

III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO

COM ROLO



22 A 25 DE NOVEMBRO DE 1998
FOZ DO IGUAÇU - PR



anais

Barragem de CCR Salto Caxias – Controle
de Qualidade dos Materiais e do CCR

FOZ DO IGUAÇU - PR - BRASIL - 1998

Barragem de CCR Salto Caxias – Controle de Qualidade dos Materiais e do CCR

Oliveira, Luiz Fernando P.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia - Brazil

Moser, Douglas Emerson

COPEL - Companhia Paranaense de Energia – Brazil

Mussi, Jorge Murad P.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia - Brazil

Andriolo, Francisco Rodrigues

Engenheiro Consultor- Brazil

Resumo

Os dados obtidos no controle de qualidade dos materiais e CCR durante a construção da Barragem de CCR no Aproveitamento Hidrelétrico de Salto Caxias, no Estado do Paraná, são apresentados nesta publicação.

Durante a construção a COPEL foi a responsável pela supervisão e execução do Plano de Controle de Qualidade. Os dados obtidos são apresentados, e o baixo teor de aglomerante, bem como os pequenos coeficientes de variação são citados, evidenciando que um alto grau de uniformidade e qualidade foram obtidos.

1- APRESENTAÇÃO

Durante a execução de aproximadamente 950.000m³ de CCR no Barramento (Barragens e corpo do Vertedouro) da UHE de Salto Caxias, vários desenvolvimentos e adaptações foram feitos no Controle de Qualidade dos Materiais e Concreto.

Sistema de Controle de Qualidade estabelecido para a obra de Salto Caxias praticamente pode ser dividido em dois períodos, dentro dos quais vários procedimentos foram modificados e aprimorados.

No transcorrer do período de construção desde o final de 95 até meados de 98 o

Foram desenvolvidos 42 Procedimentos Operacionais Padrão- “POP” de modo a disciplinar e orientar ações.

Os dois períodos básicos que podem ser diferenciados nos controles englobaram:

Período	Época	Volume de CCR Aplicado
Inicial	II/96 a V/96	111.200
Final	VI/96 a VI/98	834.400
Global	II/96 a VI/98	945.600

No Período Inicial procurou-se adequar as equipes, avaliar e se adaptar as dificuldades operacionais.

No Período Final, mais longo e com maior volume aplicado foram implementados procedimentos e ações que resultaram em melhorias nos resultados dos controles.

Essas adaptações e implementações se procederam em 3 Grupos Básicos que se descrevem a seguir.

2- ENSAIOS PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DO CCR

Foram estabelecidos “POPs”- Procedimentos Operacionais Padrão, para os diversos ensaios que se citam, visando disciplinar, orientar e uniformizar as ações e rotinas.

Foram considerados os seguintes ensaios:

- ♦ Consistência VeBe (sem Peso);
- ♦ Umidade do CCR pelo método do fogareiro;
- ♦ Umidade do CCR pelo método “DMA”;
- ♦ Densidade através da compactação na mesa VeBe;
- ♦ Granulometria e Módulo de Finura da mistura de CCR;
- ♦ Teor de cimento do CCR pelo método do calor de neutralização;
- ♦ Curva granulométrica, Módulo de Finura, Material Pulverulento, Absorção, e Densidade dos agregados nas faixas individuais;

- ♦ Densidade do corpo de prova de CCR endurecido;
- ♦ Densidade, umidade e grau de compactação do CCR na frente de lançamento, através do Densímetro Nuclear;
- ♦ Temperatura do CCR (Pré-refrigerado) da face de montante
- ♦ Resistência a compressão axial simples e tração por compressão diametral de corpos de prova;
- ♦ Características dos testemunhos extraídos da barragem- Densidade, Resistências, Absorção, Módulo de Elasticidade, Tração Direta e por Compressão Diametral.

3- PROCEDIMENTOS COMPLEMENTARES E AUXILIARES AO CONTROLE

Foram, também, estabelecidos “POPs”- Procedimentos Operacionais Padrão, para os as rotinas complementares e auxiliares, considerando:

- Aferição da central de produção e controle das anomalias que provocavam sua desafição;
- Correção dos teores (consumos) do CCR, com o controle da umidade dos agregados;
- Controle do teor de cimento, e dos desajustes na central que provocavam sua variação;
- Controle do teor de água e dos desajustes que provocavam sua variação;
- Controle dos dispositivos bloqueadores de segregação;
- Controle da operação dos Softwares e Hardwares de comando da central de produção;
- Controle da velocidade do rolo compactador e número de passadas;
- Controle da transmissão da compactação para as camadas inferiores;
- Controle de perda de água da mistura de CCR entre a produção e a compactação
- Controle estatístico dos dados de ensaios dos corpos de prova de CCR, resistência, evolução com a idade, Coeficiente de Variação;

- Controle estatístico dos dados dos ensaios de controle de uniformidade do concreto fresco;
- Controle estatístico dos dados dos ensaios na frente de lançamento através do densímetro nuclear;
- Controle sobre a aplicação da argamassa sobre a superfície da junta de construção;
- Controle sobre o intervalo entre mistura (na Central de Concreto) e compactação;
- Controle sobre a espessura das camadas
- Controle sobre o tratamento da superfície das juntas de construção;
- Verificação da temperatura do maciço de CCR, através de termômetros instalados;
- Verificação do deslocamento de juntas de contração, através de extensômetros de junta instalados no CCR;
- Verificação de pressões no maciço através de piezômetros instalados no CCR.

4- AÇÕES SOBRE EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E ADAPTAÇÕES

Foram, ainda, estabelecidos “POPs”- Procedimentos Operacionais Padrão, para as ações e equipamentos, considerando:

- Adaptações de chutes de descarga para evitar a segregação na saída dos misturadores;
- Uso de correias com reversão de direção para evitar segregação;
- Controle do teor de material pulverulento e absorção da areia artificial através da manutenção de proporções entre os diferentes tipos de basalto;
- Utilização e calibração de diferentes tipos de aparelho “DMA”;
- Utilização de tratores com aspersores do tipo agrícola para a cura do CCR na barragem;
- Controle da compactação com enfoque para a uniformidade na base da camada;
- Utilização de areia artificial com 18% de material pulverulento, tanto para o CCR, quanto para o CCV da face de montante.



Figura 01- Adaptação no chute de descarga na saída dos misturadores para minimizar a segregação



Figura 02- Trator com aspersor agrícola, adaptado para a cura.

5- DADOS SOBRE O CONTROLE DOS MATERIAIS

Com base nos procedimentos adotados foram observados os seguintes parâmetros estatísticos nos controles sobre os materiais:

Período/ Avaliação	Inicial	Final	Global
Granulometria -Variação do Módulo de Finura	Areia = 6,6% Brita 25= 3,4% Brita 50= 2,7%	Areia = 5,1% Brita 25= 2,5% Brita 50= 0,9%	Areia = 5,6% Brita 25= 3,2% Brita 50= 1,7%
Coeficiente de Variação da Absorção	Areia = 28,9%	Areia = 23,1% Brita 25=27,3% Brita 50=36,5%	Areia = 27,3% Brita 25=27,3% Brita 50=36,5%
Coeficiente de Variação dos Finos (< 0,075mm)	Areia = 13,7% Brita 25=45,3% Brita 50=53,3%	Areia = 7,4% Brita 25=28,1% Brita 50=33,5%	Areia = 9,5% Brita 25=37,5% Brita 50=48,2%
Coeficiente de Variação da Densidade dos Agregados	Areia = 1,5%	Areia = 1,1% Brita 25= 2,5% Brita 50= 1,9%	Areia = 1,4% Brita 25= 2,5% Brita 50= 1,9%

Figura 03- Dados estatísticos dos controles sobre materiais

6- DADOS DOS CONTROLES SOBRE A MISTURA FRESCA DE CCR

A partir dos ensaios sobre a mistura fresca, pode-se observar os seguintes parâmetros:

Período/ Avaliação	Inicial	Final	Global
Coeficiente de Variação da Consistência	13%	21,1%	20,3%
Coeficiente de Variação do teor de cimento	12,4%	4,8%	5,8%
Coeficiente de Variação da Umidade-central-fogareiro	9,2%	5,4%	5,9%
Coeficiente de Variação da Umidade-central-DMA	N/D	1,9%	1,9%
Coeficiente de Variação da Densidade na mesa VeBe	3,5%	2,1%	2,3%
Coeficiente de Variação da Densidade-Campo	2,13%	1,53%	1,68%

Figura 04- Dados estatísticos dos ensaios sobre a mistura fresca de CCR

Coeficiente de Variação da Densidade-testemunhos	1,89%	1,77%	1,78%
--	--------------	--------------	--------------

Figura 05- Dados de densidade dos testemunhos CCR

Dentre os fatores que contribuíram para a redução do Coeficiente de Variação da resistência do CCR, pode se destacar a redução da variação do teor de cimento e do teor de água na produção.

A variação do teor de cimento foi reduzida principalmente pelo controle de desaferição da balança de cimento, não apenas através da execução de ensaios de teor de cimento, como também pela implantação de rotina de ações redutoras de desaferições, como por exemplo a limpeza das correias e da balança sempre que detectado acúmulo de material, e no mínimo três vezes por turno, monitoramento e regulagem dos roletes, monitoramento e regulagem das abas da "mantegueira", aferição da balança regularmente (sem interromper a produção) e ação corretiva e interrupção da produção quando detectado no ensaio do teor de cimento (método australiano), variação do teor de cimento acima do limite desejado.

A variação do teor de água foi reduzida essencialmente pelo controle mais rigoroso sobre a variação da umidade dos agregados (areia, brita 25 e brita 50mm), em média um ensaio (Fogareiro) a cada 15 a 20 minutos (um colaborador fazendo ensaio em tempo integral), além da ação corretiva e até interrupção da produção quando o teor de água, obtido do ensaio DMA, estivesse fora do limite de variação desejado.

Da variação do teor de água e do controle sobre os agregados era de se esperar a redução da variação da consistência, o que pode se notar ao longo do tempo dentro do período final. Entretanto a análise foi prejudicada pelo fato de se ter implantado juntamente com as ações a utilização de

VeBe sem peso no lugar do com o peso, visando a melhoria da acuracidade do método. Pela maior subjetividade do método do VeBe com peso (faixa de variação menor) o valor obtido estava mais inter-relacionado com a subjetividade do observador, o que reduzia sua representatividade.

A redução da variação da densidade compactada na mesa VeBe, também é fruto da redução da variação das características dos agregados e teor de água.

Da comparação entre resultados dos ensaios realizados na central e no campo, da experiência adquirida em ensaios e no próprio controle da produção pode se notar que:

- ensaio de consistência VeBe no controle da produção apesar de extremamente útil e eficaz na determinação da consistência, não permite uma precisão suficiente para tomada de ações imediatas quanto ao controle do teor de água individual. Principalmente visando a redução do coeficiente de variação da resistência para patamares semelhantes ao CCV;
- O mesmo pode se concluir para o ensaio de fogareiro em que a também a variação inerente ao próprio ensaio não permite uma precisão maior.

O método DMA entretanto apresenta precisão suficiente para tanto, uma vez que um valor apenas já é suficiente para detectar variações e tomar atitudes imediatas.

Da comparação da variação do teor de água do Fogareiro com o DMA se torna evidente a menor variação do primeiro para o mesmo período de análise.

É importante, entretanto, manter os dois primeiros, Fogareiro e VeBe, como ensaios auxiliares no controle do teor de água, uma vez que como o ensaio DMA se baseia em calibrações, pode apresentar, caso sofra alguns danos, alteração de calibração, que é facilmente detectada na comparação entre os três ensaios. Mesmo porque em termos absolutos, na análise da média de um número

maior de amostras, os três métodos tendem ao mesmo resultado, tendo os dois primeiros apenas uma nuvem de variação maior.

O mesmo é válido para o ensaio de determinação da densidade da mesa VeBe em que se pode notar uma variação maior que a do ensaio com o Densímetro, no campo, o que não pode condizer com a realidade uma vez que são efetuados no mesmo material, sendo que a densidade VeBe não sofre a ação dos efeitos entre lançamento e compactação, como temperatura ambiente, tempo de exposição etc....

A redução da variação da densidade no campo medida pelo Densímetro nuclear, se deveu principalmente pela maior homogeneidade da camada e pela melhoria de controle da trabalhabilidade do CCR na central de concreto. Sendo a melhoria da homogeneidade devida a mudança de conceito de controle.

No período inicial se procedeu o controle com base na busca de 97% para o grau de compactação médio na camada. Já no segundo período buscou-se atingir grau de compactação na subcamada inferior de 97%. O que se tornou possível atingindo um grau de compactação médio de 98,5% na camada.

A redução da variação de trabalhabilidade na central de concreto se deveu aos fatores já citados nos demais itens, sendo o mais influente o controle sobre a variação do teor de água na central.

7- DADOS DOS CONTROLES SOBRE OS ENSAIOS NO CCR ENDURECIDO

De mesma maneira pode-se observar, a partir dos ensaios sobre os corpos de prova moldados com o CCR, os seguintes parâmetros:

A variação da resistência foi reduzida em face das ações de controle, como as citadas nos itens anteriores. A variação média obtida

ainda engloba os períodos de transição. Além de conter um acréscimo de variação gerado pela variação da resistência em todas as idades com a temperatura ambiente.

Período/ Avaliação	Inicial	Final	Global
Coefficiente de Variação da Densidade nos corpos de prova	N/d	1,15	1,15
Coefficiente de Variação da Resistência Média –7 dias	25,4%	19,3%	20,0%
Coefficiente de Variação da Resistência Média –28 dias	27,2%	17,4%	18,6%
Coefficiente de Variação da Resistência Média –90 dias	18,8%	16,0%	16,3%
Coefficiente de Variação da Resistência Média –180 dias	21,1%	14,5%	15,3%
Coefficiente de Variação da Resistência Média –365 dias	23,3%	13,7%	14,8%

Figura 06- Dados estatísticos dos ensaios sobre os corpos de prova do CCR endurecido

Coefficiente de Variação da Resistência Média – 480 dias	31,0%	21,6%	22,7%
--	-------	-------	-------

Figura 07- Dados estatísticos dos ensaios sobre os testemunhos extraídos

Pela Figura 08, pode se notar que chegou-se a atingir Coeficientes de Variação mensais até inferiores a 10%. Sendo os coeficientes de variação mensais mais comuns entre 11 e 13%.

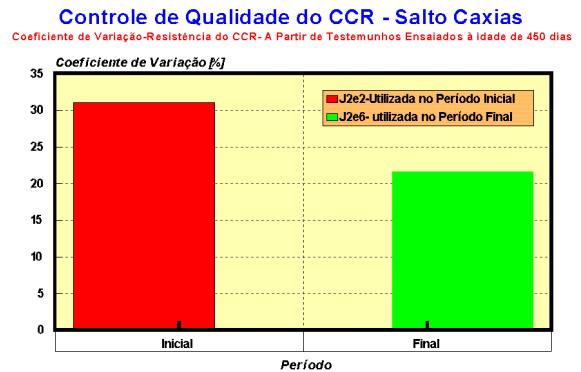


Figura 07a- Dados Estatísticos dos coeficientes de variação das resistências obtidas sobre os testemunhos extraídos na Barragem.

Controle de Qualidade - Resistências - Salto Caxias

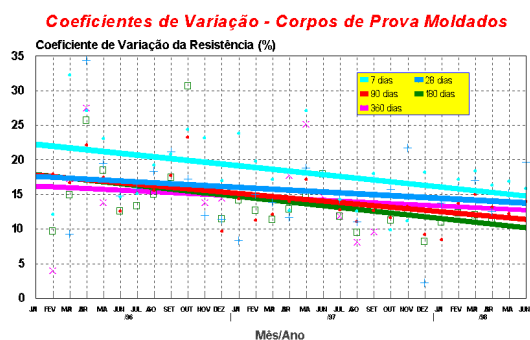


Figura 08a- Evolução mensal dos Coeficientes de Variação nas várias idades de controle

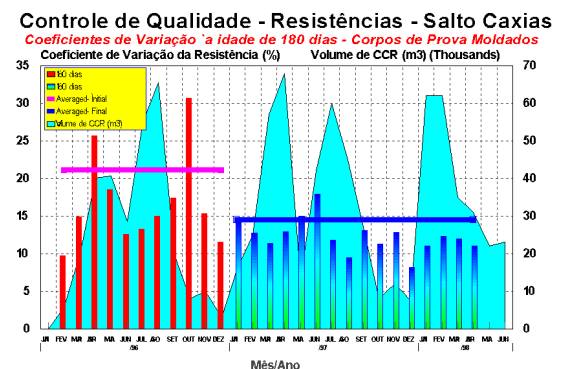


Figura 08b- Coeficientes de Variação (acumulado) das resistências na idade de 180 dias, para os dois períodos- inicial e final.

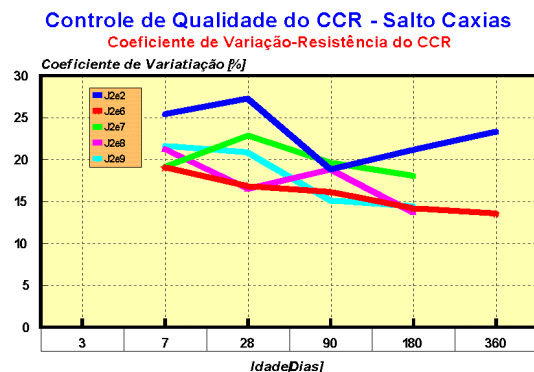


Figura 09a- Redução dos coeficientes de variação das misturas utilizadas nos vários períodos

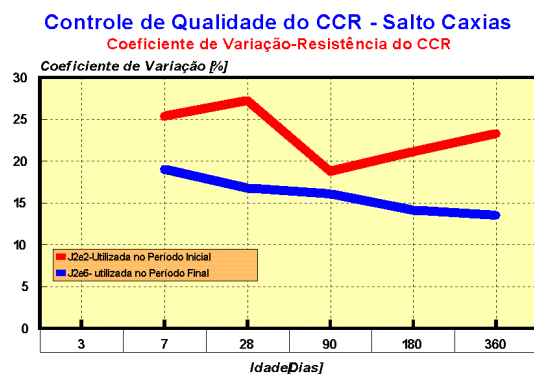


Figura 09b- Comportamento dos Coeficientes de Variação das misturas representativas mais utilizadas em cada um dos períodos

Estes valores são bastante próximos aos do ccv de montante, cujo coeficiente de variação na idade de controle, ponderado para todos os traços na idade de controle, após as ações de controle, reduziu-se para até 11,9%, para as rupturas até então já realizadas.

8- ANÁLISE DOS DADOS DOS CONTROLES COMPARATIVOS AOS DE OUTRAS OBRAS

De maneira comparativa pode-se avaliar o desempenho dos Controles efetuados em Salto Caxias com algumas obras [1 e 2] em CCR, considerando os parâmetros globais de

Coeficientes de Variação que podem ser vistos na Figura 10 bem como a comparação da evolução de resistência mostrada na Figura 11.

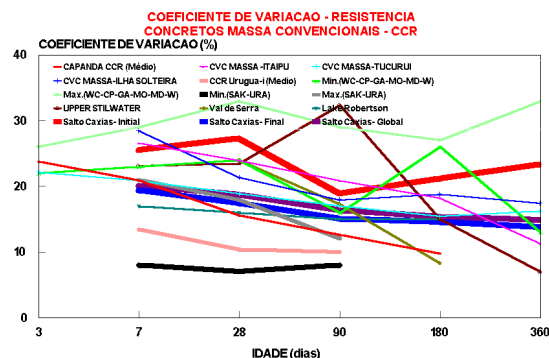


Figura 10- Coeficientes de variação da resistência - comparativo de várias obras em CCR, e de 3 grandes obras de CVC Massa

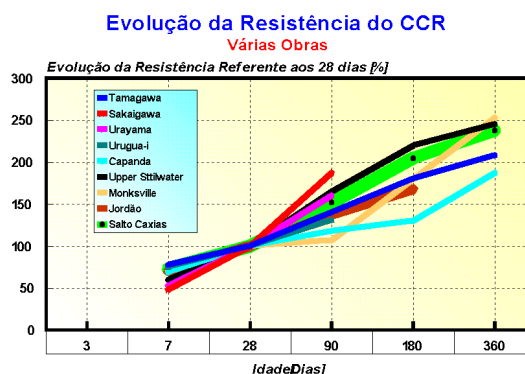


Figura 11- Evolução da Resistência-comparativo de várias obras em CCR

10- REFERÊNCIAS

- [1]- Andriolo, Francisco R. "THE USE OF ROLLER COMPACTED CONCRTE"- Oficina de Textos- São Paulo-SP, 1998;
- [2]- Andriolo, Francisco R.; Sgarboza Bento C. "INSPEÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO"- NewsWork Editora- São Paulo-SP, 1993;
- [3]- Relatórios COPEL- Não Publicados.