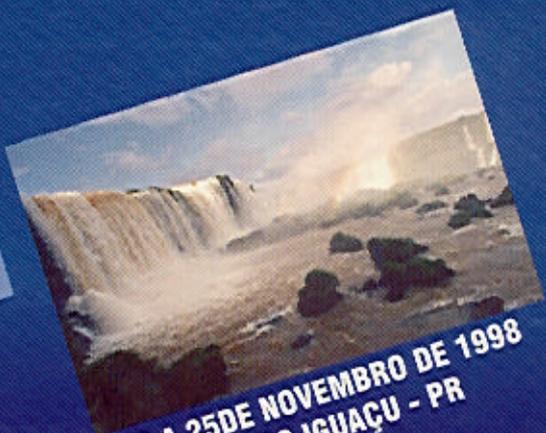


III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO

COM ROLO



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



anais

Controle da Compactação Durante a  
Construção das Barragens de CCR de Jordão e  
Salto Caxias

FOZ DO IGUAÇU - PR - BRASIL - 1998

# **Controle da Compactação Durante a Construção das Barragens de CCR de Jordão e Salto Caxias**

**Oliveira, Luiz Fernando P.**

*COPEL - Companhia Paranaense de Energia - Brazil*

**Mussi, Jorge Murad P.**

*COPEL - Companhia Paranaense de Energia - Brazil*

**Andriolo, Francisco Rodrigues**

*Consulting Engineer - Brazil*

## **Resumo**

Baseado no Controle de Compactação do CCR, efetuado durante a construção da barragem de Derivação do Rio Jordão, uma otimização foi considerada no Controle de Qualidade do CCR no Projeto Salto Caxias, no Estado do Paraná.

Aspectos visuais dos testemunhos, redução da segregação, além das propriedades elásticas- mecânicas e de permeabilidade, foram os principais objetivos a serem observados.

A Inspeção durante a construção de CCR normalmente é feita de modo a atender a números e parâmetros das Especificações, mas raramente faz referência aos aspectos visuais. A grande velocidade de colocação do CCR, freqüentemente estabelecida ao longo das 24 horas de trabalho, impõe atenções redobradas para o estabelecimento de uma boa prática de construção.

Aspectos de segregação às várias profundidades das camadas de CCR e o grau de compactação devem ser observados e compreendidos. A busca à uniformidade deve ser constante.

## 1- Apresentação

As obras das Barragens da Derivação do Rio Jordão e da UHE Salto Caxias, pertencentes à COPEL- Companhia Paranaense de Energia foram construídas em CCR e têm as seguintes características e dados básicos:

Característica	Derivação Jordão	Salto Caxias
Rio	Jordão	Iguaçu
Volume de CCR	576.000	945.600
Volume de CCV	89.000	529.850
Altura máx.	95m	67m
Crista	550m	1080m
Período Construção	02/95 a 03/96	01/96 a 08/98

Para a produção dos concretos foram adotados os seguintes materiais:

Característica	Derivação Jordão	Salto Caxias
Cimento Tipo	CP IV 32S	CP IV 32S
Cimento-Origem	VOTORAN	ITAMBÉ
Cimento no CCR	75 a 105	100 Kg/m <sup>3</sup>
Rocha –Agregados	Basalto	Basalto
Dmax	50mm	50mm
Teor de Graúdo I kg/m <sup>3</sup>	498 a 800	745
Teor de Graúdo II km/m <sup>3</sup>	476 a 534	497
Teor de Miúdo km/m <sup>3</sup>	1119 a 1473	1143
Teor de Água km/m <sup>3</sup>	76 a 114	143
Teor de Finos	12%	18 %
Consistência VeBe	20 a 25Seg	15 a 20 seg
Fck-MPa/Idade	8,5 / 180	8 / 180

## 2- COMPACTAÇÃO DO CCR

O CCR deve ser entendido como um concreto e como um novo método executivo de construção. E nesta condição o transporte, lançamento e adensamento, desse concreto, representam as principais características deste método.

Por se tratar de um concreto de consistência seca, para permitir suporte aos equipamentos de lançamento e compactação, o CCR somente poderá ser consolidado adequadamente através de grande esforço de compactação, especialmente resultante da combinação de vibração e pressão como sugere a Figura 01 [1].

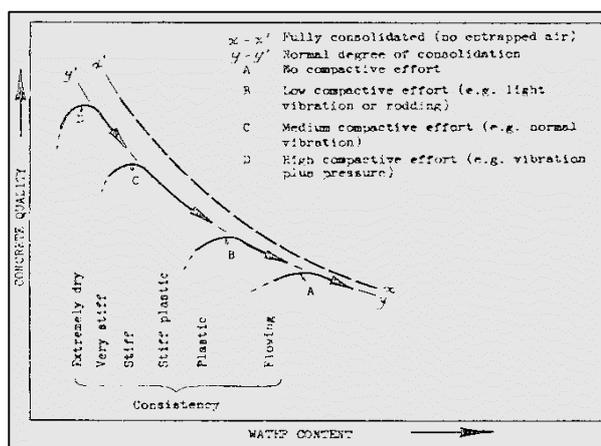


Figura 01- Qualidade do Concreto e Teor de Água, com respeito a Consistência [1]

Como consistências pode-se entender (de [1]):

Consistência	Slump (mm)	VeBe (seg)
<i>Extremely dry</i>	_____	<b>32 to 18</b>
<i>Very stiff</i>	_____	<b>18 to 10</b>
<i>Stiff</i>	<b>0 to 25</b>	<b>10 to 5</b>
<i>Stiff plastic</i>	<b>25 to 75</b>	<b>5 to 3</b>
<i>Plastic</i>	<b>75 to 125</b>	<b>3 to 0</b>
<i>Highly plastic</i>	<b>125 to 190</b>	_____
<i>Flowing</i>	<b>190 plus</b>	_____

Devido a isso, a compactação do CCR representa um aspecto importante do método, uma vez que as propriedades desse concreto serão fortemente afetadas pela qualidade deste processo, do mesmo modo que as propriedades do CCV são afetadas pelo processo de vibração.

Enquanto no adensamento do CCV, o efeito de vibração é suficiente para permitir que os

vazios entre os agregados sejam preenchidos pela argamassa e que sejam eliminadas as bolhas de ar, no CCR a compactação proporciona a redução dos vazios pelo imbricamento dos agregados e, pela vibração transmitida, que a argamassa preencha estes vazios.

Esses mecanismos se processam concomitantemente, servindo a pasta da mistura ( mais especificamente a combinação da água e dos elementos finos) como lubrificante para a formação do arranjo dos grãos e a pressão resultante da carga aplicada e vibração transmitida, provocando a circulação da argamassa entre os vazios dos agregados.

Outra particularidade importante do processo de adensamento do CCR, está no fato de que o esforço e a vibração aplicados no topo da camada, resultante das passadas do rolo compactador, variam ao longo da profundidade, atingindo valores reduzidos de pressão e de aceleração no fundo da camada.

### **3- HOMOGENEIDADE DO CCR**

#### **3.1- Generalidades**

Para a execução de maciços de CCR de barragens, os aspectos relevantes do Projeto estão associados à estabilidade, estanqueidade e durabilidade [7].

Todos estes aspectos são diretamente afetados pela maior ou menor quantidade de juntas de construção formadas entre as camadas compactadas com rolo. Por conseguinte, o Projeto, as Especificações Técnicas e o Controle de Qualidade na execução do CCR, devem promover o adequado tratamento às questões relacionadas à uniformidade e qualidade da interface entre camadas.

Em geral no Brasil e, especialmente nas obras da COPEL, o tratamento das juntas entre camadas tem sido equacionado com uso de argamassa de ligação ao longo de

toda a superfície da camada, como por exemplo na barragem da U.H.E. de Salto Caxias, ou no terço da largura a montante como na barragem de Derivação do rio Jordão da U.H.E. de Segredo, independentemente do tempo decorrido para a retomada do lançamento sobre a camada subjacente.

Do mesmo modo, o enfoque dos profissionais da empresa envolvidos com o CCR, tem se voltado para a obtenção da homogeneidade da camada ao longo de sua profundidade. Assim, é possível obter o melhor desempenho das propriedades dos maciços e melhorar significativamente a impermeabilidade das juntas, a coesão e o atrito, em função da qualidade alcançada no fundo das camadas.

Portanto, é mister que as propriedades da compactação do CCR e as características das dosagens e do processo executivo que influenciam a qualidade da compactação, sejam adequadamente investigadas e determinadas.

#### **3.2- Características**

Durante a execução das barragens de Jordão e Salto Caxias foram extraídos testemunhos das camadas de CCR. A partir desses testemunhos e dos dados e registros realizados durante a construção, pode-se associar as ações que resultaram na qualidade desejada e as prováveis causas para a ocorrência da falta de homogeneidade ao longo da camada.

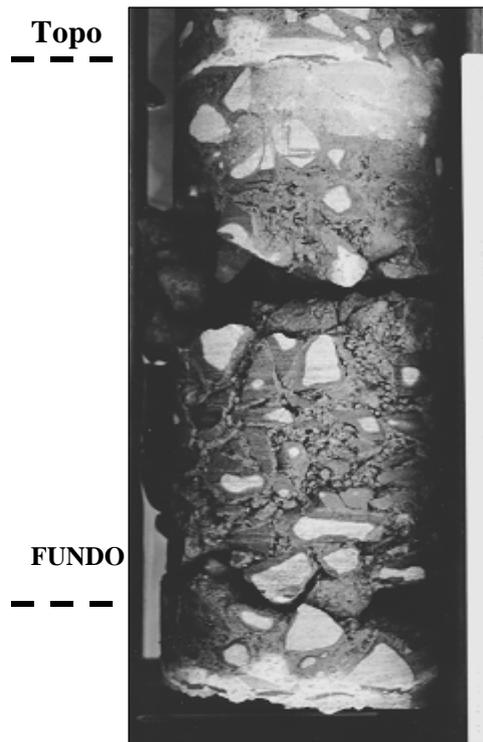
Em geral, as falhas observadas podem ser classificadas como :

- Presença de segregação no fundo da camada;
- Maior porosidade nas porções inferiores da camada; e
- Laminação da porção superior da camada ( sobre-compactação)

##### **3.2.1- Segregação**

O acúmulo de agregados no fundo da camada (Figura 02) é, certamente, a situação

menos desejável, uma vez que criará caminhos de percolação em planos horizontais no maciço, e ocasionará a redução das características mecânicas na junta e do concreto relacionada com a resistência, coesão e atrito, mesmo que se utilize argamassa de ligação entre as camadas.



**Figura 02- Acúmulo de agregados na camada. Agregados não envolvidos por argamassa.**

Quando a segregação verificada for localizada, pode ter sido provocada durante a descarga e espalhamento do material, criando ninhos de agregados que, independentemente da energia de compactação aplicada, não serão envolvidos com a argamassa (Figura 02). Esta segregação pode ser agravada pelo inadequado proporcionamento de materiais da mistura.

Para que se minimize a ocorrência desses acúmulos de agregados é necessário, por um lado, adequar a granulometria da dosagem e,

também, eliminar a segregação na produção na Central de CCR. Por outro lado, devido ao próprio transporte do CCR, deve-se, nas praças de lançamento, realizar o “paleamento” do material segregado que se acumula no pé das pilhas de CCR após a descarga.

Com relação a estes aspectos a COPEL utilizou na dosagem de CCR da U.H.E. de Salto Caxias, a composição do agregado graúdo, com 60% de agregado graúdo I (25-5mm) e os 40% restantes, de agregado II (50-25mm), ao contrário do proporcionamento utilizado na obra da derivação do Rio Jordão, onde se observou um maior acúmulo de agregado segregado durante a descarga.

Além desta alteração foram implantados dispositivos na central de concreto que reduziram a segregação na produção tais como chutes junto ao silo acumulador, transições em ângulo de 90° nas correias que transportam o CCR dos misturadores ao silo acumulador e a regulagem de aletas na saída de cada misturador, direcionando o fluxo do CCR para as correias.



**Foto 03 - Descarga do CCR sobre a camada espalhada**

Na praça de lançamento, uma medida usual adotada na U. H. de Salto Caxias, foi a de descarregar o CCR completamente sobre a camada espalhada, de modo que o agregado que eventualmente não seja paleado para o topo da pilha seja “remisturado” durante o espalhamento.

### 3.2.2 SUB-COMPACTAÇÃO

No entanto, quando é constatado que a segregação ou porosidade das porções inferiores das camadas ocorrem de modo generalizado no CCR (Figura 04), pode-se atribuir este fato ao inadequado ajuste da compactação em relação à mistura e/ou parâmetros executivos adotados.



**Figura 04 – Testemunhos apresentando deficiência na compactação no fundo da camada (sub-compactação)**

A falta de homogeneidade, nestes casos, é conseqüência da incapacidade da compactação em garantir o adequado imbricamento dos agregados e/ou de proporcionar que a argamassa preencha plenamente os vazios do CCR, devido a deficiência na transmissão da energia de compactação até o fundo

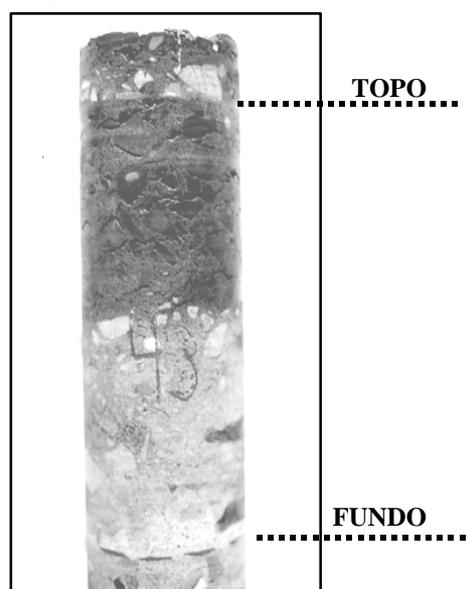
### 3.2.3 SOBRE-COMPACTAÇÃO

O fenômeno da sobre-compactação no CCR, pode ser entendido como a redução das propriedades do concreto provocado pelo excesso de compactação.

Neste casos, se observa a “laminação” da porção superior da camada ou ainda a quebra de agregados junto a superfície (o que significa a “criação de vazios”) e inclusive

internamente, sem que seja, necessariamente, percebido a diminuição da densidade da camada, uma vez que a redução verificada no topo da camada pode estar sendo compensada por algum ganho de densidade na base (fundo) da camada.

Alguns ensaios de tração direta realizados nos testemunhos extraídos da Barragem de Salto Caxias, envolvendo corpos de provas contendo a junta entre duas camadas, apresentaram o plano de ruptura na região abaixo da junta entre camadas, ou seja, na porção superior da camada.



**Figura 05- Testemunho de camada de CCR apresentando sobre-compactação.**

Este fato, por si só, evidencia o dano provocado pela sobre-compactação. O seu aparecimento indica que também há necessidade de se monitorar a compactação de modo que não seja atingido esta condição limite, apesar da ocorrência deste fenômeno não ser freqüente nos testemunhos extraídos das obras citadas.

## 4. ADEQUAÇÃO DO PROCESSO DE COMPACTAÇÃO DO CCR (SISTEMA ROLO/CCR)

### 4.1- Generalidades

Verifica-se que a compactação do CCR pode variar em função de vários fatores:

- Trabalhabilidade das misturas;
- Proporção, dimensão e forma dos agregados;
- Teor de argamassa e finos;
- Espessura das camadas;
- Tempo entre lançamento e compactação;
- Aspectos inerentes ao próprio equipamento de compactação (peso, amplitude, frequência, velocidade de translação).

As condições climáticas (vento, temperatura ambiente, umidade) podem proporcionar variações no processo executivo e nas propriedades das misturas que resultarão em variações na qualidade da compactação.

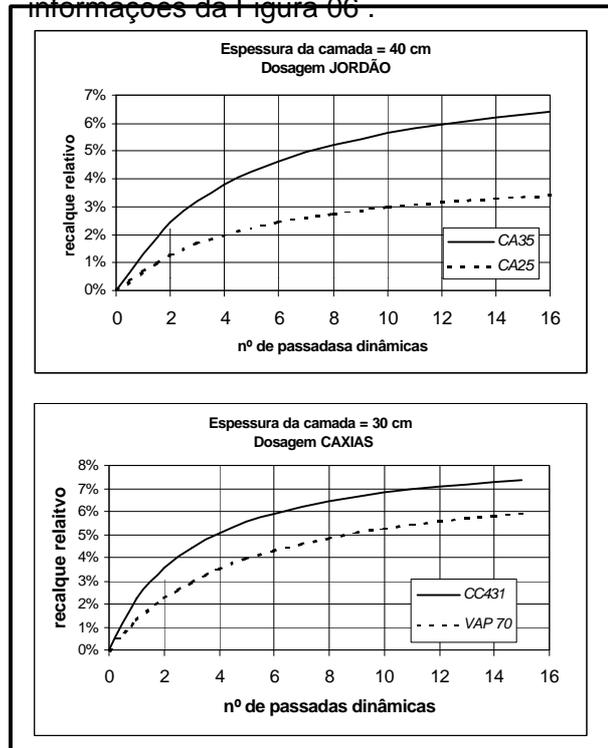
Assim, como cada obra apresenta suas características específicas (local, materiais e equipamentos disponíveis, custos, etc.), o estabelecimento de um processo de compactação único seria aparentemente utópico.

No entanto, é possível estabelecer as melhores relações, associando-se esta gama de fatores, de modo a se obter o melhor desempenho do sistema rolo/CCR.

A execução prévia de pistas (ou aterros) experimentais se prestam para esse fim. Podendo-se, a partir destas pistas e quando realizadas com os mesmos recursos que serão utilizados na obra, identificar as condições adequadas em relação à mistura utilizada, processo de compactação e equipamentos.

Para a avaliação da capacidade de compactação dos rolos, sugere-se realizar, nas pistas experimentais, o acompanhamento dos recalques obtidos no topo da camada em consequência do incremento do número de

passadas [2], como se observa pelas informações da Figura 06.



**Figura 06 – Avaliação do nº de passadas com referência ao abaixamento do topo da camada (redução de vazios) / Exemplos da Curvas de Recalques para diferentes sistemas Rolo/CCR [5;6]**

A partir dos resultados obtidos é possível verificar o comportamento do sistema Rolo/CCR utilizado com base no comportamento da curva de recalque resultante (Figura 06).

Essa curva indica o número de passadas do rolo compactador a partir do qual o incremento de passadas resulta em pequenos incrementos de recalques e conseqüentemente no adensamento.

Contudo, isto não significa que foi obtida a redução de vazios (ou densidade) desejada para a qualidade do CCR. Simplesmente pode-se estabelecer que para aquelas condições é possível obter um determinado resultado, que corresponde a maximização daquele sistema Rolo/CCR.

A adequação dos parâmetros da mistura, dos aspectos construtivos e dos equipamentos, poderá possibilitar em um melhor resultado para a qualidade desejada.

A interpretação dos resultados obtidos será melhor caso a análise seja complementada com resultados de densidades com uso de densímetros e, posteriormente, com a extração de testemunhos (Figura 07).

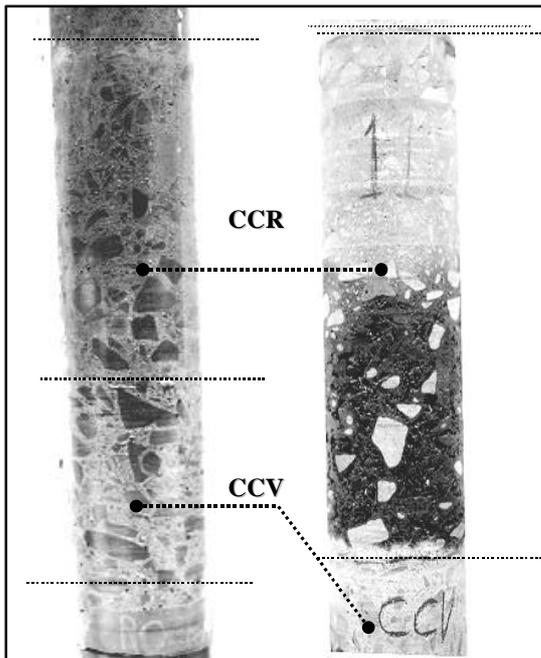


Figura 07- Testemunhos extraídos evidenciando a homogeneidade e a porosidade em relação ao CCR

#### 4.2- Atuação sobre o Equipamento de Compactação

Pode ser obtido uma melhora no desempenho da compactação, atuando sobre a velocidade de translação do rolos compactadores, e adotando-se velocidades menores.

Contudo existe um limite operacional para esta redução, quando o equipamento não consegue se manter estável durante a compactação, exigindo excessivas correções na sua direção durante o seu deslocamento. Em geral, velocidades de 2,5km/h a 3,0km/h

apresentaram-se adequadas para os equipamentos utilizados nas Barragens do Jordão e de Salto Caxias.

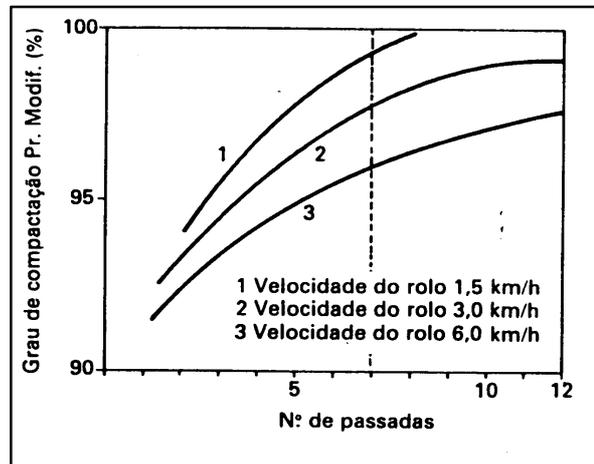


Figura 08 – Efeito da velocidade na compactação de solos [4]

Do mesmo modo, pode-se atuar sobre os equipamentos de compactação ajustando-se a amplitude de vibração, quando os rolos dispõem deste recurso, salientando-se, porém, as limitações operacionais.

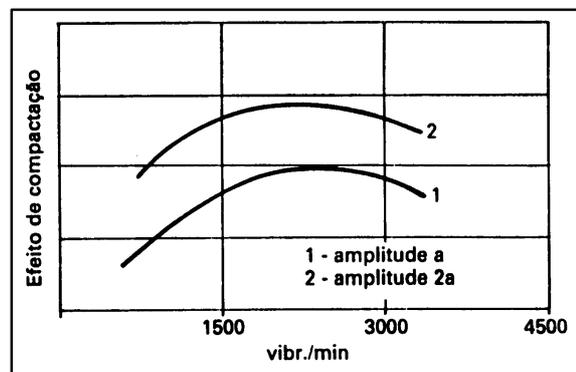


Figura 09 – Efeito da amplitude da vibração na compactação de solos [4]

A adoção de um maior número de passadas dos rolos compactadores implicará em ganho de densidade e, conseqüentemente, na redução de vazios, até determinado ponto (Figura 06). A partir deste, o ganho efetivo não é representativo em comparação à energia despendida e a perda de produtividade dos equipamentos (maior

consumo de combustível, maior desgastes dos equipamentos, maior tempo para a conclusão da compactação, maior números de equipamentos, sobre-compactação, etc.).

Em Salto Caxias foram obtidos resultados satisfatórios adotando-se 6 passadas dinâmicas (percurso de ida e volta). Na derivação do rio Jordão foi obtido os melhores resultados de densidade da camada (redução de vazios) diminuindo o número de passadas de 18 para 10 associado com a redução da velocidade dos rolos de cerca de 4,5 km/h para 2,5 km/h.

#### 4.3- Atuação sobre o Processo executivo e nas Misturas

Outras características do sistema Rolo/CCR podem contribuir para a ineficiência da compactação em termos de homogeneidade, de tal modo que a atuação apenas sobre os parâmetros dos equipamentos de compactação (velocidade, amplitude, número de passadas, tipo de rolo, etc. ) não resultem na uniformidade desejada.

A experiência na execução dos barramentos de Salto Caxias e Jordão permitem identificar as seguintes características como fatores importantes:

##### 4.3.1- Espessura das camadas.

A redução da pressão transmitida e da aceleração ao longo da profundidade das camadas podem atingir valores insuficientes para o imbricamento do agregado (redução de vazios) e para “liqüefazer” a argamassa-pasta de modo a envolver os agregados (preenchimento dos vazios), quando se aumenta excessivamente a espessura da camada.

Para equipamentos de compactação usuais na construção civil, camadas de 300 mm tem apresentado bons resultados. A utilização de camadas de 300 mm e Salto Caxias evidenciou os benefícios para a homogeneidade quando comparado com os 400 mm adotados na obra do Jordão.

##### 4.3.2- Trabalhabilidade das misturas.

A trabalhabilidade das misturas é afetada pela forma das partículas, pela proporção de agregados e finos e pela quantidade de água da mistura [1]. Para as misturas de CCR é usual a determinação da trabalhabilidade através do ensaio VeBe modificado.

Também pode ser verificada a redução da trabalhabilidade ao longo do tempo [9] em consequência pela perda de umidade da mistura ou início de pega do concreto (Figura 10).

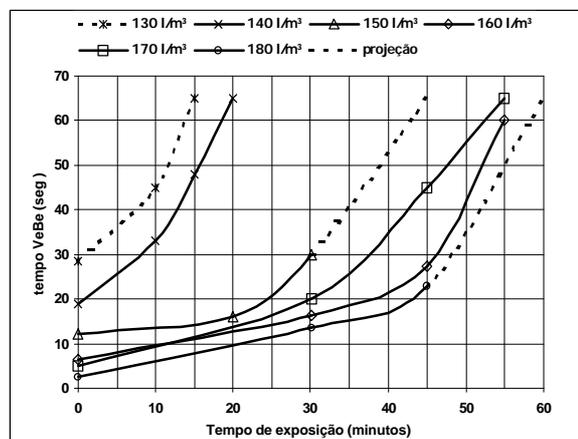


Figura 10- Perda de Trabalhabilidade com o tempo

Neste sentido, o intervalo de tempo decorrido entre o lançamento do CCR e o final de sua compactação, e as condições ambientais (vento, umidade, temperatura) podem intensificar a redução da trabalhabilidade do CCR.

Durante a execução da U.H.E. de Salto Caxias foram observadas, nos períodos de verão, temperaturas médias de 27°C (com picos de 43°C) sendo constatadas, através de medições de teores de umidade na central e no campo, perdas de até 7,5 l/m³ da água da mistura [9].

Nestas condições, a nebulização da praça de lançamento do CCR deve ser constante, de modo a minimizar os efeitos da temperatura na perda da umidade.

Variações, durante a produção das misturas, na umidade dos agregados e nos teores de finos também provocam variações na trabalhabilidade, o que resultam na variação do desempenho da compactação no campo.

Em função das características dos materiais e da obra e das condições climáticas em Salto Caxias, utilizou-se misturas de CCR com tempo VeBe (com peso) entre 15 e 20 segundos, com uma umidade (água total) de 7,4% a 7,8%.

Essas misturas possibilitaram, em geral, a obtenção de um tempo VeBe de aproximadamente 40 segundos (Figura 10), no momento da compactação [9], que pelos resultados obtidos através dos testemunhos extraídos, mostrou-se adequado ao sistema rolo/CCR adotado.

#### **4.3.3- Procedimentos de controle**

A porosidade das porções inferiores pode se dar pela inadequada aplicação do conceito do grau de compactação da camada. Isto ocorre a partir do estabelecimento de um grau de compactação mínimo para a camada, não considerando a ocorrência de variações na compactação ao longo da camada.

Desta maneira é possível que o número de passadas adotado para a obtenção deste mínimo resulte em camadas com substratos plenamente densos e outros mais porosos. Para efeitos de "Controle" da camada, o grau de compactação atenderá ao especificado.

Esta situação foi observada na fase inicial da obra da UHE Salto Caxias durante a execução do maciço da região do Vertedouro. A partir da mudança no controle de densidade, medida com o densímetro nuclear, considerando a densidade de substratos intermediários (a 100mm e a 200mm de profundidade), complementarmente à medida de densidade da camada (espessura de 300mm),

estabeleceu-se um limite mínimo para a densidade no fundo da camada.

Nessa fase da obra, as leituras de densidade da camada conduziam a um grau de compactação médio superior a 97%, com a adoção de 4 a 5 passadas do rolo. No entanto, nesta situação, obteve-se um grau de compactação médio, no substrato inferior, de cerca de 94%, enquanto para o substrato superior eram atingidos valores na ordem de 99%.

Para a obtenção de 97% da densidade teórica no fundo da camada foi necessário, em média, obter 98,5% para a média da camada completa, adotando-se para tanto um total de 6 passadas dinâmicas dos rolos compactadores. Esse procedimento foi implementado no transcorrer da obra.

#### **5- AVALIAÇÃO DA HOMOGENEIDADE DA CAMADA COM O USO DE DENSÍMETRO NUCLEAR.**

Durante a execução de pistas experimentais ou mesmo das obras em CCR, não se pode depender apenas dos dados obtidos a partir de testemunhos extraídos para a determinação da qualidade obtida com as misturas utilizadas e com a compactação aplicada.

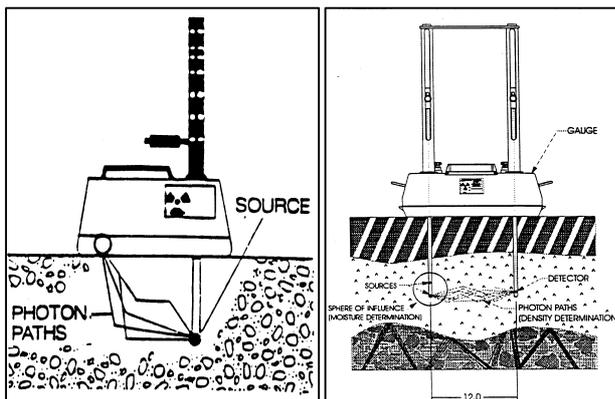
É necessário estabelecer controles durante a execução que garantam a qualidade requerida e que possam determinar mudanças rápidas no processo para atingir a qualidade desejada.

A determinação da densidade úmida e do grau de compactação das camadas, através do uso de densímetros nucleares, principalmente em obras de grande porte, tem se apresentado como um controle de uniformidade bastante eficiente no processo de compactação.

Basicamente, utilizam-se dois tipos de densímetros nucleares, o de duas hastes e o de uma haste. Para o controle da uniformidade ao longo da profundidade, o

densímetro de duas hastes apresenta a vantagem de executar a leitura da densidade do material contido entre a fonte e o detetor que estão posicionados no mesmo nível em relação a profundidade. A densidade da camada corresponderá à média das leituras realizadas a estas diferente profundidades (Figura 11). Deve-se ter a precaução, durante o uso do densímetro de duas hastes, de evitar de se tomar leituras do topo da camada anterior confundindo-a como sendo a determinação do fundo da camada que se está ensaiando.

O uso do densímetro de uma haste permite a leitura da densidade da camada em uma única determinação, uma vez que a densidade medida corresponde a do material contido entre a fonte, posicionada no fundo da camada através da haste, e o detetor, posicionado no topo da camada (Figura 11).



**Figura 11- Densímetros nucleares de uma e duas hastes.**

Para a determinação da homogeneidade da camada, é necessário determinar a densidade em outros níveis de profundidade, obtendo-se, assim, por exemplo, a densidade da semi-camada superior, quando a haste for posicionada no meio da camada, ou qualquer outra subdivisão da camada em função da profundidade da haste.

Independentemente do tipo de equipamento, a adequada avaliação da homogeneidade da camada resultará da uniformidade dos

resultados obtidos em diferentes profundidades.

O controle de qualidade da compactação, realizado pela COPEL, durante a execução das estruturas em CCR dos barramentos de Salto Caxias e de Jordão, foi realizado com densímetro nuclear de uma haste da marca CPN- modelo MS-3. As leituras de densidade foram realizadas às profundidades de 10, 20 e 30 cm.

Para o caso da barragem de Derivação do rio Jordão em Segredo, onde as camadas de CCR tinham 40 cm, a densidade da camada foi estimada a partir das leituras realizadas até 30 cm de profundidade, que corresponde ao limite da haste do equipamento. No Jordão e Salto Caxias foram obtidos os seguinte parâmetros no controle da compactação a partir de ensaios de densidade com densímetro nuclear :

Obra	Densidade	Nº de Ensaios	Coef. de Variação	Volume de CCR	Volume/ensaio
	Kg/m <sup>3</sup>		%		
Jordão [6]	2547	346	2,59	230.000	665
Caxias [5]	2600	1882	1,68	945.600	502

A avaliação da eficiência da compactação podia ser realizada imediatamente após a leitura, pela apreciação dos resultados individualmente obtidos, e assim tomar providências, se necessário, em tempo real.

Uma análise detalhada dos resultados pode ser obtida a partir da inferência estatística no conjunto de dados obtidos para uma determinada dosagem, para um tipo de equipamento de compactação, para um período de tempo específico ou qualquer outro tipo de estratificação que se fizesse necessária.

A partir dessas análises foi possível determinar, durante a execução das obras da COPEL, correções no processo executivo para a obtenção de melhor desempenho da compactação ao longo de toda a camada.

Como por exemplo:

- estabelecimento de velocidade limite para o rolo compactador em torno de 2,5 km/h;
- adoção de dosagens com maior umidade nos períodos de temperatura ambiente elevada;
- ajuste do número de passadas para a obtenção da homogeneidade da camada e as amplitudes de trabalho adequadas a cada equipamento, a partir das opções disponíveis.

## 6. COMENTÁRIOS

A consolidação no CCR, através da compactação é fundamental para a obtenção da qualidade final do concreto, e para que se possa usufruir das vantagens técnicas e econômicas desse método executivo.

A obtenção da homogeneidade das camadas de CCR será alcançada com o adequado proporcionamento das misturas e a compatibilização do sistema rolo/CCR, de modo que a relação trabalhabilidade e energia transmitida sejam potencializadas.

Sob este ponto de vista, as dosagens de CCR utilizadas nas obras de Jordão e Caxias que apresentaram melhor desempenho, caracterizavam-se pelo:

- ❖ Adequado proporcionamento de agregados de modo a se obter o melhor arranjo dos grãos e a redução da segregação na produção, transporte e espalhamento;
- ❖ Relação pasta/argamassa de adequado proporcionamento de finos para o preenchimento de vazios dos agregados; e
- ❖ Trabalhabilidade em torno do tempo VeBe (com peso) de 40 segundos, **no momento da compactação.**

Durante a execução do CCR, nas praças de lançamento, procurou-se:

- ✓ Eliminar a segregação na descarga e espalhamento;
- ✓ Reduzir as variações de espessuras das camadas em relação à adotada;
- ✓ Manter adequada e freqüente nebulização da praça durante o lançamento;
- ✓ Garantir a uniformidade da compactação sobre toda a camada, especialmente em regiões de transição entre as faixas de rolagem;
- ✓ Controlar o número de passadas e limitar a velocidade de translação dos rolos compactadores durante a compactação; e
- ✓ Reduzir o intervalo de tempo decorrido entre a adição de água na mistura e o final da compactação ao menor prazo exequível (recomenda-se em torno de 30-45 minutos, para regiões de clima semelhante ao das obras relatadas), uma vez que a trabalhabilidade do CCR representa um dos aspectos que mais influem para a qualidade da compactação.

Essas medidas somente apresentarão resultado se o esforço compactador for suficiente para promover o adensamento do CCR, principalmente nas porções inferiores das camadas.

A investigação prévia deve estabelecer se os equipamentos utilizados (amplitude, freqüência, peso, velocidade) são compatíveis com a espessura adotada e a mistura utilizada. Em geral, esta investigação depende da execução de pistas experimentais, uma vez que o sistema Rolo/CCR não é suficientemente simulado pelos métodos laboratoriais geralmente utilizados.

E, finalmente, é preciso estabelecer controles durante a produção das misturas e durante a construção que verifiquem a obtenção da qualidade desejada e que possam estabelecer correções imediatas, uma vez que a produtividade que o CCR imprime às obras não permite demora na tomada de decisões.

## 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

[1]- ACI-American Concrete Institute, ACI 309R-96 - **GUIDE FOR CONSOLIDATION OF CONCRETE**, Reported by ACI Committee 309, 1997;

[2]-Andriolo, Francisco R. - **"CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO E O DESENVOLVIMENTO DO CONCRETO ROLADO"**, BARBER GREENE, São Paulo-S.P., 1989.

[3]- Andriolo, Francisco R.- **"THE USE OF ROLLER COMPACTED CONCRTE"**- Oficina de Textos- São Paulo-SP, 1998

[4]Catalani, G.,Ricardo,H.S.-**"MANUAL PRÁTICO DE ESCAVAÇÃO"**, Ed. PINI Editora, São Paulo-SP,1990.

[5]COPEL-Companhia Paranaense de Energia, **RELATÓRIO MENSAL**, Departamento de Construção de Salto Caxias/ Divisão de Obras Civis. U.H.Salto Caxias, Fevereiro a Dezembro de 1997, Não publicados.

[6]COPEL-Companhia Paranaense de Energia, **RELATÓRIO MENSAL**, Departamento de Construção de Salto Caxias/ Divisão de Apoio a Derivação do Jordão. U.H.Salto Caxias, Fevereiro a Dezembro de 1995, Não publicados.

[7]Kamel, Kamal F. S., Tema 1 - **"PROJETOS ENVOLVENDO SOLUÇÕES COM CCR"**. In : II Simpósio Nacional de Concreto Compactado a Rolo, Relatos , Curitiba-Pr, Brasil, 1996.

[8]OLIVEIRA, L.F.P. de, KREMPEL, A. F., PEREIRA, M.A.C.-**"CONTROLE DE QUALIDADE DA COMPACTAÇÃO DO CCR NA BARRAGEM DA U.H. DE SALTO CAXIAS"**. In : XXII Seminário Nacional de Grandes Barragens. C.B.G.B, Anais ..., Volume II. São Paulo -SP, Brasil, Abril/1997;

[9]OLIVEIRA, L.F.P. de, MOSER, D.E. & ALBUQUERQUE JR, O.- **"ESTUDOS AVANÇADOS DO CCR - CAMADAS TESTES NA MARGEM DIREITA DA BARRAGEM DA U.H. SALTO CAXIAS"**-. Relatório Interno da COPEL nº VOCKV-CX-RT-009/97.Setembro/97. Não publicado.