



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GGH - 27
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO I
GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO EXECUTIVO DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR)

– A EXPERIÊNCIA DA COPEL –

Luiz Fernando Prates de Oliveira *
COPEL

Jorge Murad Possebon Mussi
COPEL

Douglas Emerson Moser
LACTEC

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é apresentar um breve histórico do desenvolvimento do método executivo de Concreto Compactado com Rolo (CCR) na execução de barragens a partir da experiência obtida pela COPEL, nos últimos 10 anos e na execução de cerca de 2,5 milhões de m³ em CCR, com a construção das barragens da Derivação do Rio Jordão (rio Jordão-PR), da UHE Salto Caxias (rio Iguaçu-PR), da UHE Dona Francisca (rio Jacuí-RS) e de UHE Santa Clara (rio Jordão-Pr).

PALAVRAS-CHAVE

Concreto Compactado a Rolo, CCR, Barragem.

1.0 - INTRODUÇÃO

“A técnica do CCR já está consagrada para a construção de barragens e representa, provavelmente, o mais importante desenvolvimento da tecnologia de construção de barragens dos últimos 50 anos” KUPERMAN(1996) - referência [1].

Concreto Compactado a Rolo (CCR) é uma tecnologia executiva caracterizada principalmente pelo uso de rolos compactadores para o adensamento do concreto. Não se trata de um novo material ou critério de projeto, mas sim uma metodologia que utiliza concreto de consistência “*no-slump*” que pode ser transportado, lançado e compactado utilizando equipamentos usuais em obras em aterros (enrocamento e terra) ou em obras rodoviárias. As barragens de CCR são tratadas, em termos de desempenho de projeto, tais como barragens de concreto convencional a gravidade, diferindo-se destas apenas pelo método executivo.

Existem registros de obras que se valeram de metodologias executivas como CCR desde os anos 60, no entanto considera-se que o conceito de CCR como um método executivo nasceu, ou pelo menos teve grande impulso, na Conferência da ASCE em Asilomar - Califórnia, EUA, em março de 1970 [2]. A maioria das obras em CCR foram construídas a partir da década de 80, incluindo as primeiras importantes obras internacionais tais como Shimajigawa, no Japão (1980) e Willow Creek, nos EUA (1982).

No Brasil, o CCR é utilizado desde meados da década de 70 em obras provisórias ou auxiliares, como por exemplo, em ITAIPU (26.000 m³), SÃO SIMÃO (40.000m³), TUCURUÍ (12.000m³), TRÊS MARIAS (14.600m³). A primeira barragem brasileira em CCR foi SACO DE NOVA OLINDA (138.000m³), realiza em 1986, para fins, principalmente de irrigação [2].

O marco básico para a consolidação do emprego do CCR no Brasil se deu através de Concorrência Internacional, realizada pela COPEL em 1993, para as obras da Derivação do Rio Jordão [3]. Nessa concorrência a COPEL

*Rua José Izidoro Biazetto, 158 - Bloco A - CEP 81200-240 - Curitiba - PR - BRASIL
Tel.: (041) 310-5602 - Fax: (041) 331-2471 - e-mail: prates@copel.com

colocou em cotação, para a mesma Obra a menor custo, duas versões do projeto: Barragem de CCR ou Barragem de Enrocamento com Face de Concreto, sendo que o Proponente deveria optar por apenas uma das alternativas. Apresentaram proposta, 14 proponentes, sendo que 8 optaram pela solução em CCR e os três primeiros menores preços foram para a opção em CCR [4]. Com o ineditismo da COPEL, pôde-se confirmar e desmistificar a aceitação pelo mercado e a viabilidade técnico-econômica da solução em CCR para empreendimentos de grande porte. Na década de 90 houve grande avanço no uso do CCR consolidando a prática e a experiência do método no Brasil.

Assim, a primeira obra realizada pela COPEL em CCR foi a barragem da Derivação do rio Jordão (547.000m³) entre os anos de 1994 e 1996, obra integrante do projeto da UHE Segredo (atual UHE Ney Braga).

Após a execução da barragem da derivação do rio Jordão, a COPEL participou da implantação da barragem da UHE Salto Caxias (945.000m³), da barragem da UHE Dona Francisca (484.000m³) e a barragem da UHE Santa Clara (486.000m³), o que totalizou 2.462.000 m³ executados em cerca de 10 anos de utilização do CCR, e atualmente, está em execução a barragem da UHE Fundão (150.000m³). As principais características destes empreendimentos constam na tabela a seguir:

TABELA 1 -Quadro Resumo das principais características das obras

USINA	RIO	Município Estado	Potência Instalada MW	Energia Assegurada MWmed.	Nº de Unidades	Entrada em Operação	Reservatório		
							Volume 10 ⁶ m ³	Nível Max.	Área km ²
Derivação do Rio Jordão	Jordão	Reserva do Iguaçu/PR	6,5 (PCH)	5,85 (PCH)	1 x 6,5MW (PCH)	02/12/97	108	610	3,47
Salto Caxias	Iguaçu	Cap. Leônidas Marques/PR	1.240	605	4 x 310MW	18/02/99	3.573	325	144,2
Dona Francisca	Jacuí	Agudo/RS	125	78	2 x 62,5MW	05/02/01	62,8	100,5	22,3
Santa Clara	Jordão	Pinhão/PR	120 (Usina) + 3,4 (PCH)	69,6 (Usina) + 2,85 (PCH)	2 x 61MW + 1 x 3,4MW (PCH)	31/07/05 (previsão)	431,22	805	20,15
Fundão	Jordão	Foz do Jordão/PR	120 (Usina) + 2,5 (PCH)	65,8 (Usina) + 2,23 (PCH)	2 x 61MW + 1 x 3,4MW (PCH)	01/07/06 (previsão)	34,49	705,5	2,15

O presente trabalho pretende apresentar o desenvolvimento do método executivo do CCR, através da experiência da COPEL nestes empreendimentos. O escopo do trabalho limitar-se-á às práticas executivas e as dosagens de CCR naquilo que afeta a qualidade e a economicidade do CCR e que foram vivenciadas pelos autores.

Deve-se ressaltar que o desenvolvimento do método executivo do CCR objetivado pela COPEL, parte da premissa que para a execução de maciços em CCR de barragens os aspectos relevantes estão associados à estabilidade, estanqueidade e durabilidade, como citado por KAMEL(1996) – referência [5], assim como são relevantes os aspectos relacionados à produtividade e economicidade do método.

2.0 - BARRAGEM DA DERIVAÇÃO DO RIO JORDÃO

Desde os primeiros estudos realizados para o aproveitamento hidrelétrico de Segredo (atual UHE Gov. Ney Braga) no rio Iguaçu, foram consideradas as águas do Rio Jordão como integrantes do projeto. Foi adotada a solução para o projeto da Usina Hidrelétrica de Segredo já com motorização suficiente para absorver as vazões do Rio Jordão, que seriam incorporadas ao seu reservatório mediante a construção de uma barragem e de um túnel de interligação entre os rios Jordão e Iguaçu.

Para este propósito a COPEL iniciou em maio de 1994 a construção das estruturas para derivação do rio Jordão que consta de uma barragem, túnel de derivação e uma pequena central hidrelétrica, localizadas acerca de 5 km da foz do Rio Jordão, na divisa dos municípios de Reserva do Iguaçu e Foz do Jordão. A barragem é do tipo gravidade e empregou a tecnologia do concreto compacto a rolo (CCR), possui 547.000 m³ em CCR, altura máxima de 95 m e extensão total de 546 m. O vertedouro, incorporado a barragem, é do tipo soleira livre. Para perenizar o trecho final do Rio Jordão a jusante da barragem até sua foz no Rio Iguaçu, foi mantida uma vazão remanescente mínima de 10 m³/s, que é aproveitada para gerar energia em uma PCH, com potência instalada de 6,5 MW. As obras foram concluídas em outubro de 1996, sendo que a PCH entrou em operação em 02 de dezembro de 1997.

A construção da barragem em CCR iniciou-se em janeiro de 1995 e foi concluída em março de 1996 (15 meses) e representou importante marco para os profissionais da COPEL e para os empreiteiros civis, ao tornar realidade uma estrutura de dimensões relevantes, em um curto espaço de tempo, enfrentando os desafios do pioneirismo do uso da tecnologia do CCR. Esta tarefa exigiu absorver, adaptar e desenvolver o conhecimento disponível tanto no Brasil como de outros países para aplicá-los no empreendimento.

De imediato pode-se observar que seria necessário adaptar as dosagens de CCR às particularidades do país quanto a disponibilidade de materiais pozolânicos, bastante utilizados nas dosagens de obra internacionais, porém

de uso limitado no Brasil. Para tanto, as dosagens de CCR foram desenvolvidas utilizando-se cimentos portland pozolânicos (CP IV) disponíveis no mercado nacional e incorporando às misturas o material pulverulento (passante na peneira # 200) oriundo do processo de fabricação de areia artificial¹. Vale destacar que esta obra foi a primeira da COPEL a utilizar 100% do agregado miúdo em areia artificial em substituição à areia natural (provenientes de jazidas de rios) [6].

A adequada utilização de finos oriundos da composição da areia artificial caracteriza o tipo de dosagem de CCR designado por “modelo brasileiro de alto teor de finos” [7], e que representa a escola utilizada pela COPEL em todos os seus empreendimentos em CCR.

Referenciado em exemplos existentes no Brasil e no mundo até então e na economicidade do empreendimento, as dosagens de CCR foram estabelecidas com baixo teor de cimento, prevalecendo o teor de 75 kgf/m³. Para o atendimento das Especificações Técnicas da obra, que estabeleciam a resistência característica mínima (fck) para o CCR de 8,5 MPa, as dosagens foram concebidas com baixos teores de água (média de 94 kgf/m³ para condição SSS) para compatibilizar com os baixos teores de cimento das dosagens [8]. Também foram adotadas camadas de CCR com 40 cm de espessuras sobrepostas uma a uma, com a utilização de argamassa de ligação entre elas na região do terço a montante.

Um dos principais controles de campo da execução do CCR é através da medição da densidade após a compactação e comparando-a com a densidade teórica da dosagem (densidade da mistura para a condição de 0% de vazios). Também as especificações técnicas da obra estabeleciam o mínimo de 97% para o grau de compactação (relação entre densidade medida e densidade teórica). Após os primeiros 6 meses de execução do CCR a densidade das camadas foi medida com sucesso através do uso de densímetro nuclear.

Com os resultados assim obtidos para a avaliação da qualidade do CCR, profissionais e consultores despertaram para a pesquisa voltada a obtenção da homogeneidade das camadas de CCR.

Tal preocupação teve suas origens na constatação de que os resultados de grau de compactação, após intensas verificações da aferição do densímetro nuclear, permanecia em torno de 95%. Em paralelo com a continuação das obras os técnicos da COPEL realizaram uma série de investigações buscando melhorar o desempenho no parâmetro grau de compactação [8]. Também a partir de outubro de 1995 foi iniciada uma campanha de sondagem rotativa com testemunhagem contínua, objetivando a extração de testemunhos do maciço de CCR da barragem.

Através dos testemunhos extraídos pode-se constatar a presença sistemática de porosidade no fundo das camadas, o que confirmou as indicações obtidas através dos ensaios realizados com o densímetro nuclear, que já anunciavam o decréscimo da densidade das sub-camadas com a profundidade da camada.

Concluídas as investigações conduzidas durante toda execução do maciço de CCR da barragem, a COPEL, seus consultores e projetistas puderam estabelecer mudanças conceituais ao método, produzindo critérios próprios e não mais “importados” para a especificação e execução das obras em CCR, que foram amplamente postos em prática na construção da barragem da UHE Salto Caxias.



FIGURA 1 – VISTA PANORÂMICA DA BARRAGEM DA DERIVAÇÃO DO RIO JORDÃO

¹ Areia Artificial é a designação usual dada ao agregado miúdo obtido por processo de britagem de rocha, principalmente basáltica, através de britador especial para a produção de finos (passante na peneira # 4,8mm).

3.0 - BARRAGEM DA UHE SALTO CAXIAS

A Usina Hidrelétrica Salto Caxias é uma das mais importantes da COPEL e possui capacidade de 1.240 MW de potência. Está situada no rio Iguaçu, no Município de Capitão Leônidas Marques/PR, a 600 km de Curitiba.

A barragem de Salto Caxias, com 67 m de altura e 1083 m de comprimento, é do tipo gravidade em CCR foi construída entre fevereiro de 1996 a junho de 1998 (29 meses). A barragem de Salto Caxias, com 945.000 m³ de CCR, é a maior, em volume, da América do Sul [18] e a maior barragem do mundo em empreendimentos para fins de geração hidrelétrica – [3] base 2003.



FIGURA 2 – VISTA PANORÂMICA DA UHE SALTO CAXIAS [18]

Com base na experiência na execução da barragem da Derivação do Rio Jordão, a barragem da UHE Salto Caxias foi construída incorporando o conceito de homogeneidade das camadas de CCR. O conceito de homogeneidade surge da constatação da necessidade de se produzir camadas de CCR com reduzido índice de vazios ao longo de toda a sua profundidade. Ou seja, busca a eliminação da descontinuidade da homogeneidade do CCR ao longo da profundidade da camada.

Este objetivo, atingido com sucesso na obra, visava garantir a constância dos parâmetros físicos e mecânicos do maciço, contribuindo para a monoliticidade do concreto da barragem. Deste modo, ao eliminar diferenças relevantes entre as características do topo das camadas e seus fundos, melhora-se a resistência a compressão e a tração do concreto do maciço (igualando-os aos resultados obtidos com C.P.'s moldados em laboratório), o ângulo de atrito e a coesão entre as camadas (pela melhoria da ligação entre as camadas), o peso do maciço (pelo ganho de densidade média), entre outras. Todas estas características estão intimamente relacionadas com os objetivos desejáveis nas barragens a gravidades como descrito no item 1 deste trabalho, referenciado em KAMEL(1996).

Conceitualmente, a COPEL adotou, neste empreendimento, dosagens de CCR com maior trabalhabilidade (medida pelo método VeBe Modificado – [2]) e camadas com espessuras médias de 30cm. O aumento da trabalhabilidade do CCR foi obtido com maior adição de água nas dosagens, tendo utilizado dosagens com teor de água variando entre 137 a 145 Kg/m³ (para a condição SSS), que resultou em um CCR com maior trabalhabilidade que o obtido na Derivação do rio Jordão. O aumento das trabalhabilidade do CCR através da sua maior umidade implicou em maior consumo de cimento das dosagens para a obtenção do fck especificado de 8,0 MPa, em relação ao traço do da Derivação do Jordão. Assim, enquanto o teor de cimento nas dosagens utilizadas no CCR da derivação do Rio Jordão variaram entre 70 e 85 kg/m³, em Salto Caxias as dosagens foram definidas com 100 kg/m³ [9].

Associadas as estas medidas, trabalhabilidade e redução da espessura das camadas, foram também implementados os procedimentos executivos identificadas durante a execução da barragem da derivação do Jordão², que favoreciam a eficácia da compactação visando à homogeneidade, tais como:

- Adequação do Sistema Rolo/CCR;
- Adequação do proporcionamento de agregados e finos e controle da segregação;

² Para maiores detalhes ver trabalhos citados nas referências bibliográficas [10] e [11] que apresentam um relato abrangente dos procedimentos executivos e do controle tecnológico voltados à homogeneidade das camadas de CCR.

- Redução do intervalo de tempo entre produção, lançamento e compactação e controle de perda de umidade;
- Controle da velocidade de translação dos rolos compactadores e do número de passadas; e
- Controle de variação na produção do CCR (materiais e equipamentos); entre outros.

Os benefícios obtidos com estas práticas puderam ser identificados tanto durante a execução do maciço de CCR da barragem, através dos controles tecnológicos realizados em laboratório como nas determinações de densidade e grau de compactação das camadas e sub-camadas (estratificação dos resultados para as diferentes profundidades da camada) como nos testemunhos extraídos do corpo da barragem.

Vencida esta importante etapa no desenvolvimento do CCR, com a adoção do critério de homogeneidade das camadas, a COPEL buscou soluções visando a economicidade do método, especialmente através da redução do consumo de cimento.

Para tanto, foram desenvolvidos estudos e ensaios denominados “Estudos Avançados do CCR na Margem Direita da Barragem da UHE Salto Caxias” [12], que resultaram na constatação da possibilidade de uso de dosagens com menor teor de cimento, especialmente utilizando a incorporação de aditivo plastificante-retardador às dosagens de CCR, propiciando, deste modo, a redução do teor de água da mistura sem prejuízo à trabalhabilidade. Como consequência da redução do teor de água pode-se reduzir o teor de cimento das misturas proporcionalmente, obtendo-se reduções de até 15kgf/m³ para uma mesma fck de 8,0 MPa. Os benefícios e resultados obtidos podem ser consultados em MOSER(1998) referencia [13].

4.0 - BARRAGEM DA UHE DONA FRANCISCA

A COPEL tem uma participação de 23% no capital social da Dona Francisca Energética S/A (DFESA), SPE (Sociedade de Propósitos Específicos) que, em consórcio com a CEEE/RS detém a concessão para a implantação e operação da UHE Dona Francisca (Agudo/RS). A usina possui 125 MW de potência instalada, divididos em duas unidades tipo Francis de 62,5MW cada uma. A barragem em CCR possui 610 m de comprimento e 63 m de altura máxima, incorporando um vertedouro de soleira livre com 335m de extensão. As obras foram iniciadas em agosto de 1998 e foram consumidos 16 meses na execução do maciço de CCR com cerca 484.000 m³, assente em fundação em arenito.

As obras foram executadas pelo EPC formado pelo consórcio IVAI/TORNO, INEPAR e ENGEVIX, no regime de contratação “turnkey/lump-sum” tendo a COPEL atuado com “Owner’s Engineer” durante a implantação do empreendimento.

O projeto da UHE Dona Francisca foi totalmente modificado em relação ao projeto básico existente até 1996, e a adoção do arranjo com a barragem em CCR possibilitou a viabilização do empreendimento com a redução de custos e prazos [14].

Dentre as contribuições do empreendimento para o desenvolvimento do CCR, destaca-se ainda a utilização em larga escala de CCR com adição de aditivo plastificante-retardador. Também merece destaque os baixos coeficientes de variação obtidos pelo controle tecnológico do CCR, enquadrando-o em níveis EXCELENTE pelo critério da ACI – American Concrete Institute [15]. Tais melhorias, uso de aditivos e baixos coeficientes de variação, contribuíram para a economicidade das obras sem prejuízo, mas ao contrário, das características de qualidade do CCR já anteriormente implementadas pela COPEL.



FIGURA 3 – VISTA PANORÂMICA DA UHE DONA FRANCISCA

5.0 - BARRAGEM DA UHE SANTA CLARA

A ELEJOR - Centrais Elétricas do Rio Jordão é uma empresa de economia mista, constituída para explorar o potencial energético de 250 MW através das usinas hidrelétricas de Santa Clara e Fundão e duas PCH (Pequenas Centrais Hidrelétricas) associadas as Usinas, constituindo, assim, o Complexo Energético Fundão - Santa Clara (CE Fundão – Santa Clara), que está localizado na região central do Estado do Paraná, entre os municípios de Cândói, Pinhão e Foz do Jordão.

Seus acionistas são a COPEL com 70% e o grupo Paineiras com 30% das ações ordinárias e conta também com a participação da ELETROBRÁS que detêm 100% das ações preferenciais.

Para a construção desse empreendimento hidrelétrico foi celebrado um contrato do tipo “turnkey / lump sum”, com o EPC, Consórcio Construtor Complexo Jordão – CCCJ, constituído pela Construtora Triunfo S.A., responsável pelas obras civis, IMPSA – Indústrias Metalúrgicas Pescarmona, responsável pelo fornecimento e montagem dos equipamentos e a INTERTECHNE, responsável pelo desenvolvimento dos projetos básico e executivo. A COPEL atua, também, no empreendimento como “Owner’s Engineer”.

A barragem em CCR da UHE Santa Clara possui 588 m de extensão e 67 m de altura e volume de 48/6.000m³, com fundação em rocha basáltica e foi executada entre os meses de dezembro/2003 e janeiro/2005 (14 meses). Uma das principais características do método executivo do CCR da barragem da UHE Santa Clara está associado com a execução de lances de concretagens (formados por conjuntos de três camadas de CCR de 30 cm) pelo método desenvolvido pelo EPC (Construtora TRIUNFO) a partir da conjugação do método tradicional de lançamento em camadas horizontais e com o método “chinês rampado”.

5.1 - Método Chinês Rampado

No Simpósio Internacional de Barragens de CCR, realizado em Chengdu - China, em Abril de 1999, foi apresentado um método de lançamento de CCR sob a denominação “HASLC - The Horizontally Advancing Sloped Layer Construction of RCC” [16], por conta deste evento tende a ser adotada a denominação de “Método Chinês Rampado” no meio técnico brasileiro.

O método utiliza um lance de CCR executado em rampa com altura variável entre 1,80 m a 3,00 m, composto por camadas de 30 cm de altura. As camadas são executadas em rampa cuja declividade pode variar de 7% a 10%, o que resulta em uma superfície de exposição reduzida, possibilitando assim a cobertura completa da frente de concretagem em no máximo 4 horas, tornando desnecessária a aplicação da argamassa de ligação entre camadas.

A aplicação da argamassa de ligação somente é necessária no trecho da camada rampada em contato com a camada do topo do lance anterior, conforme mostrado na Figura 4.

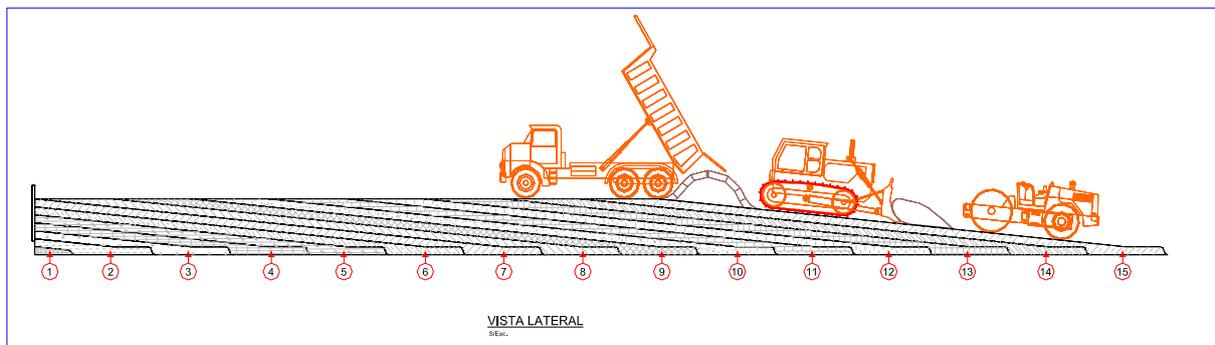


FIGURA 4 - Seção longitudinal do Método Chinês Rampado [16]

A primeira experiência brasileira com execução de Concreto Compactado com Rolo Rampado foi realizada com sucesso, em 2001, em uma estrutura provisória da UHE Luís Eduardo Magalhães – Lajeado, localizada no Estado do Tocantins, onde foram aplicados 20.000 m³ de CCR [17].

5.2 Metodologia Utilizada na Barragem de CCR da UHE Santa Clara.

Como o projeto do paramento de jusante da barragem e do vertedouro da UHE Santa Clara é composto por degraus de 90 cm de altura, correspondendo a três camadas de CCR, a utilização do “método chinês rampado” tornou-se desfavorável, devido a pouca altura do lance de concretagem a ser rampado.

No entanto, com o objetivo de incorporar os benefícios do método, a Construtora Triunfo desenvolveu uma forma mista (ou variante do método rampado) para o lançamento do CCR [17], sendo um trecho do lance executado pelo método tradicional em camadas horizontais e o outro trecho executado em rampa, conforme indicado na Figura 5.

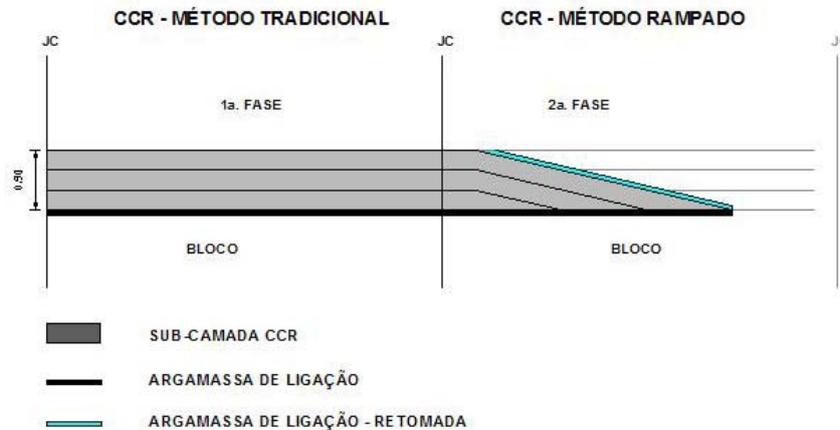


FIGURA 5 – Camadas de CCR lançadas horizontalmente e rampadas [17].

O método constitui-se, basicamente, de iniciar o lançamento da primeira camada do lance de concretagem (cada lance é constituído por 3 camadas de 30 cm cada uma, com extensão de ombreira a ombreira), sobre o lance anterior com a utilização de argamassa de ligação. Esta camada é estendida horizontalmente e com 30 cm de espessura e com comprimento preestabelecido de modo que permita o lançamento da segunda camada do lance dentro do limite de tempo que garanta a adequada ligação entre as camadas.

A segunda camada acompanha a primeira em seu trecho horizontal, sendo que em seu trecho final ela recobre a “cabeça” da primeira camada, obedecendo ao princípio do lançamento pelo método Chinês rampado. A terceira e última camada do lance de concretagem segue a mesma sistemática descrita para a segunda camada.

O processo se repete até que toda a extensão do lance de concretagem seja concluída, possibilitando o início do lance imediatamente superior.

Na retomada, dentro do próprio lance de concretagem (2ª fase conforme Figura 5), o topo da terceira camada no trecho rampado pode exigir a utilização da argamassa de ligação em função do tempo de exposição resultante.

A extensão das camadas deve ser pré-estabelecida considerando-se o tempo gasto no ciclo de limpeza, lançamento e compactação do CCR, o intervalo limite para a retomada sem o uso de argamassa (que no caso da UHE Santa Clara é de até 4 horas no turno diurno) e as dimensões da praça.

Com este planejamento e com o aumento da prática das equipes de campo, a Construtora Triunfo tem realizado o lançamento sucessivos de camadas no lance com intervalo médio inferior a duas horas e não superior a 2,5 horas, o que reduz risco de ineficiência da estanqueidade e de não obtenção da monoliticidade esperada para o maciço de CCR.

A adoção do método misto (ou variante do método rampado), além de proporcionar uma solução de contorno para as baixas alturas dos lances de concretagem, permitiu:

- Redução do consumo de argamassa de ligação, quando comparado ao método tradicional de lançamento de CCR;
- Otimização do aproveitamento e da movimentação de formas na praça de lançamento;
- Facilidade de acesso à praça através do aproveitamento das rampas resultantes da 1ª fase de lançamento conforme definido na Figura 5;
- Redução do tratamento de juntas entre camadas, resultado do reduzido intervalo de tempo decorrido entre lançamentos sucessivos no lance de concretagem.

A estas vantagens, diretamente associadas à redução de custos e aumento de produtividade, adicionam-se as vantagens relacionadas com (1) a facilidade de implantação da metodologia pelas equipes, já familiarizadas com o lançamento no método tradicional; (2) a redução das juntas frias no concreto convencional de face, resultado da efetiva costura entre camadas devido ao reduzido intervalo entre lançamentos sucessivos; e (3) as perspectivas de aumento da estanqueidade e da monoliticidade do maciço de CCR. Testemunhos de CCR extraídos do corpo da barragem têm demonstrado a adequada aderência entre as camadas executadas pelo método misto, do mesmo modo que os ensaios de compressão diametral e tração direta apresentam parâmetro similares aos obtido pelo método tradicional em Salto Caxias³.

³ Até a publicação deste trabalho não estavam disponíveis os resultados de cisalhamento direto para a perfeita avaliação do método quanto ao desempenho relativo aos parâmetros de coesão e ângulo de atrito.

6.0 - CONCLUSÃO

Como exposto, pode-se considerar que durante a implantação dos empreendimentos em CCR, a COPEL buscou consolidar aspectos da qualidade do CCR relacionados com a sua homogeneidade e com o melhor controle tecnológico, visando obter as melhores propriedades das barragens em concreto. Também foram buscadas melhorias em termo de produtividade e economicidade, sem prejuízo à qualidade do CCR, através da redução dos teores de cimento, uso de aditivos multi-funcionais e na adoção do método misto (ou variante do rampado) na execução dos maciços de CCR.

Novos desafios também foram identificados ao longo do uso do CCR, tais como o comportamento térmico dos maciços, o espaçamento e a confecção das juntas induzidas entre os blocos da barragem, a questão da durabilidade, a redução da resistência característica do CCR [3] e das declividades dos parâmetros de jusante [3]. A COPEL permanece em constante busca do desenvolvimento do CCR, estando atualmente em andamento ou em planejamento, estudos voltados ao monitoramento do tempo de pega CCR e da homogeneidade do CCR e das faces em CCV através do uso de ultra-som; estudos experimentais relacionados com a otimização do efeito da compactação do CCR; pesquisas voltadas para o comportamento térmico das barragens; e sobre a durabilidade do CCR.

Através dos estudos e pesquisas, de campo e de laboratório, a COPEL nos empreendimentos em que fez parte, tem avançado em passos firmes e seguros contribuindo para o desenvolvimento do método para o benefício da sociedade em geral e do meio técnico em particular.

Contudo, estes benefícios somente serão disseminados para proveito na construção de barragem quanto mais oportunidades de divulgação e intercambio forem oferecidas aos profissionais e empresas, cada qual com o seu quinhão de participação, que buscam o desenvolvimento tecnológico do país.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KUPERMAN, Selmo C., Desempenho de Obras de Concreto Compactado com Rolo (CCR), in II Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo – Relatos, Curitiba-PR, 1996.
- [2] ANDRIOLO, Francisco R., The Use of Roller Compacted Concrete, Ed. Oficina de Textos, São Paulo/SP, 1998.
- [3] ANDRIOLO, Francisco R., Barragens em CCR – Estado da Arte – (Materiais, Projetos e Construção), Apresentação no 1º Encontro Técnico sobre o Uso de Concreto Compactado com Rolo – CCR na Construção de Barragens, CBDB, Salvador/BA, 09/03/2004, cd-rom do evento.
- [4] BLINDER, Simão, et. al., CCR X EFC – Comparativo de Custos, in: 1º Simpósio de Obras em Concreto Compactado com Rolo, São Paulo/SP, 1995.
- [5] KAMEL, Kamal F.S., Tema 1: Projetos Envolvendo Soluções em CCR, in: II Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo – Relatos, Curitiba-PR, 1996.
- [6] KREMPEL, Antonio F., “et al”., Dosagem de Misturas de CCR para a Construção da Barragem da Derivação do Rio Jordão – Utilização de 100% de Areia Artificial, in: II Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo – Relatos, Curitiba-PR, 1996.
- [7] ANDRIOLO, Francisco R., Dosagem do CCR: Alta Pasta?; RCD?; Pobre? Ou Adequado teor de Finos, in II Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo – Anais, Curitiba-PR, 1996.
- [8] COPEL, Relatório Mensal – DEC/SOG/DPHS Janeiro/1995 a Fevereiro/1996, Relatórios Não Publicados.
- [9] COPEL, Relatório Mensal – DEC/SOG/DPCX Janeiro/1995 a Fevereiro/1996, Relatórios Não Publicados.
- [10] MOSER, Douglas E., “et al”., Barragem de CCR Salto Caxias – Controle de Qualidade dos Materiais e do CCR, in: III Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo, Anais, Foz do Iguaçu/PR, 1998.
- [11] OLIVEIRA, Luiz Fernando P., “et al”., Controle da Compactação durante a Construção das Barragens de CCR de Jordão e Salto Caxias, in: III Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo, Anais, Foz do Iguaçu/PR, 1998.
- [12] COPEL, Estudos Avançados do CCR na Margem Direita da Barragem da UHE Salto Caxias, Relatório Interno nº VOCV-CX-RT-009/97, Setembro/1997, Não publicado.
- [13] MOSER, Douglas E., “et al”., O Uso de Aditivo Plastificante e retardador de Pega no CCR – Propriedades e Benefícios, in: III Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo, Anais, Foz do Iguaçu/PR, 1998.
- [14] KREMPEL, Antonio F., “et al”., O uso do CCR e aspectos hidráulicos na viabilização da UHE Dona Francisca, in: : III Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo, Anais, Foz do Iguaçu/PR, 1998.
- [15] MOSER, Douglas E., “et al”., Controle de Qualidade do Concreto CCV e CCR da UHE Dona Francisca, in: 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Foz do Iguaçu/PR, 2001.
- [16] ANDRADE, Walton Pacelli, “et al” Primeira experiência brasileira com execução de Concreto Compactado com Rolo Rampado em Lajeado, in: XXIV Seminário nacional de Grandes Barragens, Anais, Fortaleza/CE, 2001.
- [17] CARDOSO, Homero, Metodologia de Execução do Concreto Compactado com Rolo, in: IV Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Porto de Galinhas/PE, Setembro/2004.
- [18] COPEL, [http:// www.copel.com](http://www.copel.com), consulta em dezembro/2004.