

III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO

COM ROLO



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



anais

O Uso de Aditivo Plastificante e Retardador de Pega no CCR - Propriedades e Benefícios

FOZ DO IGUAÇU - PR - BRASIL - 1998

O Uso de Aditivo Plastificante e Retardador de Pega no CCR - Propriedades e Benefícios

Moser, Douglas Emerson

COPEL - Companhia Paranaense de Energia - Brazil

Mussi, Jorge Murad P.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia - Brazil

Andriolo, Francisco Rodrigues

Engenheiro Consultor

Resumo

É conceituado que se faz necessário vibrar e liquefazer o CCR para se obter a máxima densidade na compactação, e conseqüentemente para alcançar a estanqueidade e resistências requeridas nos Projetos. Um dos fatores de crucial importância para tanto é o controle sobre a consistência (Tempo VeBe) no momento da compactação do CCR e não apenas no momento da produção.

Esta publicação pretende apresentar os benefícios que podem ser obtidos com a utilização de aditivos do tipo redutores de água –plastificantes-, e retardadores de Pega nas misturas de CCR. Ensaio de laboratório, em Central de Concreto e nas frentes de lançamentos foram realizados durante a construção da U.H. de Salto Caxias, no Estado do Paraná, com a intenção de buscar melhoria da qualidade e da uniformidade do CCR. Ensaio de consistência (tempo) VeBe, densidade, grau de compactação, homogeneidade, resistência à compressão, comparações de custo são apresentados baseados em dados estatísticos. Os principais benefícios diretos e indiretos são citados e debatidos.

1- Apresentação

O emprego de aditivos redutores de água e/ou retardadores de pega no concreto compactado com rolo (CCR), até a primeira metade da década de 90 parecia não ser

importante. Entretanto a melhor compreensão dos conceitos de consistência-trabalhabilidade, coesão de mistura fresca, e também de Pega, aliados a relação entre os mesmos e a transmissão da compactação na camadas de CCR e mais ainda a

necessidade de se ter um maior tempo operacional no transporte e compactação do CCR levaram à conveniência do emprego de aditivos polifuncionais nesse concreto.

Assim é que várias obras [1 a 5] em diversos países tem adotado desse recurso, saliente-se que nas obras japonesas é comum o uso de aditivos redutor de água e incorporador de ar.

2- Estudos do CCR com Aditivo Plastificante Retardador na Obra de Salto Caxias

Nesses estudos realizados durante a construção da UHE de Salto Caxias, pela COPEL- Companhia Paranaense de Energia, enfocou-se a busca de uma maior homogeneidade da camada de CCR.

Esses estudos, que consistiram de ensaios em laboratório e “pistas experimentais” no próprio corpo da barragem, permitiram constatar que o uso do aditivo plastificante retardador de Pega, pode propiciar ao CCR vários benefícios.

Os estudos de laboratório se desenvolveram em fevereiro de 1997 e as aplicações no corpo da Barragem (Margem Direita) no período maio a Junho de 1997.

Os estudos visaram avaliar os efeitos do aditivo plastificante retardador na consistência do CCR, na manutenção dessa consistência no tempo, na resistência e na uniformidade do CCR compactado.

2.1- Consistência VeBe e Tempo de Trabalhabilidade

A consistência VeBe foi determinada sem peso adicional sobre a mistura, com um recipiente transparente de tal modo a facilitar a observação da ação do aditivo e o da vibração (do VeBe), como mostra a Figura 01.



Figura 01- Recipiente de acrílico para ensaio de consistência VeBe.

Dos estudos pode se concluir que o aditivo tem uma ação de aumento de trabalhabilidade, que pode permitir reduzir em até 40% o tempo VeBe (Consistência) sem peso no instante da produção (na Central de Concreto), como ilustra a Figura 02.

Notou-se também o surgimento, para o caso estudado, de um teor ótimo de aditivo no em torno de 1,25% do peso de cimento.

Efeito do Aditivo Plastificante-Retardador no CCR

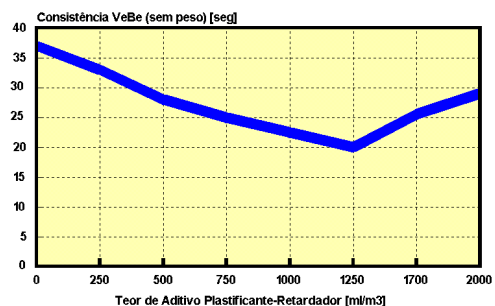


Figura 02- Efeito do aditivo na Consistência

Esta redução do tempo VeBe para os teores ótimos foi comprovada pelo ensaios na execução da pista experimental, como pode se observar na Figura 03

Como pode-se ver nessa Figura, mesmo com a redução de 10kg/m³ de água, a mistura T6, e subsequente redução de cimento (mantendo-se o fator A/C), com a adição de aditivo manteve-se a consistência,

notando-se até certa redução do tempo VeBe em relação à mistura padrão (J2e6).

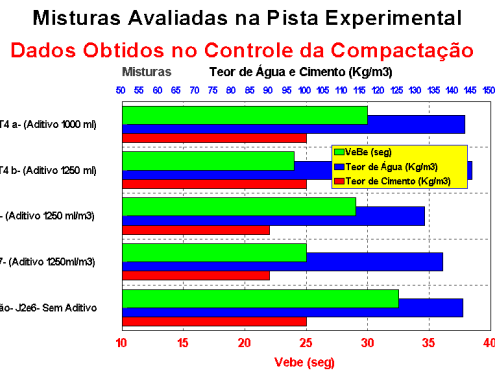


Figura 03- Comparação da consistência (Tempo) VeBe dos traços testados na pista experimental

Para o traço T4 (a; b), mantendo-se todas as características do traço padrão, apenas adicionando aditivo, obteve-se redução da consistência (tempo VeBe). Sendo esta redução proporcional ao teor de aditivo utilizado, seja 1l/m³ ou 1,25l/m³. O mesmo observou para o traço T7, em que manteve-se o mesmo teor de água do traço padrão, reduzindo 10kg/m³ o teor de cimento, adicionando aditivo, em que foi notória a redução de tempo VeBe

Dos estudos em laboratório pode se comprovar também que o aditivo de alto proporciona o efeito de manter a trabalhabilidade por um maior tempo (Figura 04). Sendo que, no caso estudado pode-se notar uma redução de até 60% do tempo VeBe em comparação com traço sem aditivo de mesmo vebe inicial, no período de 40 minutos após a mistura. Sendo que esta redução é maior para intervalos maiores.

Este efeito pode ser observado visualmente nos testes de campo em que, comparando traços de mesmo VeBe na produção, notou-se maior plasticidade no campo para os traços com aditivo, no momento da compactação. Sendo que em certos casos foi necessário aguardar um certo tempo para

iniciar a compactação, em vista de afundamento de rolo

Efeito do Aditivo Plastificante-Retardador no CCR ao longo do Tempo

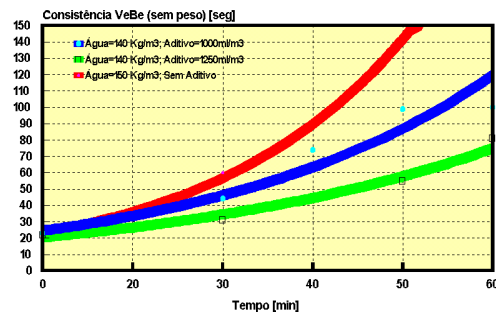


Figura 04- Aumento do tempo de duração da trabalhabilidade (Consistência) para misturas de mesmo Vebe inicial.

Analisando os dois efeitos do aditivo plastificante retardador, diminuição do tempo VeBe na produção e redução da perda de tempo VeBe entre produção e compactação, conclui-se que, para as condições climáticas do estudo e um intervalo entre mistura e compactação de 40 minutos, pode se obter até 80% de redução do tempo VeBe (sem peso), no momento da compactação em comparação à situação sem aditivo. Sendo que este valor pode ser até maior dependendo das condições climáticas e do intervalo entre lançamento e compactação.

2.2- Aumento do Grau de Compactação

Com a redução do tempo VeBe no momento da compactação, obtido pelo uso do aditivo, imprime-se ao CCR uma maior capacidade de transmitir a compactação às camadas inferiores, o que respeitando-se os limites de sobrecompactação, permite obter valores de altos de grau de compactação (cerca de 99%) tanto no topo como no fundo das camadas, aumentando, conseqüentemente, o grau de compactação médio da camada.

Esse efeito está interligado à consistência VeBe, uma vez que, quanto maior o valor VeBe, ou seja mais "seco" o CCR, mais difícil a transmissão da vibração-compactação. Quanto menor o valor de VeBe, mais "úmido" o CCR sendo mais fácil

a transmissão da vibração-compactação. Como pode se notar nas Figuras 5 dos ensaios de laboratório e da Figura 6 e 7, com os executados na pista experimental na obra.

Efeito do Aditivo Plastificante-Retardador no CCR

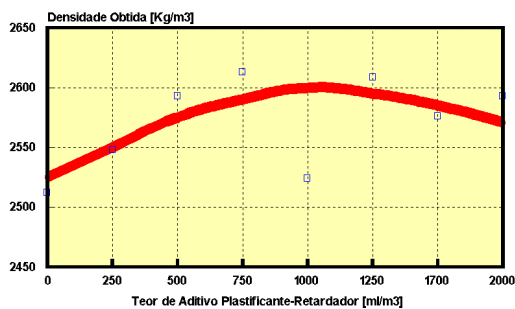


Figura 05- Efeito do aditivo plastificante na Densidade e grau de compactação

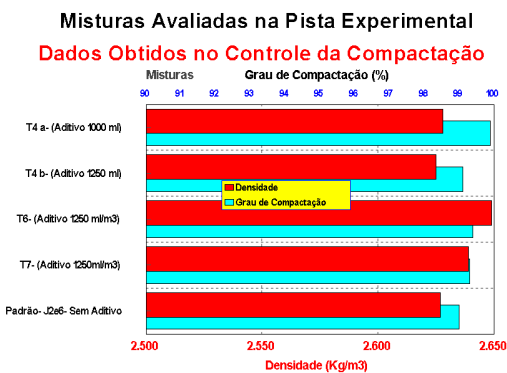


Figura 06- Comparação do grau de compactação dos traços avaliados na pista experimental

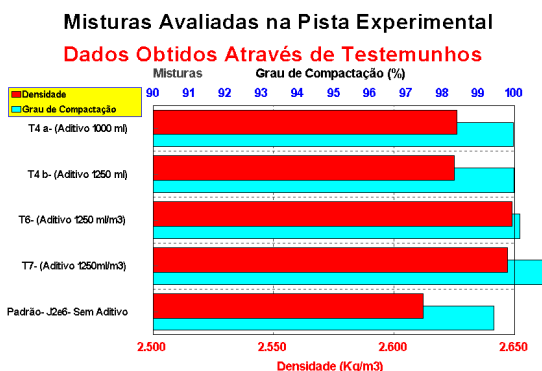


Figura 07 – Dados de densidade obtidos nos testemunhos extraídos da pista.

Pode-se notar nos ensaios da pista experimental que tanto para os ensaios de campo como os dos testemunhos os traços com aditivo, resultaram grau de compactação médio maior que o traço de referência. Mesmo para o traço T6, que possuindo mesmo VeBe inicial que o traço padrão, ainda assim, apresentou grau de compactação maior, comprovando o benefício da manutenção do tempo VeBe menor no momento da compactação.

2.3- Aumento da Densidade

O uso de aditivo, como já visto nos itens anteriores, permite reduzir o teor de água, mantendo-se o mesmo VeBe. Com esta redução de água, aumenta-se a densidade teórica da mistura. Como ao manter-se o valor da consistência VeBe, mantém-se o grau de compactação, o efeito obtido é o aumento da densidade da camada, proporcional ao aumento da densidade teórica. Este fato pode ser ilustrado com a mistura T6 estudada na pista experimental, em que a redução do teor de água com a adição de aditivo, sem prejudicar a consistência, foi um dos motivos que resultou na densidade da camada bem maior que a do traço padrão (Figura 06 e 07).

De outra forma também, pode-se aumentar a densidade da camada ,com o uso do aditivo pela redução do tempo VeBe, mantendo-se o teor de água. Há então o aumento do grau de compactação. Ao se manter o teor de água, mantém-se a densidade teórica , obtendo-se com isso o aumento da densidade da camada pelo aumento do grau de compactação. Este fato pode ser ilustrado pelas misturas T4 e T7 e até mesmo a T6 (em acréscimo ao efeito da redução de água), em que pela redução do tempo VeBe tanto na produção como no momento do lançamento e consequente aumento do grau de compactação (item 2.2) demonstraram incremento de densidade da camada em relação à mistura padrão (Figura 06 e 07).

3. HOMOGENEIDADE DA CAMADA

Com a melhoria da transmissão da vibração-compactação para as camadas inferiores da camada de CCR, provocada pela redução e manutenção do vebe no momento da compactação, consegue-se uma maior uniformidade do CCR, uma vez que se atinge valores similares e altos de grau de compactação em todas as subcamadas. Este efeito pode se notar nos testes realizados na pista experimental em que todos os traços utilizando aditivos apresentaram maior homogeneidade que o traço padrão (Figura 08 e 09).

Com o efeito do aditivo, pode se manter a transmissão da compactação, pela manutenção do tempo VeBe no momento da compactação, mesmo em situações adversas durante a execução da estrutura, como alta temperatura ambiente ou difícil lançamento (regiões confinadas e de difícil acesso). Com isso se obtém-se uma maior homogeneidade na estrutura, cuja execução pode estar sujeita à diferentes condições climáticas e operacionais e cujos efeitos podem ser inibidos pelo ajuste no teor de aditivo utilizado, sem qualquer prejuízo para os demais parâmetros, como resistência, etc..

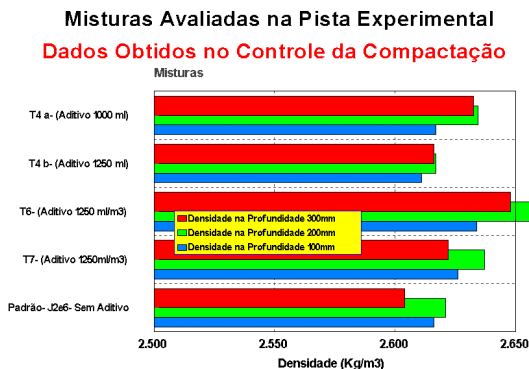


Figura 08- Comparação da homogeneidade dos traços avaliados na pista experimental

4. AUMENTO DA RESISTÊNCIA

Com a redução do teor de água, proporcionado pela adição de aditivo, mantendo-se a mesma consistência, obtem-

Misturas Avaliadas na Pista Experimental
Dados Obtidos no Controle da Compactação

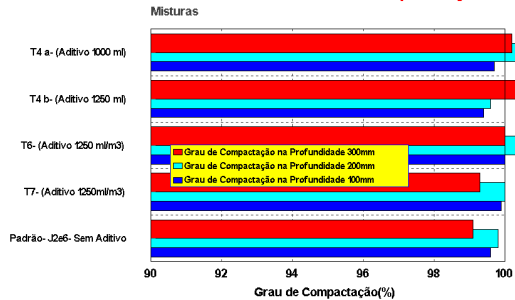


Figura 09- Comparação da homogeneidade dos traços testados na pista experimental

se um aumento do fator A/C, o que proporciona o aumento de resistência.

Isso é evidenciado pelo ganho de rendimento com o uso de aditivo, o que significa uma redução de cimento ainda maior que a simples redução de água, mantendo o fator A/C (Figura 13).

Nos estudos de laboratório pode se concluir, ser possível uma aumento de resistência equivalente ao acréscimo de 10% do teor de cimento com a adição, de cerca de 1,25% do peso de cimento, em aditivo. Esta constatação derivada possibilidade de redução de cerca de 8% do teor de água (Figura 10), e conseqüente redução equivalente do fator A/C, mantendo-se a mesma consistência VeBe.

De outra forma também é sabido que a resistência do CCR está intimamente ligada a sua compactação. Desta forma pode se admitir que o aumento do grau de compactação e da homogeneidade da camada pode gerar aumento da resistência do CCR.

Em última análise, também, o aumento da homogeneidade do maciço (item 3), contribuirá para o aumento da resistência, em vista da redução do Coeficiente de Variação da resistência dos testemunhos extraídos.

Efeito do Aditivo Plastificante-Retardador no CCR

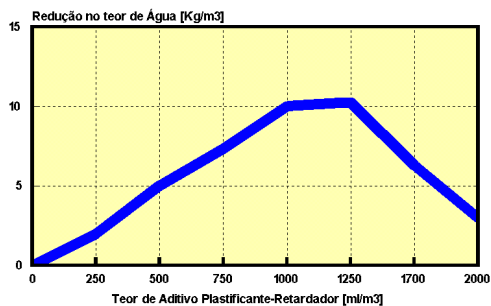


Figura 10- Variação do Teor de Água pelo uso do aditivo para uma mesma Consistência.

Nos estudos da pista experimental a redução de água foi comprovada, sendo que a mistura T6 com 10kg/m³ a menos de água(7% a menos) que a mistura padrão resultou em consistência até levemente menor que a da mistura padrão (Figura 03).

5. REDUÇÃO DO TEOR DE CIMENTO

Com a redução de água provocada pela adição do aditivo, aliado ao benefício do aumento do grau de compactação e da homogeneidade da camada e do maciço de CCR, pode-se reduzir o teor de cimento, para uma mesma resistência característica.

Este fato pode ser comprovado nos testes de campo. Para a mistura T6, obteve-se resistência, maior que a da mistura padrão, utilizando-se 10kg/m³ a menos de cimento. De outra forma pode se notar para a mistura T4, a adição de aditivo e conseqüente redução do tempo VeBe, não provocou redução de resistência em relação a mistura padrão (Figuras 11e 12), mas ao contrario, mostrando aumento de resistência, com maior rendimento

6. REDUÇÃO DO CALOR DE HIDRATAÇÃO

Misturas Avaliadas na Pista Experimental

Dados Obtidos no Controle da Resistência

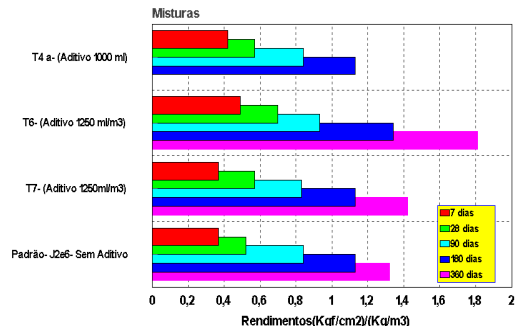


Figura 11- Rendimentos das misturas avaliadas na pista experimental, através de especimes moldados

Misturas Avaliadas na Pista Experimental

Dados Obtidos no Controle da Resistência Através de Testemunhos

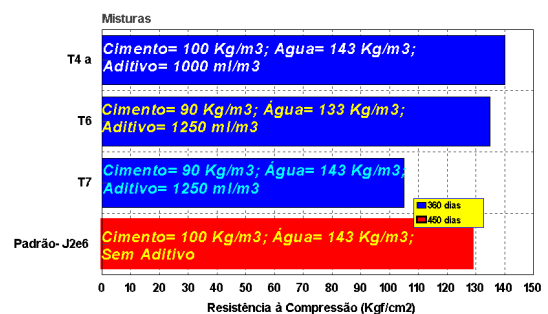


Figura 12 – Resistências das misturas avaliadas na pista experimental, através de testemunhos extraídos

Com a redução do teor de cimento, propiciada pela redução do teor de água e aumento de rendimento, reduz-se o calor de hidratação do CCR proporcionalmente a redução do teor de cimento. Para o caso em estudo, o equivalente a redução de 10% do cimento.

7. VANTAGENS OPERACIONAIS

Os autores são de opinião, alertam e recomendam que as modificações e otimizações operacionais não sejam feitas em prejuízo da uniformidade e qualidade.

Com a diminuição do tempo VeBe no momento da compactação e conseqüente

aumento da facilidade de compactação, pode-se, mantendo-se o grau de compactação e densidade especificada, reduzir o número de passadas do rolo compactador.

Esta redução de número de passadas também pode ser obtida pela redução do teor de água propiciada pelo aditivo, mantendo-se a densidade especificada. Ressaltando-se entretanto a notoriedade de se manter um grau de compactação mínimo.

Com o redução do número de passadas, propicia-se devido ao aumento de produtividade dos rolos, diminuir o seu número para uma mesma produção ou aumentar a produção, mantendo-se o número de rolos.

Outro benefício que pode ser alcançado com a adição do aditivo é o aumento da altura das camadas, pela melhor transmissão da compactação provocado pela redução do tempo VeBe no momento da compactação. Na pista experimental executou-se camadas com 40cm utilizando-se aditivo, traço T4 com 1,25l/m³ de aditivo. O lançamento dos 40cm era feito em duas camadas de 20cm e a compactação com 40cm.

Os dados que podem ser observados nas Figuras 06, 08 e 09, e mostram(mistura T4 com 1,25l/m³) que mesmo alterando esse parâmetro, a densidade, o grau de compactação e a homogeneidade da camada à profundidade de 300mm com aditivo se mantiveram acima, do mistura padrão compactado com 300mm.

Com o aumento da altura das camadas obtém-se aumento da produtividade e diminuição do tempo de execução

De outro modo também, há uma maior flexibilidade para bloquear os efeitos da variação nas características climáticas e operacionais

O controle sobre a uniformidade do CCR no campo é bastante facilitado pela adição de

aditivo, uma vez que as perdas de trabalhabilidade por início de pega, tanto por aceleração da pega provocada pelos efeitos climáticos, como por aumento do tempo de exposição provocada por situações de difícil lançamento, podem ser ajustadas como o uso do aditivo plastificante retardador, sem qualquer prejuízo a resistência e ao coeficiente de variação, fato este que seria impossível com adição de água.

Por exemplo, ao se aumentar a temperatura ambiente, acelerando o início da Pega, pode-se aumentar o teor de aditivo plastificante retardador de modo a manter a Consistência VeBe de campo, no momento da compactação.

De maneira inversa, quando a temperatura ambiente diminui, reduz-se o teor de aditivo plastificante retardador, visando manter a Consistência VeBe de campo, sem afetar a resistência do CCR, uma vez que não há alteração no teor de água.

Pode se proceder da mesma maneira em regiões de acesso difícil, em que normalmente o intervalo entre mistura e compactação é maior que o normal. Aumenta-se o teor de aditivo, para que o VeBe seja mantido até o momento da compactação. Voltando a condição de normalidade de acesso o teor de aditivo pode ser reduzido.

8. VANTAGENS PARA O PROJETO

Com o aumento da densidade, da camada do CCR, e do maciço, pode se admitir no projeto uma densidade maior, propiciando, mantendo os coeficientes de segurança, reduzir as seções da barragem, mantendo-se o mesmo peso total, obtendo-se uma redução de volume.

De outro modo também, a uniformidade que pode ser obtida dessa maneira, permite o Projeto modificar a barreira impermeável a montante, normalmente executada com CCV, fazendo o uso do CCR, com uma dosagem modificada.

9. ECONOMIA-CUSTO

Dos estudos realizados, com base nos custos dos materiais da U.H.Salto Caxias, ao se comparar os custos de adição de aditivo plastificante-retardador “versus” adição de água e por conseguinte cimento, observa-se, mesmo com todos os benefícios obtidos, resultando em uma economia. Para o traço T6 estudado, em que reduziu-se o teor de cimento em 10kg/m³, há uma economia de US\$0,12/m³. Pela comparação entre a resistência desta mistura e a da mistura padrão, poderia ser reduzido ainda mais o teor de cimento. Podendo-se neste caso chegar a uma redução de 13kg/m³.

Esta análise é baseada apenas na redução de VeBe propiciada no momento da produção. Caso fosse comparado a redução possível de água, mantendo-se o mesmo VeBe de no momento da compactação, esta economia seria ainda maior. Para o caso estudado, quando o intervalo entre lançamento e compactação for maior que 20 minutos(Figuar 0 4)

Outros fatores que não foram inseridos nesta análise econômica são, o aumento esperado de resistência dos testemunhos, gerado pelo aumento do grau de compactação e da homogeneidade da camada no campo e o aumento da resistência característica dos testemunhos, face a redução esperada do Coeficiente de Variação das resistências dos testemunhos, gerada pelo aumento da homogeneidade tanto da camada como do maciço.

10- COMENTÁRIOS

A “parcial fluidificação” e maior “longevidade” da trabalhabilidade do CCR que podem ser obtidas pelo uso de aditivo plastificante-retardador possibilita vantagens técnicas e econômicas que não podem ser desprezadas antecipada e arbitrariamente, devendo ser avaliadas nos programas de dosagens das obras.

A utilização do aditivo como instrumento de controle efetivo da consistência VeBe no

momento da compactação, incrementa ao controle de qualidade do CCR, uma ferramenta útil, principalmente em regiões de condições climáticas severas, em situações de difícil acesso ou difícil lançamento, ou ainda quando se deseja imprimir ao CCR uma maior garantia de homogeneidade, além de se constituir em solução geradora de economia direta e indireta

A melhoria de propriedades e da uniformidade são parâmetros bastante válidos para o Projeto dos barramentos em CCR evoluírem no sentido de maximizar o uso do CCR e minimizar o emprego de CCV.

11- REFERÊNCIAS

- [1]- Kogan E.A.; Sikachev K.G.- **“The Elastic and Creep Characteristics of Roller Compacted Concrete for the Katun Hydropower Station Dam”**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- November/1991- Beijing- China;
- [2]- Wang Zuxian; Shen Yiching; Liu Yongjie- **“Design and Test of RCC Mix Applied in the Cold Climate Region”**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- November/1991- Beijing- China;
- [3]- Fang Kunhe- **“The Judgement of the Setting State for Fresh Roller Compacted Concrete”**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- November/1991- Beijing- China;
- [4]- François Robitaille; Jacques Beaulieu- **“Lake Robertson Dam: Construction techniques and RCC Properties”**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- October/1995- Santander- Spain;
- [5] Relatório Interno da COPEL- **“Estudo do Uso de Aditivo Plastificante-Retardador de Pega e Variações no Teor de Água do CCR”**- Fevereiro/1997.
- [6]- Luis Cavero Val; Fernando Lacasta Claver- **“Aditivos Polifuncionais en las Grandes Obras Hidráulicas – Presa de Rialb”**- Cemento- Hormigon- Agosto/1997- España.
- [7]- Relatório Interno da COPEL- **“Estudos Avançados do CCR na Margem Direita da Barragem da UHE Salto Caxias”**- Agosto/1997.