida já absorveu a relação entre a capacidade de produção de BCV e a respectiva necessidade de produção de agregados.
- Acessos - os acessos para a alimentação do sistema de colocação de betões, nas construções de BCV, são planeados quase que rotineiramente para acessar “um” ou “alguns” pontos. Isto, porque os guindastes, ou cabos aéreos, ou outros sistemas mais actuais, fazem a complementação do transporte e a sua colocação, pois os equipamentos a serem posicionados nos “blocos”, praticamente resumem-se a vibradores, máquinas de solda, bombas de corte e bombas de esgotamento. Todos os equipamentos são de pequeno porte.

Nas construções em BCC, quando a opção é por camiões, os acessos devem ser planeados, de modo a possibilitar a entrada de equipamentos em todas as frentes horizontais de lançamento.

Dessa maneira, qualquer falha cometida no planeamento de algumas dessas actividades, torna-se uma “falha genética”, ou seja, de correcção difícilíssima, o que poderá prejudicar a qualidade do betão.

Sendo uma tecnologia que tira forte partido das características dos materiais locais, é fundamental contar com conhecimento profundo das mais recentes técnicas de produção e aplicação do betão compactado com cilindro.

**Fórmula 1** - a execução de uma obra em BCC tem muita semelhança com o que acontece na “escuderia” de Fórmula 1. O desempenho do carro e piloto durante a temporada não pode, em hipótese alguma, ser superior à qualidade do projecto e dos preparativos dedicados ao protótipo do carro.

Depois de iniciadas as corridas, todos os esforços dos mecânicos e dos pilotos serão insuficientes para corrigir erros ou imprevidências da fase de projecto e desenvolvimento. Por mais que se esforcem, não haverá tempo suficiente para uma recuperação razoável e o insucesso será inevitável.

Do mesmo modo, numa obra em BCC, não haverá tempo hábil para serem feitas modificações importantes no sistema industrial, no equipamento principal de transporte ou na sequência evolutiva das fases imaginadas para o maciço. A velocidade da evolução da obra faz com que a implementação de cada correcção ocupe um tempo por demais longo face à necessidade de urgência, tornando a correcção insuficiente ou levando a obra a um custo muito superior ao planeado, quando não superior ao preço de venda.

Mais uma vez, a velocidade de execução do BCC, bem como a maneira de lançar o betão, devem ser ressaltadas.

No sistema convencional de construção de barragem em betão, o maciço é composto por blocos, normalmente isolados por juntas de dilatação. Isso leva o projecto a ser desenvolvido de maneira “colunar”, e a evolução da obra, a ser conduzida também por “blocos”, na direcção vertical.

Na maneira de se construir com BCC, as providências devem ser, primordialmente, na “horizontal”. No entanto, pela sua extrema velocidade, devem ser tomadas providências “verticais”. Exemplificando, no local de união de duas galerias por um poço, o processo de construção por blocos prioriza o detalhamento do poço, no de BCC, o projecto da galeria tem precedência sobre o do poço.

Assim, para se planejar a execução de uma obra em BCC, o conhecimento das camadas junto a toda extensão da fundação é de extrema importância. Na construção em blocos, ao deparar-se com uma falha na fundação, pode-se deslocar os recursos para os blocos contíguos e assim reequacionar os avanços, sem grandes reflexos no desenvolvimento geral.

Essa situação, nas construções em BCC é muito mais problemática, com significativos reflexos no andamento e no custo da obra.

Embora o projecto deva buscar a simplicidade que o BCC requer, deve, também, ser “pensado” para ser ágil.



Da mesma maneira, as salvaguardas usuais nos projectos devem contemplar pontos e soluções de defesa que permitam corrigir as eventuais falhas inerentes à rapidez.

As condições climáticas são factores com aspectos úteis e aspectos prejudiciais ao planeamento e isso deve ser analisado e considerado. Assim é que, por exemplo, em regiões de clima razoavelmente frio, os agregados podem ser produzidos durante o inverno e serem utilizados na estação subsequente, tirando proveito da temperatura do betão e, por conseguinte, reduzindo os problemas de tensões térmicas.

Em regiões de grande insolação e/ou vento, a secagem superficial do BCC, durante o espalhamento, ocorre mais intensamente, requerendo a providência de ser estabelecido um ambiente húmido na frente de lançamento.

Em regiões onde as chuvas ocorrem com mais intensidade em determinados períodos, a continuidade de lançamento do BCC pode então ficar muito prejudicada. Tanto pela intensidade, como - e muito mais - por descontinuar os trabalhos. A retomada de lançamento fica dificultada por questões de limpeza, esgotamento e drenagem da frente de serviço.

Nessas regiões e nesses períodos, é prudente que o planeamento considere uma redução na produção e aumento no custo.

As condições topográficas são determinantes para o planeamento dos acessos, com reflexos consideráveis na cronologia e custo do BCC; devem, por isso, ser consideradas no seu grau de importância. A escolha do equipamento é fundamental para vencer as dificuldades de topografia.

Nos projectos de maior vulto e nos de geração de energia eléctrica, é comum haver outras estruturas em betão convencional, ou de solo e rocha, cujas execuções têm interferência com obras de BCC. Essa interdependência poderá ser apenas de logística ou mesmo interferência física (como uma ponte sobre o descarregador).

As demais estruturas em BCV podem, em conjunto com o BCC, provocar picos de necessidade de mão de obra, de moldes, de equipamentos ou de materiais. Tirando-se proveito da rapidez e da versatilidade de execução do BCC, esses picos podem ser evitados, criando-se patamares nos histogramas de necessidades. O benefício desses nivelamentos, para o custo geral da obra, será bastante significativo.

A utilização dos agregados costuma ser feita em prazo tão curto, que provoca pico de consumo. É comum que esse pico seja muito superior à produção do estaleiro industrial, economicamente razoável para a obra. Por isso, costuma-se optar por “stocks” intermediários de agregados grossos e areia, de modo a evitar o uso de sistema industrial de maior porte.

Dessa maneira, pode-se imaginar as consequências de um equívoco na especificação ou no projecto do sistema industrial. O custo e o cronograma da obra ficarão fortemente prejudicados se houver necessidade de qualquer modificação no sistema, feita de última hora.

É fundamental, portanto, o perfeito conhecimento do material rochoso local, de todos os factores determinantes na escolha da mistura do BCC e também de um histograma seguro de necessidade do BCC.

Para o sistema principal de transporte de BCC, as opções são várias. Pode ser usado o camião deslocando-se desde a fabricação até o local de colocação; o camião sendo abastecido já dentro da praça e transportado até o local da colocação; sistema completo de

tapetes transportadores que vai da fabricação até a colocação; sistema parcial de tapetes que abastece o camião dentro da praça; “chutes” e tubulações associados a esteiras e camiões; vagonetes automatizadas sobre trilhos; cabos aéreos transportando baldes; guindastes e muitos outros processos. Apenas a imaginação do planeador é o limite!

## 5.2 Plano de Controlo de Qualidade -Exemplo do utilizado em Capanda [3]

### 5.2.1 - Estudos Prévios de Caracterização e Qualificação dos Materiais [3]

Os estudos prévios dos materiais e betões para obra de Capanda foram realizados pelo Laboratório de Betão da Itaipu Binacional. No planeamento dos estudos, estabelecido em 1987, foram consideradas as seguintes condicionantes:

- Cimento: complexa logística de suprimento à obra, distante via terrestre cerca de 450 Km da fabrica, em Luanda;
- Material Pozolânico: inexistência de exploração industrial no país; inexistência de matéria-prima próxima à obra;
- Areia Natural: jazidas esparsas de pequeno potencial, baixo módulo de finura, indesejáveis contaminações da natureza silto-argilosa e orgânica;
- Rocha para Agregados: metaarenito (gres) arcossiano, denso e são, cimentado por hidróxidos e/ou óxidos de ferro;
- Betões: inexistência de estudos de propriedades (térmicas, elasto-mecânicas, e de permeabilidade), adequadamente extrapoláveis e compatíveis com o porte das obras;
- Materiais diversos: (aços, elastômeros e adjuvantes), inexistentes no mercado local.

Com base em tais condicionantes, os estudos foram direccionados estabelecendo os seguintes objectivos:

- *Optimizar o consumo de cimento das misturas;*
- *Avaliar exaustivamente as características da rocha disponível, particularmente quanto a sua possível reatividade com os álcalis do cimento, bem como a real necessidade de uso de materiais pozolânicos;*
- *Maximizar a utilização da areia artificial, obtida pela britagem do meta-arenito;*
- *Investigar e explorar ao máximo os benefícios do “PÓ DE PEDRA”, tanto na sua acção contra eventuais reacções álcalis-agregado, como na melhoria das propriedades de resistência e de impermeabilidade;*
- *Caracterizar misturas típicas de betão quanto a: proporcionamento; resistência à compressão; resistência à tracção; módulo de elasticidade; compressão triaxial; capacidade de alongamento; fluência; permeabilidade; elevação adiabática; calor específico e coeficiente linear de expansão térmica;*
- *Caracterizar e qualificar produtos industriais adquiridos na exterior (como aços, emendas metálicas, elastômeros e adjuvantes), antes da sua expedição para Angola.*

Os estudos foram detalhadamente apresentados nas referências [5] e [6], sendo os principais aspectos resumidos a seguir:

- O cimento disponível, marca CIMANGOLA, produzido em Luanda, apresentou-se apto para o uso na obra.
- O material britado, quando submetido às diversas metodologias para avaliação da sua reatividade potencial (análise petrográfica; ensaio químico ASTM-C-289; ensaio físico ASTM-C-227; ensaio acelerado NBRI -Sul Africano; e ensaio térmico “Ossipov”) comportou-se como “inócuo”.
- O “PÓ DE PEDRA” (material de dimensões inferiores a 0,075 mm) mostrou-se benéfico na redução de eventuais expansões decorrentes de reacções álcalis-sílica, comportando-se como material pozolânico de atividade específica, além de reduzir significativamente a permeabilidade do betão.

- O agregado graúdo, quando submetido aos ensaios de abrasão (Los Angeles) e de sanidade (ciclagens natural, artificial e acelerada ao etileno glicol), apresentou resultados que o classificam como resistente e durável.
- As propriedades mecânicas, elásticas e térmicas dos betões mostraram-se consistentes e compatíveis com o porte das obras e propiciaram parâmetros para estudo do comportamento térmico e para o dimensionamento estrutural.
- Materiais diversos, como aços e emendas metálicas, elastômeros e adjuvantes, foram previamente qualificados, evitando o fornecimento e embargo, na obra, de produtos em discordância com as especificações.

## 5.2.2- O Plano de Controlo de Qualidade dos Materiais e Betões

O controlo de qualidade dos materiais e betões empregados na obra de Capanda era de responsabilidade do Construtor. Para o desempenho dessas actividades foi estabelecido um **“Plano de Controlo de Qualidade”**, de modo a atender aos requisitos dos Projectos e Especificações. Considerou-se, também, as condições de logística para a construção do Aproveitamento, tais como suprimentos dos materiais básicos, distância da obra aos centros produtores, disponibilidade quali-quantitativa de mão de obra, cronologia e segurança para com os parâmetros de qualidade compatíveis com a magnitude do Projecto. A Figura 5.1 mostra de maneira esquemática o Plano de Controlo de Qualidade estabelecido.

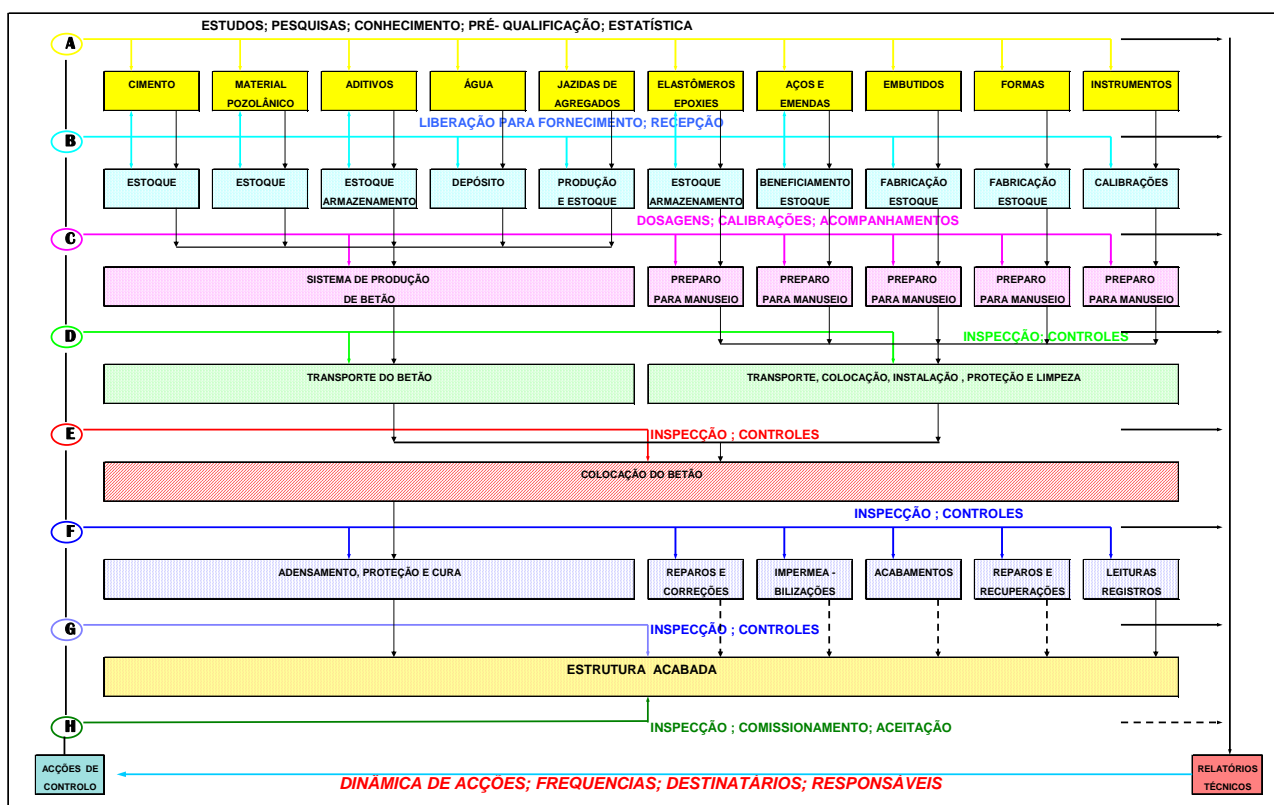


FIGURA 5.1- PLANO DE CONTROLO DE QUALIDADE DE MATERIAIS E BETÕES

### 5.2.2.1- Controlo de Qualidade dos Materiais

O controlo dos agregados foi exercido através de dois tipos de amostras - Produção e Controlo:

- As amostras de Produção eram tomadas semanalmente nos tapetes transportadores dos agregados, entre os britadores e a respectiva pilha de armazenagem. Tal amostragem permitiu a verificação rotineira das condições do sistema de britagem e classificação, além de subsidiar o controlo e o balanceamento de “stocks”. Na fase inicial de produção, tais amostras

foram tomadas com frequência diária e eventualmente horária, até a ajustagem qualitativa do sistema.

- As amostras de Controlo foram tomadas semanalmente nos doseadores de cada uma das centrais de betão, permitindo caracterizar os agregados quando da sua aplicação imediata nos betões.

As gamas granulométricas consideradas para a produção dos agregados para betões convencionais e cilindrado são citadas na Figura 5.2, onde se verifica que o BCC foi produzido a partir das diversas gamas granulométricas disponíveis. Isso devido a ter sido produzido o BCC tanto nas centrais de betão convencional (Batch), como nas centrais de mistura contínua (Pug-Mill).

DENOMINAÇÃO	DIMENSÃO DOS GRÃOS (mm)	USADO PARA - TIPO DO BETÃO	
		BCC	BVC-CONVENCIONAL
AREIA ARTIFICIAL	5 -- 0	SIM	SIM
GRAÚDO 1	19 -- 5	SIM	SIM
GRAÚDO 2	38 -- 19	SIM	SIM
GRAÚDO 3	76 -- 38	SIM	SIM
AGREGADO G1	19 -- 0	SIM	NÃO
AGREGADO G2	64 -- 19	SIM	NÃO

FIGURA 5.2- GAMAS GRANULOMÉTRICAS PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS

O agregado composto “G1” (0-19 mm) era obtido combinando a areia artificial com o Grosso 1, na própria central de britagem. Da mesma forma, o agregado composto “G2” (19-64 mm) era obtido pela combinação do Grosso 2 e 3 com uma pequena redução no tamanho máximo do Grosso 3. Tal redução, embora acarretasse um maior esforço de britagem, objetivou um melhor desempenho da central de BCC de mistura contínua, garantindo, ainda, uma menor ocorrência da segregação, tanto do agregado “G2” como do próprio BCC. Sendo a fracção fina contida em “G1” insuficiente para compor a granulometria global do BCC, uma quantidade adicional de areia artificial era fornecida directamente pelos rebitadores para finos, convenientemente posicionados no sistema. Os dados obtidos no controlo de agregados são apresentados na Figura 5.3.

ÍNDICE	UNIDADE	AREIA BRITADA	AGREGADO				
			G1-(19-0)mm	G2-(64-19)mm	B1-(19-4,8)mm	B2-(38-19)mm	B3-(76-38)mm
MASSA ESPECÍFICA APPARENTE	g/cm <sup>3</sup>	1,59	1,61	1,6	1,42	1,43	1,41
MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA	g/cm <sup>3</sup>	2,65	2,65	2,66	2,65	2,66	2,66
ABSORÇÃO	%	0,9	0,77	0,33	0,6	0,42	0,45
PERDA POR ABRASÃO-LOS ANGELES	%	(NO META-ARENITO[GRES] USADO PARA AGREGADOS = 13,8)					
MUMERO DE AMOSTRAS	N	259	134	122	145	162	125

FIGURA 5.3- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AGREGADOS DE CAPANDA

Conforme já evidenciado, a areia artificial teve fundamental importância para os betões da obra de Capanda, principalmente por permitir os benefícios técnicos da utilização do “PÓ DE PEDRA” (Filler). No proporcionamento da mistura do BCC, foi prescrito que a granulometria total do betão apresentasse um teor mínimo de 10% de partículas inferiores a 0,15 mm (malha de peneira # 100), e 7% de partículas inferiores a 0,075 mm (peneira # 200). Para melhor caracterizar a real quantidade do “PÓ DE PEDRA” presente na areia artificial, foram efectuados ensaios granulométricos comparativos, com peneiramento pela via seca e pela via úmida sobre amostras gêmeas, obtendo os resultados indicados na Figura 5.4. Tal comparativo revela que efectuando o ensaio de granulometria com lavagem, o teor de material passante na peneira de malha nº 200 resulta cerca de 80% maior que o determinado no ensaio a seco.

CONDIÇÃO DO ENSAIO	% RETIDO ACUMULADO NA PENEIRA (mm)						
	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	0,075
A SECO	8	39	58	69	78	87	94
VIA HUMIDA	8	39	58	68	76	84	89

FIGURA 5.4- COMPARATIVO DE GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO VIAS SECA E ÚMIDA (Valores médios de 31 amostras)

### 5.2.2.2- Cimento

Nas obras de Aproveitamento de Capanda utilizou-se exclusivamente o cimento marca Cimangola, do tipo Portland Comum, fornecido a granel. De acordo com o contrato de fornecimento, o fabricante executou seu próprio controlo de qualidade, respaldando a expedição de seu produto. Para tal, foram estabelecidas Amostras de Liberação, colhidas a cada 2 horas ou 100 t produzidas, para a determinação da Cal Livre, Finura Blaine, Início de Presa e Perda ao Fogo. Complementarmente, foram estabelecidas amostras de Controlo na fábrica, colhidas diariamente ou a cada 500 t, para ensaios físico-químicos completos. Os ensaios do fabricante visaram o atendimento à norma britânica BS 4550. Na obra, o Plano de Controlo de Qualidade estabeleceu a retirada de amostras de Recepção e de Controlo. As amostras de Controlo eram colhidas nos doseadores das centrais de betão, com frequência semanal em cada central, caracterizando o cimento quando da sua aplicação imediata nos betões. Finalmente, foi também estabelecida uma amostragem a cada 5000 t, para ensaios interlaboratoriais, possibilitando aferir os procedimentos dos Laboratórios envolvidos. A Figura 5.5 fornece os dados obtidos pelo controlo efectuado (com as amostras colhidas nas plantas de betão), bem como os requisitos especificados com base na metodologia ABNT-NBR 7215.

### 5.2.2.3- Adjuvantes para Betões Convencionais

O BCC utilizado na obra não usou adjuvantes. Para os betões convencionais do tipo “face” e “berço” foram utilizados adjuvantes do tipo incorporador de ar e plastificante-modificador de Presa e superplastificante. As amostras de adjuvantes tiveram carácter de Controlo, visto que os mesmos foram pré-qualificados durante os estudos iniciais [5] [11]. Além disso, tais produtos eram expedidos à obra com suporte dos respectivos certificados de qualidade do fabricante. As amostras de Controlo eram colhidas nos doseadores de adjuvantes das centrais de betão, com frequência semanal em cada central. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5.6.

### 5.2.2.4- Água de Amassadura

Nas centrais de betão, a água do rio Kwanza era empregada após decantação nos depósitos de água bruta do estaleiro, sem tratamento químico. A amostragem da água de amassadura teve o carácter de Controlo, sendo a amostragem efectuada nas saídas dos doseadores nas plantas de betão, com frequência semanal. Os resultados são apresentados na Figura 5.7.

### 5.2.2.5- Aço

Em sua grande maioria, o aço utilizado para o betão armado era de origem brasileira, nas categorias CA-25 e CA-50. Em menor quantidade, foram utilizados aços de origem cubana categoria A-30 e de origem soviética categoria III, estes similares ao CA-40 ABNT-NBR.

REQUISITO	UNIDADE	NUMERO DE AMOSTRAS	MÉDIA	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO %	LIMITE
% RETIDA NA # 200	%	371	5,7	23,9	
% RETIDA NA # 325	%	318	20,6	21,9	< 30
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA BLAINE	cm <sup>2</sup> /g	392	3430	12,5	> 3200
MASSA ESPECÍFICA APARENTE	g/cm <sup>3</sup>	187	1,1	2,7	
MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA	g/cm <sup>3</sup>	349	3,12	0,6	
TEMPOS DE PRESA - INICIAL	h : min	600	02:07	23,2	> 1,0 h
- FINAL	h : min	567	03:23	22,3	
LE CHATELIER - EXPANSÃO	mm	252	1	18	< 5,0
AUTOCLAVE - EXPANSÃO	%	167	0,5	258	< 0,8
RESISTÊNCIA 3 DIAS	Kgf/cm <sup>2</sup>	154	177	23,6	> 100
À COMPRESSÃO 7 DIAS	Kgf/cm <sup>2</sup>	155	267	18,1	> 200
( IDADE) 28 DIAS	Kgf/cm <sup>2</sup>	193	349	14,5	> 320
CALOR DE 7 DIAS	cal / g	23	78,1	7,7	
HIDRATAÇÃO ( IDADE) 28 DIAS	cal / g	23	88,3	5,9	
PERDA AO FOGO	%	212	1,13	32,7	
RESÍDUO INSOLÚVEL	%	214	0,53	39,6	
SiO <sub>2</sub>	%	214	20,5	3,4	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	202	3,58	13,3	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	202	6,31	10,8	
CaO	%	214	64,3	1,4	
MgO	%	214	0,89	38,2	< 3,5
SO <sub>3</sub>	%	600	1,99	19,6	< 3,0
CAL LIVRE	%	601	1,51	39,7	< 2,0
C <sub>3</sub> S	%	202	44,9	14,2	
C <sub>2</sub> S	%	202	24,2	22,6	
C <sub>3</sub> A	%	202	8,96	19,6	< 9,0
C <sub>4</sub> AF	%	202	11,5	11,3	

FIGURA 5.5- ENSAIOS SOBRE O CIMENTO CIMANGOLA (AMOSTRAS NAS CENTRAIS DE BETÃO)

ADJUVANTE TIPO	REQUISITO	UNIDADE	NUMERO DE AMOSTRAS	MÉDIA	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO %	LIMITE
RETARDADOR / REDUTOR DE ÁGUA	RESÍDUO SÓLIDO	mg /	118	31,1	12,2	32 to 37
	MASSA ESPECÍFICA	g / cm <sup>3</sup>	118	1,15	3,5	1,15 to 1,17
	pH		118	6,9	17,4	4 to 7
INCORPORADOR DE AR	RESÍDUO SÓLIDO	mg /	117	8,8	20,5	7,5 to 9,5
	MASSA ESPECÍFICA	g / cm <sup>3</sup>	117	1	1	1,01 to 1,02
	pH		117	12,5	6,2	11 to 13
SUPER PLASTIFICANTE	RESÍDUO SÓLIDO	mg /	16	32,2	6	32 to 37
	MASSA ESPECÍFICA	g / cm <sup>3</sup>	16	1,17	0,4	1,15 to 1,18
	pH		16	7	2,2	5 to 8

FIGURA 5.6- ENSAIOS COM ADJUVANTES, COM LIMITES RECOMENDADOS PELOS FABRICANTES

REQUISITO	UNIDADE	NUMERO DE AMOSTRAS	MÉDIA	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO %	LIMITE
O <sub>2</sub>	mg /	186	2,5	92,8	< 3
RESÍDUO SÓLIDO	mg /	181	48,4	53,7	< 5000
CLORETOS	mg /	185	3,6	66,7	< 500
SULFATOS	mg /	186	5,2	136,5	< 300
pH		186	7,6	11,8	5,8 to 8

FIGURA 5.7- ENSAIOS DE CONTROLO SOBRE A ÁGUA DE AMASSADURA

Os aços brasileiros eram expedidos para a obra com suporte dos respectivos certificados de qualidade do fabricante. Na obra, o material era amostrado conforme ABNR-NBR-7480, com carácter de Recepção, sendo o resumo dos resultados obtidos apresentados na Figura 5.8.

PROPRIEDADE	UNIDADE	CLASSE			
		CA-25 (NBR-BRASIL)	CA-50 (NBR-BRASIL)	A-30 (CUBA)	III ( ex-URSS)
TENSAO DE ESCOAMENTO	Kg/mm <sup>2</sup>	33	57	32	43
RESISTÊNCIA À ROTURA	Kg/mm <sup>2</sup>	49	85	52	66
ALONGAMENTO À ROTURA	%	25	14	22	20

FIGURA 5.8- RESUMO DO CONTROLO SOBRE AÇOS

### 5.2.2.6- Elemento de Vedação de PVC - Manta e Veda-Juntas

A manta de PVC utilizada como elemento suplementar de segurança para impermeabilização do paramento de montante foi detalhadamente estudada [6] e desenvolvida para atender as condições específicas da Barragem de Capanda. O Plano de Controlo de Qualidade

determinou a colheita de amostras de Liberação na fábrica antecedendo sua expedição à obra. Resultados na Figura 5.9

Os veda-juntas foram expedidos para a obra com suporte dos respectivos certificados de qualidade do fabricante. Adicionalmente, foram extraídas, na obra, amostras de Controle, sendo os ensaios executados pelo Laboratório da Itaipu Binacional. A frequência de colheita foi de uma amostra a cada 200 m lineares produzidos. Os resultados são apresentados na Figura 5.10.

REQUISITO	UNIDADE	NUMERO DE AMOSTRAS	MÉDIA	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO %	LIMITE
Manta de PVC					
ESPESSURA	mm	23	2,49	0,96	> 2
DUREZA	Shore "A"	23	91	0,56	
RESISTÊNCIA À ROTURA	Kgf/cm <sup>2</sup>	23	181	3,96	> 150
ALONGAMENTO À ROTURA	%	23	351	10,01	> 200
RESISTÊNCIA AO RASGAMENTO	Kgf/cm <sup>2</sup>	23	14	5,28	
RESISTÊNCIA À PRESSÃO	Kgf/cm <sup>2</sup>	23	16,3	6,47	> 14
ABSORÇÃO DE ÁGUA	%	23	0,39	4,13	< 0,5
MASSA ESPECÍFICA	g / cm <sup>3</sup>	23	1,24	0,53	1,2 to 1,3

FIGURA 5.9- RESULTADOS DO CONTROLO DAS MANTAS DE PVC.

REQUISITO	UNIDADE	NUMERO DE AMOSTRAS	MÉDIA	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO %	LIMITE
Veda - Junta de PVC					
DUREZA	Shore "A"	10	83	0,74	75 to 85
RESISTÊNCIA À ROTURA	Kgf/cm <sup>2</sup>	10	143	4,96	> 120
ALONGAMENTO À ROTURA	%	10	306	7,32	> 280

FIGURA 5.10- RESULTADOS DO CONTROLO DE VEDA- JUNTAS

### 5.2.3- Controlo de Qualidade da Produção de Betões (BCV) Convencionais

Os betões convencionais foram produzidos em duas centrais misturadoras com betoneiras tronco-cônicas basculantes, com capacidade de 3 m<sup>3</sup> por betonada. A produtividade nominal de cada central era de 120 m<sup>3</sup>/h, tendo-se entretanto registado picos de produção de 130 m<sup>3</sup>/h. O controlo de qualidade da produção dos betões convencionais foi exercido através da colheita rotineira de amostras do betão e dos seus materiais constituintes. A amostragem foi efectuada junto às próprias centrais de betão, onde foram instalados pequenos laboratórios de campo. A humidade dos agregados, para correcção da água de amassadura foi determinada a cada duas horas para os agregados miúdos e, no mínimo, duas vezes ao dia, para os agregados grossos. Sobre as amostras de betão foram executados ensaios na mistura fresca (slump, % de ar incorporado e temperatura), com o objectivo de controlar a uniformidade e possibilitar eventuais correcções e ajustes das misturas.

As moldagens de provetes Ø 15 x 30 cm para ensaios de resistência, foram efectuadas a cada 200 m<sup>3</sup> produzidos ou fracção. A cada 2.000 m<sup>3</sup>, eram moldados provetes adicionais para ensaios de módulo de elasticidade e de resistência a tracção por compressão diametral.

Os ensaios sobre o betão endurecido possibilitaram avaliar estatisticamente o atendimento aos requisitos de projecto, com base nas confianças estabelecidas e nas dispersões obtidas.

Como controlo dos equipamentos de produção, todos os doseadores eram aferidos mensalmente, ou quando as manutenções, interrupções prolongadas, ou alguma anomalia caracterizada. Foram adoptados os seguintes desvios máximos para cada doseador:

- cimento e água            1%;
- areia                         2%;
- agregados graúdos       3%;
- adjuvantes                 5%.

Como controlo preventivo, efectuava-se um “check-list” periódico do equipamento, onde se inspeccionava: condições do sistema adutor de água de amassadura; condições de armazenagem dos diversos materiais; condições do sistema de abastecimento do cimento; condições dos diversos doseadores, e condições dos misturadores.

A composição dos betões convencionais mais utilizados na barragem, bem como seus respectivos parâmetros de controlo são vistos na figura 5.11.

USADO COMO	UNIDADE	BETÃO DE FACE	BETÃO DE FACE	BETÃO DE ASSENTO	BETÃO DE ASSENTO	PLINTO
RESISTÊNCIA REQUERIDA	Kgf/cm <sup>2</sup>	120	120	120	120	160
NA IDADE	Dias	90	90	90	90	28
IDENTIFICAÇÃO		E 38 03	E 38 04	E 19 07	E 19 08	C 38 01
SLUMP	cm	5 +/- 1	5 +/- 1	14 +/- 2	14 +/- 2	5 +/- 1
AR INCORPORADO	%	4 +/- 1	4 +/- 1	4 +/- 1	4 +/- 1	4 +/- 1
COMPOSIÇÃO - DOSAGEM						
CIMENTO	Kg/m <sup>3</sup>	230	200	260	230	265
ÁGUA	Kg/m <sup>3</sup>	166	168	218	220	168
AREIA BRITADA	Kg/m <sup>3</sup>	740	840	1100	1155	675
GRAÚDO B1(19-4,8)mm	Kg/m <sup>3</sup>	560	530	695	650	560
GRAÚDO B2(38-19)mm	Kg/m <sup>3</sup>	600	570			630
RETARDADOR	Kg/m <sup>3</sup>	0,9	0,8	1	0,9	0,8
INCORPORADOR DE AR	Kg/m <sup>3</sup>	0,11	0,1	0,12	0,11	0,12
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - DADOS ESTATÍSTICOS						
AMOSTRAS AOS 3 DIAS		39	286	71	89	89
MÉDIA	Kgf/cm <sup>2</sup>	85	80	66	59	124
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	26,4	25,1	21,1	26,4	24
EFICIENCIA DA MISTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) / ( Kg/m <sup>3</sup> )	0,37	0,40	0,25	0,26	0,47
AMOSTRAS AOS 7 DIAS		45	293	72	94	91
MÉDIA	Kgf/cm <sup>2</sup>	142	128	112	103	193
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	26,8	21,1	21	25,4	19,8
EFICIENCIA DA MISTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) / ( Kg/m <sup>3</sup> )	0,62	0,64	0,43	0,45	0,73
AMOSTRAS AOS 28 DIAS		82	545	143	174	84
MÉDIA	Kgf/cm <sup>2</sup>	217	188	177	154	276
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	20,2	18	17,1	18,6	15,9
EFICIENCIA DA MISTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) / ( Kg/m <sup>3</sup> )	0,94	0,94	0,68	0,67	1,04
AMOSTRAS AOS 90 DIAS		78	433	139	150	
MÉDIA	Kgf/cm <sup>2</sup>	256	215	210	181	
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	17,6	17,3	16,7	17,1	
EFICIENCIA DA MISTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) / ( Kg/m <sup>3</sup> )	1,11	1,08	0,81	0,79	
PERMEABILIDADE	m/s	10 E-10 a 10 E-12				

FIGURA 5.11: COMPOSIÇÃO E DADOS ESTATÍSTICOS DOS BETÕES CONVENCIONAIS MAIS USADOS.

#### 5.2.4 - Controlo de Qualidade da Produção do Betão Compactado do Cilindro.

A composição e dados estatísticos das misturas dos BCC mais utilizados na barragem, bem como seus respectivos parâmetros de controlo são vistos na Figura 5.12.

##### 5.2.4.1 - Equipamentos de Produção e Aferições

Entre Outubro de 1989 e Junho de 1992 foram produzidos cerca de 650.000 m<sup>3</sup> de BCC. Para a produção do BCC, contou-se inicialmente com centrais de betão convencional (batch), as quais forneceram cerca de 150.000 m<sup>3</sup> de BCC. A partir de Maio de 1990, entraram em operação duas centrais de produção com misturadores contínuos (tipo Pug-Mill). Sendo que, cada misturador, de eixo duplo horizontal, possibilitava produções variáveis até o máximo de 120 m<sup>3</sup>/h.

Todos os agregados eram dosados gravimetricamente, mediante tapetes transportadores de velocidade variável, dotadas de medidores de rotação. Sob cada tapete doseador foram montadas pontes de pesagem com células de carga, que geravam sinais elétricos à carga de material. Um painel integrador processava as informações do variador de velocidade e da ponta de pesagem, indicando a composição instantânea na forma de vazão em massa (t/h).



Após a composição, os agregados eram conduzidos a outro tapete que, após receber o cimento, alimentava os misturadores.

TIPO DE MISTURADOR USADO PARA A PRODUÇÃO	UNIDADE	MISTURADOR TRONCO-CÔNICO		MISTURADOR CONTÍNUO	
		DADOS GERAIS			
RESISTÊNCIA REQUERIDA	Kgf/cm <sup>2</sup>	80	80	80	80
NA IDADE	Dias	90	180	90	180
IDENTIFICAÇÃO		F 76 BT	G 76 BT	(F 64 PM)-(F 76 1 B)	(G 64 PM)-(G 76 2B)
COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS DE BCC					
CIMENTO	Kg/m <sup>3</sup>	80	70	80	70
ÁGUA	Kg/m <sup>3</sup>	102	102	102	102
AREIA BRITADA	Kg/m <sup>3</sup>	1075	1085	294	348
GRAÚDO B1 (19-4,8)mm	Kg/m <sup>3</sup>	520	520		
GRAÚDO B2(38-19)mm	Kg/m <sup>3</sup>	470	470		
GRAÚDO B3(76-38)mm	Kg/m <sup>3</sup>	200	200		
AGREGADO G1 (19-0)mm	Kg/m <sup>3</sup>			1200	1240
AGREGADO G2(76/64-19)mm	Kg/m <sup>3</sup>			768	660
ENSAIOS NA MISTURA DE BETÃO FRESCO- DADOS ESTATÍSTICOS					
NUMERO DE AMOSTRAS		50	20	17	308
MASSA ESPECÍFICA - MÉDIA	Kg/m <sup>3</sup>	2415	2462	2460	2442
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	1,1	0,7	0,7	0,1
NUMERO DE AMOSTRAS		115	25	28	356
TEOR DE CIMENTO - MÉDIA	Kg/m <sup>3</sup>	77,6	68,4	82	70,2
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	6,3	5,6	10,3	9,2
DESVIO EM RELAÇÃO AO NOMINAL	Kg/m <sup>3</sup>	-2,4	-1,6	2	0,2
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO - DADOS ESTATÍSTICOS					
AMOSTRAS AOS 3 DIAS		29	17	9	66
MÉDIA	Kgf/cm <sup>2</sup>	41	38	42	40
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	19,9	25		27,7
EFICIÊNCIA DA MISTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) / (Kg/m <sup>3</sup> )	0,51	0,54	0,53	0,57
AMOSTRAS AOS 7 DIAS		48	15	9	74
MÉDIA	Kgf/cm <sup>2</sup>	62	54	67	54
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	19,1	18,8		22,9
EFICIÊNCIA DA MISTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) / (Kg/m <sup>3</sup> )	0,78	0,77	0,84	0,77
AMOSTRAS AOS 28 DIAS		53	16	9	57
MÉDIA	Kgf/cm <sup>2</sup>	86	78	93	78
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	17,2	13,1		18,1
EFICIÊNCIA DA MISTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) / (Kg/m <sup>3</sup> )	1,08	1,11	1,16	1,11
AMOSTRAS AOS 90 DIAS		141	51	26	152
MÉDIA	Kgf/cm <sup>2</sup>	100	93	115	95
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	15,9	9,3	14,9	14
EFICIÊNCIA DA MISTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) / (Kg/m <sup>3</sup> )	1,25	1,33	1,44	1,36
AMOSTRAS AOS 180 DIAS			18		13
MÉDIA	Kgf/cm <sup>2</sup>		95		111
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%		8,4		11,1
EFICIÊNCIA DA MISTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) / (Kg/m <sup>3</sup> )		1,36		1,59
CARÓTES EXTRAÍDOS DA BARRAGEM E ENSAIADOS ENTRE 128 E 223 DIAS DE IDADE - DADOS ESTATÍSTICOS					
AMOSTRAS E IDADE		48 ( de 128 a 223 dias de idade)		127 (360 dias)	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	Kgf/cm <sup>2</sup>	138		127	
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	%	19,50		24,40	
AMOSTRAS E IDADE		9 (de 361 a 419 dias de idade)			
MODULO DE ELASTICIDADE	Kgf/cm <sup>2</sup>	255000			
AMOSTRAS		8			
PERMEABILIDADE	m/s	10 E-9 a 10 E-11			

FIGURA 5.12- VALORES ESTATÍSTICOS DE CONTROLO DO BCC PRODUZIDO NAS CENTRAIS GRAVIMÉTRICAS CONVENCIONAIS (BATCH) E NAS CENTRAIS MISTURADORAS CONTÍNUAS COM DOSEADORES GRAVIMÉTRICOS (PUG-MILL)

A dosagem do cimento era realizada de forma similar a dos agregados, acrescido de um dispositivo de correcção automática. No interior dos misturadores a água era espargida por tubulação perfurada dentro dos próprios misturadores, após sua dosagem volumétrica mediante hidrômetros. No painel de comando, a composição de todos os materiais era monitorada em indicadores digitais, abaixo dos quais foram instalados potenciômetros para ajuste da velocidade do respectivo doseador.

Para aferições dos doseadores, as recomendações iniciais fixaram os mesmos desvios máximos permitidos para as centrais de betão convencional. Posteriormente, após constatações práticas e com subsídios de análises de laboratório, os desvios máximos foram estendidos para até 3% para todos os materiais. Para a aferição dos doseadores eram utilizados pesos padrões acoplados à ponte de pesagem com o doseador vazio. Operando o tapete doseador sob diversas velocidades, o painel integrador processava a calibração automaticamente. Concluída a calibração automática era realizada uma verificação directa,

pelo processo de colheita e cronometragem de amostras. Para a água, adoptava-se apenas este último processo. Como controlo sobre o equipamento de produção, efectuava-se o “check-list” de inspecção periódica, como descrito na Figura 5.1.

#### **5.2.4.2- Correção da Água de Amassadura**

A humidade dos agregados era determinada a cada duas horas para a areia artificial e para o agregado G1 e no mínimo duas vezes ao dia para os demais agregados, intercalando-se aos ensaios com os agregados, determinava-se ainda a humidade da própria mistura de BCC, na fracção peneirada na malha de 19 mm. O ensaio de humidade na fracção peneirada demonstrou maior comodidade, precisão e eficácia comparativamente ao ensaio com o betão integral, visto contemplar principalmente a fracção contendo a matriz fina, maior responsável na compacidade do BCC.

Nos estudos realizados em laboratório, a quantidade óptima de água para o BCC foi fixada em 102 kg/m<sup>3</sup>, a qual equivale um teor de humidade (em massa) no betão integral de 4,1%. Para a fracção do BCC peneirada em 19 mm, esse teor de humidade corresponde a 6,2%. Entretanto, tal humidade, medida nas centrais de betão, pôde ser praticada somente no período noturno. Observou-se que em dias mais quentes, com incidência de ventos e de baixa humidade relativa do ar, o teor de humidade do BCC peneirado necessitava ser elevado a até cerca de 8,5%, de forma a compensar a forte evaporação após o espalhamento. Ensaios sobre amostras de BCC colhidas após o espalhamento e antes da compactação subsidiaram tal elevação.

#### **5.2.4.3- Correção do Teor de Finos na Granulometria Total do BCC**

A areia artificial correspondia a cerca de 47% (em massa) do total de agregados. Conforme já citado, parte dessa areia era incorporada ao Grosso 1, ainda na central de britagem, compondo o agregado “G1”, sendo a parcela complementar de areia fornecida pelos rebitadores de finos, posicionados próximos à central de mistura contínua (Pug-Mill). Levando em conta o balanceamento das necessidades de agregados para todo o Empreendimento, além da performance da central de britagem, os equipamentos foram ajustados de modo que o teor de areia contido no agregado “G1” se enquadrasse entre 55% e 60%. A homogeneidade granulométrica do agregado “G1” exerceu forte influência no desempenho da mistura. Apesar de atitudes preventivas e correctivas, eventualmente ocorriam fugas do teor de areia nesse agregado relativamente aos limites acima. Nessas circunstâncias, as dosagens do agregado “G1” e da areia eram ajustadas, procurando-se manter a quantidade total de finos prevista na mistura teórica. Para tal, executava-se um ensaio de peneiramento simplificado no próprio laboratório de campo, utilizando a mesma amostra rotineiramente colhida para determinação do teor de humidade, após o seu arrefecimento. Determinado o teor de areia no agregado “G1”, efectuavam-se as correcções necessárias, num procedimento de cálculo algo similar ao da correcção da água de amassadura devido à humidade livre dos agregados. O processo simplificava-se com a adopção de tabelas apropriadas.

#### **5.2.4.4- Tempo de Remoldagem “VeBe Modificado”**

O ensaio de tempo de remoldagem-consistência “VeBe Modificado” foi introduzido na expectativa de monitorar a trabalhabilidade do BCC, como um indicador de desvios quanto aos teores de humidade e/ou de finos. O sufixo “modificado” deve-se a duas diferenças principais deste ensaio relativamente ao ensaio VeBe original:

- Não utilização da forma tronco-cônica, sendo o recipiente cilíndrico totalmente preenchido com o BCC no estado solto, rasando-se na superfície;

- Aplicação de uma sobrecarga de 22,7 kg sobre a mistura solta.

Procurou-se verificar a influência da não aplicação da sobrecarga nos resultados deste ensaio, efectuando-se testes sobre uma mesma amostra de BCC, o que evidenciou-se a menor dispersão nos ensaios com a sobrecarga. A prática obtida com o BCC de Capanda **NÃO** permitiu comprovar a aplicabilidade absoluta deste método, provavelmente devido à baixa plasticidade do BCC, decorrente do consumo de cimento adoptado e das características também pouco plásticas do agregado fino. Constatou-se que, a valores extremos do tempo de remoldagem-consistência, nem sempre correspondem BCC com deficiências de compacidade. Outro aspecto refere-se à avaliação subjectiva dos operadores quanto ao tempo correcto em que a pasta surge à superfície e que define o parâmetro de consistência.

#### 5.2.4.5- Teor de Cimento na Mistura Fresca de BCC

Para verificar a homogeneidade da composição de cimento, ou a eficiência dos misturadores, eram efectuados ensaios diários de reconstituição do teor de cimento na mistura fresca de BCC. Tal reconstituição era realizada mediante processo químico de titulação, determinando a quantidade de cimento indirectamente, a partir do teor de cálcio presente na amostra. O procedimento requeria uma calibração prévia, preparando, em laboratório, diversas misturas de BCC com composição de cimento variável e rigorosamente conhecida, sempre com a mesma proporção entre os diversos componentes, inclusive a água. Para cada mistura, determinava-se o volume necessário de EDTA (Etileno-Diamino-Tetra-Acetato de Sódio), para consumir todo o CaO. Sendo o volume gasto de EDTA directamente proporcional, a quantidade de CaO (e portanto de cimento) contida na mistura, estabelecia-se uma correlação linear entre esses dois parâmetros. Tal correlação era denominada padrão de calibragem do ensaio. Os dados obtidos durante o controlo através dessa determinação, são vistos na Figura 5.13, onde também são mostrados resultados obtidos em outras aplicações de BCC [7 a 10].

BARRAGEM LOCALIZAÇÃO	DOSEADOR TIPO	TEOR NOMINAL DE CIMENTO NA MISTURA Kg/m3	CONTROLES									
			TEOR DE CIMENTO			RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - DADOS ESTATI						
			MÉDIA Kg/m3	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	DESVIO DO VALOR NOMINAL (Kg/m3)	VALORES MÉDIOS - Kgf/cm2				COEFICIENTE DE VARIA		
						3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
SACO NOVA OLINDA BRASIL	VOLUMETRICO	75	53,4		-21,6		26	29	42			
	CONTINUO	70	50,4		-19,6		26	29	34			
SERRA DA MESA ENSECADEIRA - BRASIL	VOLUMETRICO CONTINUO	60 + 140	188	23,5	-6	76	142	265		31	24	17
CARAIBAS BRASIL	VOLUMETRICO CONTINUO	66	78,4	16	12,4		24	37	36		45,8	54,1
URUGUA-I ARGENTINA	GRAVIMETRICO	60	61,5	5,2	1,5		56,5	74	98		16	12
	CONTINUO	90	91,1	6,8	1,1		75	96	121		12	10
CAPANDA ANGOLA	GRAVIMETRICO	80	77,6	6,3	-2,4	41	62	86	100	19,9	19,1	17,2
	BETONADA	70	68,4	5,6	-1,6	38	54	78	93	25	18,8	13,1
	GRAVIMETRICO	80	82	10,3	2	42	67	93	115			
	CONTINUO	70	70,2	16,2	0,2	40	54	78	95	27,7	22,9	18,1

FIGURA 5.13- DADOS DE RECONSTITUIÇÃO DO TEOR DE CIMENTO DO BCC DE CAPANDA, EM COMPARACÇÃO COM O DE OUTRAS APLICAÇÕES. NOTA-SE A PROXIMIDADE DOS VALORES MEDIDOS PARA COM OS VALORES TEÓRICOS AO SE USAR DOSEADORES GRAVIMÉTRICOS

### 5.2.4.6- Reconstituição da Granulometria da Mistura de BCC

As misturas de BCC utilizadas na Barragem de Capanda foram dosadas com agregados de massa específica ao redor de  $2,65 \text{ t/m}^3$ , combinados de modo a obter-se o menor índice de vazios. Para tanto, foi adotada uma curva granulométrica de referência do tipo  $p = (d/D_{\text{máx}})^{1/3} \times 100\%$ , inicialmente para agregados com  $D_{\text{máx}} = 76 \text{ mm}$ . Para minimizar segregações, é comum ajustar a fracção graúda dessa curva, reduzindo-se ligeiramente o teor de agregados  $D_{\text{máx}} = 76 \text{ mm}$ . Alternativamente, procede-se à diminuição do próprio  $D_{\text{máx}}$  do agregado. Na obra de Capanda, optou-se pela diminuição do  $D_{\text{máx}}$  de  $76 \text{ mm}$  para  $64 \text{ mm}$ , no caso do BCC produzido pelas centrais de mistura contínua (Pug-Mill). Para o BCC produzido nas centrais de betão do tipo convencional (Batch) optou-se pela redução do teor de agregado  $D_{\text{máx}} = 76 \text{ mm}$  (Graúdo 3), não interferindo com as especificações de agregados para betões convencionais massivos de outras estruturas do Aproveitamento.

Na Figura 5.14 é mostrada a faixa granulométrica especificada para o BCC juntamente com as faixas efectivamente obtidas e suas dispersões, nas centrais de mistura por betonada e contínua. A faixa granulométrica especificada foi determinada pela equação citada antes, com pequenas adequações nas fracções menores a  $0,3 \text{ mm}$ .

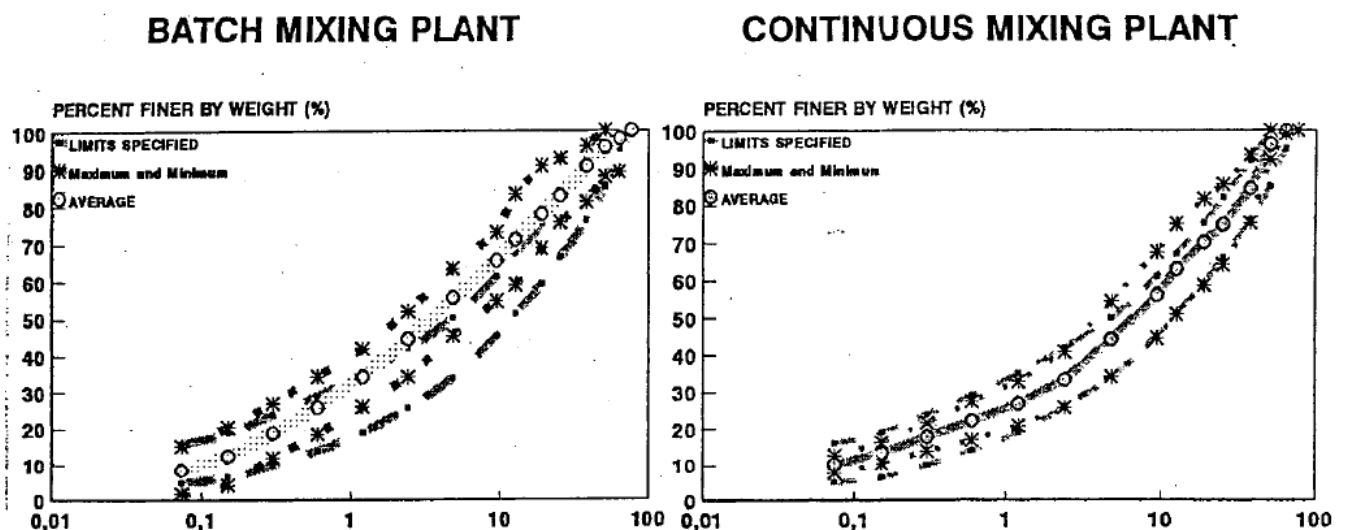


FIGURA 5.14- CURVAS GRANULOMÉTRICAS DA MISTURA DE BCC, A PARTIR DOS ENSAIOS DE RECONSTITUIÇÃO. NOTA-SE A PROXIMIDADE DOS VALORES MÉDIOS PARA COM O TEÓRICO ADOPTADO

### 5.2.4.7- Moldagem e Ensaio de Provetes Cilíndricos de BCC

A cada turno de 12 horas de serviço, ou aproximadamente a cada  $1.000 \text{ m}^3$ , moldava-se uma série de provetes cilíndricos  $25 \times 50 \text{ cm}$  com a mistura de BCC integral. O adensamento dos provetes era realizado com compactador pneumático manual, aplicando-se em quatro camadas no tempo de 25 segundos cada. Após o adensamento e rasamento dos provetes, determinava-se a massa específica da mistura fresca de BCC, no próprio laboratório de campo. Devido aos moldes metálicos serem desmontáveis e de acabamento bruto, podia-se cometer alguma imprecisão nesta determinação, face pequenas variações de volume após montagens e desmontagens. Passadas 24 horas da moldagem, os corpos eram desmoldados e encaminhados para o laboratório principal, para ensaios de resistência à compressão axial simples nas diversas idades. Foi especificado para o BCC da obra de Capanda a resistência mínima requerida-característica ( $f_{ck}$ ) de  $80 \text{ kgf/cm}^2$ , na idade de 180 dias, com um quantil deficiente de 20% (variável normal reduzida " $t$ " = 0,84). Por segurança complementar, as

avaliações iniciais de resistência se concentraram na idade de 90 dias. Os dados estatísticos obtidos são mostrados na Figura 5.12.

A Figura 5.15 mostra os coeficientes de variação obtidos no controle de BCC de Capanda em comparação com os mesmos parâmetros de outras obras, bem como com tais parâmetros de controle de betões massa convencionais (CVC) com consumo de ligante (cimento + material pozolânico) entre 84 kg/m<sup>3</sup>, utilizados nas obras de Ilha Solteira, Tucuruí, Itaipu [10 e 14]. Os parâmetros desses betões massa convencionais referem-se a um universo de aproximadamente 25.000 amostras representando ao redor de 8.800.000 m<sup>3</sup>.

Comparativamente também são apresentados na Figura 5.15, os coeficientes de variação das resistências de betões convencionais de maior uso na obra de Capanda.

A determinação da massa específica nesses provetes levou ao quadro de valores mostrados na Figura 5.17.

O desempenho qualitativo dos controles das Centrais de Betão, dos betões e operadores pode ser avaliado a partir da dispersão dos resultados de resistência a compressão obtida com os betões nelas produzidos. Da mesma forma, a qualidade da execução dos ensaios de resistência pode ser avaliada a partir da sua própria dispersão interna do controle. A dispersão interna do ensaio é avaliada a partir da diferença entre os valores individuais de resistência dos provetes de uma mesma série, rompidos na mesma idade.

Nesta análise, podem ser adoptados simultaneamente os critérios da norma ACI 214-65 - "Recommended Practice for Evaluation of Compression Tests Results of Field Concrete"[12], e da norma ACI 214-77 - "Recommended Practice for Evaluation of Strength Tests Results of Concrete"[13].

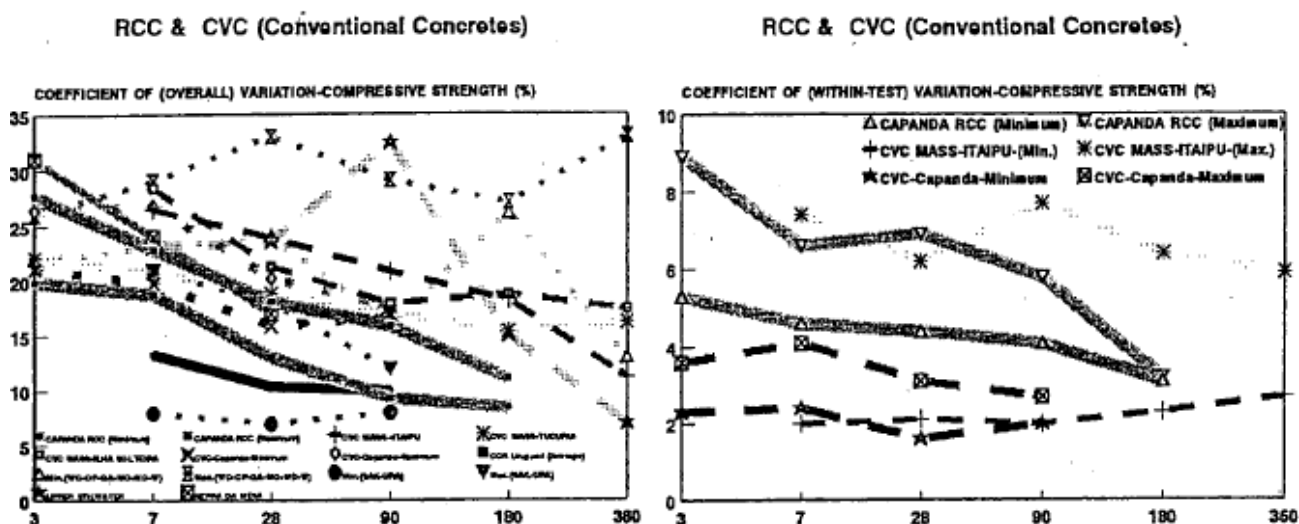


FIGURA 5.15 - DADOS DE COEFICIENTES DE VARIAÇÃO OBTIDOS NO CONTROLO DO BCC EM CAPANDA, EM COMPARACÇÃO COM VALORES DE COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DE BÊTÃOS MASSA CONVENCIONAIS E DE BCC DE OUTRAS OBRAS.

Estudos detalhados [14] em controle estatístico da qualidade do betão revelaram que o coeficiente de variação ( $V_n$ ) é um parâmetro praticamente pouco representativo para os betões com resistência média até 210 kg/cm<sup>2</sup>. Desta forma, a medida da dispersão pelo

coeficiente de variação, conforme recomendava o ACI 214-65, é mais apropriada aos betões do tipo massa com baixo consumo de ligante. Em continuidade, estes mesmos estudos revelaram que o desvio padrão permanece praticamente constante para betões com resistência superiores a 210 kg/cm<sup>2</sup>. Neste caso, a medida da dispersão a partir do Desvio Padrão, conforme recomenda o ACI 214-77, torna-se mais apropriada aos betões do tipo estrutural, ou betões de elevado consumo de ligante.

Para medida de dispersão dentro do ensaio, (ou seja, da variabilidade do processo de moldagem, manuseio, cura, capeamento e aplicação da carga de compressão nos provetes), as duas normas recomendam o Coeficiente de Variação. A Figura 5.16 apresenta os diversos padrões de controlo e seus critérios de aplicação.

PADRÕES DE CONTROLES DE BETÃO - (ACI 214 - ANTES DE MAIO/ 76)						
CLASSE DA OPERAÇÃO		COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)				
VARIAÇÃO NO UNIVERSO	ENSAIOS DE CONSTRUÇÕES GERAIS	EXCELENTE	BOM	RAZOÁVEL	POBRE	
			< 10	10 to 15	15 to 20	>20
VARIAÇÃO DENTRO ENSAIO	ENSAIOS DE DOSAGENS-LABORATÓRIO	<5	5 to 7	7 to 10	>10	
VARIAÇÃO DENTRO ENSAIO	ENSAIOS DE CONSTRUÇÕES GERAIS	< 4	4 to 5	5 to 6	> 6	
VARIAÇÃO DENTRO ENSAIO	ENSAIOS DE DOSAGENS-LABORATÓRIO	< 3	3 to 4	4 to 5	> 5	
PADRÕES DE CONTROLES DE BETÃO - (ACI 214 - APÓS DE MAIO/ 76)						
CLASSE DA OPERAÇÃO		COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)				
VARIAÇÃO NO UNIVERSO	ENSAIOS DE CONSTRUÇÕES GERAIS	EXCELENTE	MUITO BOM	BOM	RAZOÁVEL	POBRE
		< 28,1	28,1 to 35,2	35,2 to 32,2	42,2 to 49,2	> 49,2
VARIAÇÃO DENTRO ENSAIO	ENSAIOS DE DOSAGENS-LABORATÓRIO	< 14,1	14,1 to 17,6	17,6 to 21,1	21,1 to 24,6	> 24,6
VARIAÇÃO DENTRO ENSAIO	ENSAIOS DE CONSTRUÇÕES GERAIS	< 3	3 to 4	4 to 5	5 to 6	> 6
VARIAÇÃO DENTRO ENSAIO	ENSAIOS DE DOSAGENS-LABORATÓRIO	< 2	2 to 3	3 to 4	4 to 5	> 5

TABELA 5.16 - PADRÕES DE CONTROLO DA PRODUÇÃO E DOS ENSAIOS EM BETÃO [12 E 13]

### 5.2.5 - Controlo de qualidade da colocação de BCC

A metodologia do BCC tem estabelecido a conveniência de se adotar controlos adicionais na praça de lançamento, durante as etapas de lançamento e compactação.

#### 5.2.5.1 - Tratamento das juntas de Construção

Antecedendo o lançamento de BCC sobre a fundação, era efectuada a remoção de detritos de rocha solta (“chocos”), e a lavagem com água em abundância. Nas cotas mais profundas do antigo leito do rio foi necessário a execução de betão dental em diversas cavidades. Como regra geral, em todos os contactos com rocha de fundação foi aplicado betão convencional antecedendo ao BCC. Os requisitos adoptados para o tratamento das juntas horizontais entre camadas de BCC referem-se a sua limpeza superficial e a aplicação de “betão de berço”, de modo a atender as condições mínimas de aderência entre as camadas. A limpeza era executada com ar comprimido, actividade que apresenta maior rendimento com a superfície relativamente seca. Imediatamente após a limpeza, retomava-se o processo de cura, executada com aspersão de água e ar comprimido. A superfície do “betão de face” (Facing mix) era tratada para a remoção da nata de cimento. Essa actividade tinha início após o endurecimento parcial do betão.

A aplicação de “betão de berço” (Bedding Mix) era obrigatória numa faixa equivalente a 0,25 da largura da barragem na camada a executar. A jusante desta faixa, o betão de berço era aplicado sempre que o tempo de recobrimento das camadas de BCC ultrapasse 8h. A interligação entre os diversos segmentos da manta de PVC no paramento de montante constituiu tipo particular de tratamento de juntas. As mantas eram incorporadas às placas pré-moldadas, nas dimensões de 2,0m x 4,0m. A junção entre as mesmas era executada na própria barragem, mediante a colagem de uma tira também em PVC utilizando um adesivo especialmente desenvolvido para esta finalidade. Em certas condições, utilizava-se ainda o

processo clássico de vulcanização com jacto de ar aquecido. Antecedendo à colagem, as superfícies eram limpas com escovas de aço e solventes. A verificação da qualidade da colagem era efectuada durante a execução dos serviços, ou a “posteriori”, mediante a passagem de um estilete de ponta aguda.

#### **5.2.5.2 - Lançamento de Betão**

Previamente ao lançamento de uma camada, eram pintadas faixas horizontais de referência, indicando a altura da camada nos diversos elementos que definiam o seu contorno. Em camadas de grande extensão, eram empregados marcos auxiliares próximos as bordas da faixa de espalhamento. O betão de face era lançado directamente dos camiões-betoneira, que se deslocavam paralelamente ao paramento da montante. Este betão era preliminarmente adensado até atingir a altura de 40 cm, fornecendo ao operador do tractor de rastros a necessária referência de nível para o espalhamento do BCC nesta mesma altura. Para garantir a necessária interligação entre o betão de face e o BCC, o primeiro era dosado com adjuvante retardador do tempo de presa, em taxa variável conforme as condições climáticas, a extensão e às condições particulares do lançamento. O betão de berço era lançado também por camiões-betoneira, que se deslocavam em baixa velocidade enquanto um operário manobrava sua bica de descarga, procurando cobrir a maior área possível. A cobertura era completada com rodos de madeira ou metálicos, até a espessura final da ordem de 2 a 3 cm.

O transporte do BCC desde as centrais até as frentes de lançamento foi feito por camiões de 3 eixos, com capacidade de 10m<sup>3</sup>. De outra maneira utilizou-se, também, um tapete transportador desde as centrais misturadoras até um silo de transferência que alimentava dois tubos próximos a vertical, ancorados no talude de rocha, que descarregavam o BCC sobre os camiões localizados desde 45m abaixo, na frente de lançamento. O lançamento do BCC era executado em camadas de aproximadamente 45 cm de espessura solta, que resultava em 40 cm após a compactação.

Nos dias mais quentes e de vento, era necessária a aspersão de água mesmo antes da compactação, de modo a compensar o ressecamento superficial devido a evaporação. Os lançamentos de todos os betões era efectuada com a superfície o mais próximo possível da condição de “saturada com superfície seca”.

#### **5.2.5.3 - Controlo de Compactação das Camadas de BCC**

Para a compactação do BCC foram empregados basicamente dois tipos de cilindro: Cilindro Vibratório liso com dois tambores de 15t de peso estático e; Cilindro Vibratório de um tambor com 10t de peso estático e 31t de impacto dinâmico, sob frequência de 1.770 rpm.

A densidade do BCC das camadas compactadas pode ser determinada através de vários procedimentos. Entretanto, é prudente que o procedimento adoptado possibilite não só a determinação do valor da densidade, como também uma eventual acção complementar ou correctiva da operação de compactação com base no resultado obtido. Desta forma a rapidez e a segurança do processo tem importância fundamental. Na obra de Capanda, utilizou-se o controlo da compactação através do densímetro nuclear.

#### **5.2.6 - Resistência a Compressão a partir de testemunhos Extraídos**

Uma das etapas finais do controlo de qualidade planeado para Capanda era a obtenção da resistência do BCC a partir de ensaios executados sobre testemunhos extraídos do próprio maciço da barragem. Tendo em vista a adequação da época de extracção dos testemunhos, a tipologia do betão e a idade de controlo não foi possível padronizar as idades de ruptura dos

testemunhos, devido a sua cronologia de extracção. Os valores foram obtidos em testemunhos com idades de 128 a 223 dias e são mostrados nas Figura 5.12 e 5.17.

COMPARAÇÃO DOS VALORES DE MASSA ESPECÍFICA (DENSIDADE) OBTIDOS À VÁRIAS PROFUNDIDADES				
PROFUNDIDADE (cm) DA CAMADA	NÚMERO DE AMOSTRAS	DENSIDADE MÉDIA (Kg/m <sup>3</sup> )	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)	GRAU DE COMPACTAÇÃO REFERENTE AO NOMINAL
0 to 10	40	2419	0,8	98,86%
0 to 20	40	2421	0,4	98,94%
0 to 30	40	2413	0,3	98,61%
CONTROLO DE COMPACTAÇÃO A CADA CAMADA				
TOTAL DE BCC VOLUME (m <sup>3</sup> )	NUMERO DE AMOSTRAS	DENSIDADE MÉDIA (Kg/m <sup>3</sup> )	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)	GRAU DE COMPACTAÇÃO REFERENTE AO NOMINAL
650.622	5240	2412	0,5	98,57%
CONTROLO DA MISTURA FRESCA DE BETÃO				
TOTAL BCC VOLUME (m <sup>3</sup> )	NÚMERO DE AMOSTRAS	DENSIDADE MÉDIA (Kg/m <sup>3</sup> )	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)	GRAU DE COMPACTAÇÃO REFERENTE AO NOMINAL
650.622	395	from 2415 to 2462	from 0,1 to 1,1	from 98,69 % to 100,6%
CONTROLO DA COMPACTAÇÃO NA INTERFACE DOS BETÕES DE FACE E BCC				
VALOR NOMINAL DO BETÃO DE FACE	NÚMERO DE AMOSTRAS	DENSIDADE MÉDIA (Kg/m <sup>3</sup> )	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)	GRAU DE COMPACTAÇÃO REFERENTE AO NOMINAL
2303 Kg/m <sup>3</sup>	92	2364	3,7	96,61%
COMPARAÇÃO DA DENSIDADE OBTIDA PELAS VÁRIAS METODOLOGIAS DE ENSAIO				
MÉTODO DE ENSAIO	NÚMERO DE AMOSTRAS	DENSIDADE MÉDIA (Kg/m <sup>3</sup> )	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)	GRAU DE COMPACTAÇÃO REFERENTE AO NOMINAL
VOLUME DE ÁGUA	16	2470	2,3	100,94%
DENSIMETRO NUCLEAR	16	2413	0,3	98,61%
VOLUME DE AREIA	45	2408	0,3	98,41%
DENSIMETRO NUCLEAR	45	2410	0,2	98,49%
COMPARAÇÃO DOS VALORES DE DENSIDADE OBTIDAS NOS CAROTES NAS DIREÇÕES HORIZONTAL E VERTICAL				
DIREÇÃO DA CAROTAGEM	NÚMERO DE AMOSTRAS	DENSIDADE MÉDIA (Kg/m <sup>3</sup> )	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)	GRAU DE COMPACTAÇÃO REFERENTE AO NOMINAL
VERTICAL	103	2418	0,9	98,81%
HORIZONTAL NO TOPO	21	2446	0,7	99,96%
HORIZONTAL NA BASE	19	2355	0,7	96,24%

FIGURA 5.17- DADOS ESTATÍSTICOS DA DENSIDADE, OBTIDOS NO CONTROLO DE COMPACTAÇÃO

### 5.2.7- Instrumentação e Auscultação

A instrumentação planeada para a auscultação da obra pode, também, auxiliar no Controlo durante a execução da obra.

## 6 - SEGURANÇA

O Fiscal deve observar as práticas de segurança do trabalho, prevendo possíveis pontos de perigo.

## 7 - RELATÓRIOS

Durante o correr da obra devem ser feitas anotações e relatório informando e interpretando estatisticamente os resultados do controlo.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]- Andriolo, F.R.; Sgarboza, B.C. - "Inspeção e Controlo de Qualidade do Betão"- CBPO-Newswork - 1993;
- [2]- Hansen, K.D.; Reinhardt, W. G. - "Roller Compacted Concrete Dams"- McGraw-Hill, Inc-1991;
- [3]- Tavares, M.; Schmidt, M. T.; Resende, F. D.; Fontoura, P. A. F.; Andriolo, F. R. - "Capanda - Angola - Hydroelectric Development - Quality Control of Materials and Conventional and Roller Compact Concrete" - International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams - Santander - Spain - October/1995;



- [4]- Krempel, A. F.; Crevilaro, C. C.; Holanda, F. G. - "Jordão River Derivation Dam". Quality Control Plan for Materials and Concrete (BCC and Conventional)" - International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams - Santander - Spain - October/1995.
- [5] F.R.Andriolo, J.A.Braga, M.R.Zanella, J.M.Zaleski: "Uso do Concreto Rolado; Projeto Capanda-Angola; Ensaios Especiais"- XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens-Aracaju-Brazil-1991
- [6] F.R.Andriolo:"Desenvolvimento de Mantas de P.V.C.: Opção Técnica e Econômica Para Impermeabilização de Barragens"- XIX Seminario Nacional De Grandes Barragens-Aracaju-Brazil-1991
- [7] S.P.Rezende, L.H.Carvalho, J.T.Quin: "Inspeção e Controle da Construção da Barragem Saco Nova Olinda - PB"-XVIII Seminario Nacional De Grandes Barragens-Foz de Iguacu-Brazil-1989
- [8] J.T.Quin, L.H.Carvalho, S.P.Rezende: "Construção da Barragem Saco Nova Olinda-Pb" - XVIII-Seminario Nacional de Grandes Barragens-Foz de Iguacu-Brazil-1989
- [9] A.C.M.Mode, E.G.Dias, J.B.M.Carmo, J.F.Farage, J.V.Silva, J.T.F.Fontoura, N.G.Graca, W.Pacelli A.: "Construção E Controle do Concreto Compactado a Rolo Para as Ensecadeiras Galgáveis da Usina da Serra da Mesa - Aproveitamento Hidroelétrico de São Felix" - XVIII Seminario Nacional De Grandes Barragens - Foz do Iguacu-Brazil-1989
- [10] M.A.Golik, F.R.Andriolo: "Urugua-I (CCR) Controle de Qualidade do Concreto Lançado no Tramo Principal da Barragem" - XVIII Seminario Nacional de Grandes Barragens-Foz de Iguacu-Brazil-1989.
- [11] Relatório C-09/89 - Itaipu Binacional: "Estudo de Aditivos Para Concreto-Projeto Capanda (Angola)".
- [12] - ACI 214-65 - "Recommended Practice For Evaluation Of Compression Tests Results Of Field Concrete"
- [13]- ACI 214-77 - "Recommended Practice For Evaluation Of Strength Tests Results Of Concrete".
- [14]- Relatório -C-06/80 - "Análise dos Parâmetros de Resistência dos Concretos Massa das Estruturas Principais de Itaipu - Fevereiro de 1979- Itaipu Binacional - BRAZIL / PARAGUAY.