



**Comitê Brasileiro de
Grandes Barragens**

XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS

Concreto Adensado com Rolo Vibratório -
Sugestões para Projeto e Construção

ANAIS

Belo Horizonte, novembro de 1985

XVI - SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS
BELO HORIZONTE - MG - NOVEMBRO/1985.

- CONCRETO ADENSADO COM ROLO VIBRATÓRIO -
SUGESTÕES PARA PROJETO E CONSTRUÇÃO

TEMA I

ENGº FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO

MARÇO/1985.

RESUMO

O trabalho é um conjunto de informações sobre o "Concreto Rolado" - Concreto Adensado com Rolo Vibratório com finalidade de sugerir cuidados para projeto e orientações para construção.

As informações, aqui contidas, são uma coletânea de dados obtidos em estudos e obras no Brasil - (Itaipu e Tucuruí) complementadas com referências de âmbito internacional.

Pretende-se dessa forma trazer à discussão da comunidade técnica, informações sobre uma técnica com grandes vantagens econômicas - que se consolida gradativamente e de modo promissor.

ÍNDICE

		página
	RESUMO	
1	OBJETIVO	01
2	CONCEITO	02
3	EVOLUÇÃO	03
4	MATERIAIS E COMPOSIÇÃO DA MISTURA	03
4.1	Generalidades	08
4.2	Agregados	09
4.3	Aglomerantes	11
4.4	Aditivos	12
4.5	Água	12
4.6	Composição da Mistura	13
5	CARACTERÍSTICA TÉCNICAS	16
5.1	Generalidades	16
5.2	Resistência à Compressão Axial Simples	16
5.3	Massa Específica	17
5.4	Resistência à Tração	17
5.5	Resistência ao Cisalhamento	17

	<u>página</u>	
5.6	Propriedades Elásticas	18
5.7	Deformação Lenta	19
5.8	Capacidade de Alongamento	20
5.9	Variações de Volume	21
5.10	Propriedades Térmicas	22
5.11	Permeabilidade e Absorção	22
6	PRODUÇÃO DO CONCRETO ROLADO	28
6.1	Generalidades	28
6.2	Misturadores	29
6.2.1	Misturadores Tipo Basculante	29
6.2.2	Misturadores Forçados	30
6.2.3	Misturadores Contínuos	30
6.2.4	Caminhões Betoneira	30
7	TRANSPORTE DO CONCRETO ROLADO	32
7.1	Generalidades	32
7.2	Tipos de Transporte	33
7.2.1	Transporte por Betonadas ou Lotes	33

	página
7.2.2 Transporte Contínuo	34
8 LANÇAMENTO E ESPALHAMENTO	36
8.1 Generalidades	36
8.2 Condições Climáticas	37
9 Compactação	40
9.1 Generalidades	40
9.2 Controle de Compactação	42
10 PREPARO DE SUPERFÍCIES	45
10.1 Generalidades	45
10.2 Fundação	45
10.3 Juntas de Construção	48
10.4 Juntas de Contração	50
11 ARMADURAS E EMBUTIDOS	54
11.1 Generalidades	54
11.2 Armaduras	54
11.3 Embutidos Metálicos	54
11.4 Veda Juntas	54

		página
11.5	Drenos	55
12	GALERIAS E POÇOS	59
12.1	Generalidades	59
12.2	Formas	59
12.3	Pre-Moldados em Concreto	60
12.4	Moldagem por enchimento com Material Inerte	61
13	FORMAS E ACABAMENTOS	62
14	CURA E PROTEÇÃO	64
15	INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE	65
15.1	Instrumentação	65
15.2	Controle de Qualidade	65
16	FUNDAÇÃO	67
17	CRITÉRIO DE PROJETO	68
17.1	Generalidades	68
17.2	Considerações de Projeto	68
17.3	Estabilidade contra o Tombamento	69
17.4	Estabilidade contra o Deslizamento	69

17.5	Dimensões dos Monolitos	70
	Espaçamento de Juntas	
	Intervalos de Lançamento	
	Temperatura de Lançamento	
	Altura de Camadas	
17.6	Exemplos de Barragens	70
18	CUSTOS	74
19	COMENTÁRIOS	75
20	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1. OBJETIVO

Estas Notas Técnicas tem por finalidade apresentar, uma série de informações sobre o Concreto Adensado com Rolo Vibratório com intuito de auxiliar na decisão de possibilitar o seu emprego em projeto e construção em obras de Barragens.

Especial atenção é dada no sentido de avaliar as características desse material e as vantagens de seu eventual uso como alternativa para Projeto.

2. CONCEITO

O Concreto Adensado com Rolo Vibratório - Concreto Rolado - Rollcrete - R.C.C. - representa uma técnica, onde um concreto sem trabalhabilidade é transportado, colocado e compactado por meio de equipamentos de construção de maciços de terra e rocha.

Essa técnica permite um lançamento contínuo e pode possibilitar economia de tempo e custo, na construção de barragens do tipo Gravidade.

3. EVOLUÇÃO

O conceito do Concreto Rolado provavelmente teve um grande impulso nas conferências de Asilomar [1] - Califórnia - E.U.A. - em março de 1970. Nessas conferências foram apresentados trabalhos comentando a aplicação de equipamentos de construção de maciços de terra e rocha para a construção de maciços de concreto.

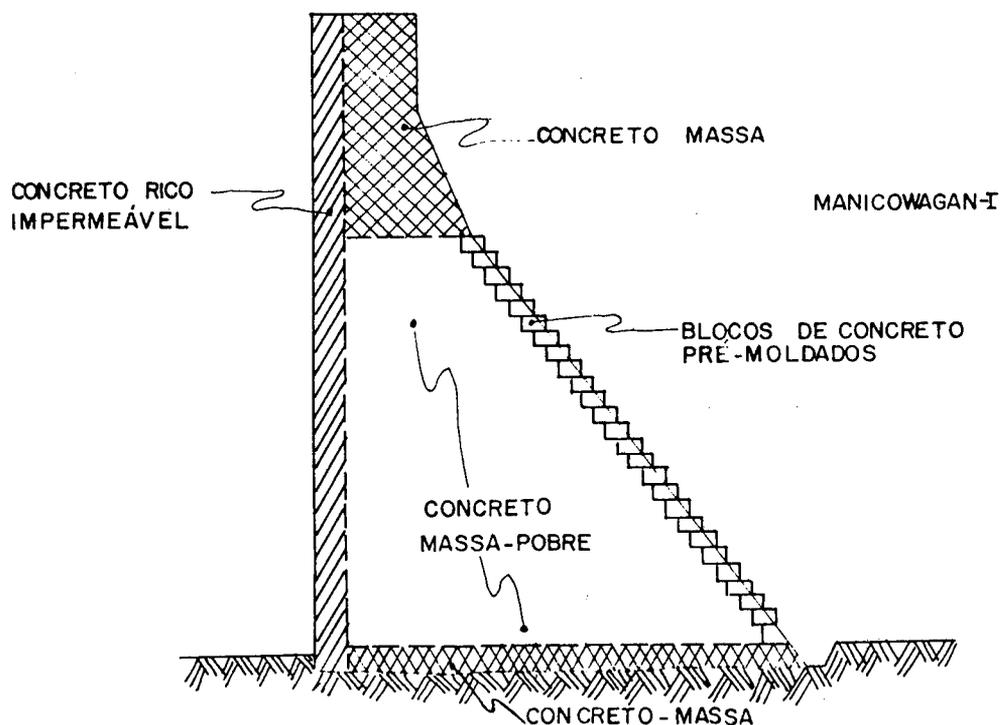
O primeiro modelo em escala natural para a aplicação do Concreto Rolado, foi efetuado em [2] [3] 1970, na Barragem de Tims Ford pelo Tennessee Valley Authority.

Os estudos seguintes que incluíram além de aterraos modelos, outros ensaios em laboratório, foram efetuados pelo Corps of Engineers [4] nos anos de 1972 e 1973, para a Barragem de Elk Creek. Em maio de 1973 um amplo estudo foi executado pelo Corps of Engineers [5] na Barragem de Lost Creek-Oregon.

Entre 1958 e 1964 uma grande inovação foi aplicada na construção da Barragem de Alpe Gera (altura 178 m e volume de concreto de 1716000 m^3) [1], na Lombardia-Itália, onde o concreto foi lançado em uma série de camadas horizontais de aproximadamente 70 cm de altura em lugar de se aplicar concreto em blocos convencionais. Dessa forma a Barragem de Concreto foi construída usando métodos de construção de Barragem de Terra, sendo o concreto transportado por caminhões fora de estradas espalhados com Bulldozer com consideráveis reduções de tempo e custo.

Em 1965, a Barragem de Manicowagan - I - foi construída pela Hydro Quebec - no Canadá [6] usando o lançamento horizontal. O conceito dessa técnica era de que uma Barragem Gravidade poderia ser considerada em três partes:

- uma a montante contendo uma região de concreto impermeável;
- uma de jusante com blocos de concreto pré-moldado e;
- a parte central contendo concreto pobre (massa).



Esse conceito foi adaptado e desenvolvido em 1973, com a utilização do concreto massa-pobre compactado com rolo vibratório [7]. Como esse concreto massa-pobre não foi considerado suficientemente impermeável, o que poderia causar alguma lixiviação, foi colocada uma série de drenos, à jusante da camada impermeável de montante, na transição para o concreto massa compactado com rolo vibratório. A única alteração desse método modificado, em 1973, para aquele usado em Alpe-Gera, (com 178 m de altura) entre 1958 e 1964, foi a da compactação, através do rolo vibratório, em lugar dos vibradores de imersão.

Um amplo estudo foi efetuado na Universidade de New Castle [8] para verificar a situação de lixiviação e a condição de aderência entre sub-camadas. Ao final dos estudos foi confirmada [9][10], a conveniência de se usar a série de drenos, entre o concreto massa de paramento (ã montante) e o concreto massa compactado com rolo vibratório, aplicado no Corpo da Barragem.

Em 1974, o Ministério das Construções do Japão, através do Committee on Rationalized Construction of Concrete Dams (Dr. Masatame Kokubu - Chairman) [11] iniciou um programa de pesquisas com o objetivo de reduzir prazos e custos de construção de Barragens de Concreto. Levou-se em consideração que a qualidade e o aspecto deveriam ser de mesmo nível que às Barragens de Gravidade em Concreto. Um estudo preliminar concluiu que o método adotado em Alpe Gera combinado com o Processo de Compactação (com rolo vibratório) usado nos estudos de Lost Creek, era a linha mais conveniente a ser seguida [12].

Em 1976 a ensecadeira de montante da Barragem de Okawa foi utilizada [13] como modelo (1:1) para avaliação do método proposto. As faces do barramento foram moldadas contra formas usando concreto convencional adensado por vibradores de imersão e o núcleo foi construído simultaneamente com "Concreto Rolado". Essa aplicação foi sucedida de outras execuções de aterros experimentais e ensaios de laboratório [14].

Em 1981, noticiou-se nos Proceedings of the International "C.I.R.I.A."-Conference of Construction Industry Research and Information Association - Londres, que a Barragem de Shimajigawa e parte da Barragem de Okawa estavam sendo construídas com "Concreto Rolado" [15] [16].

Em 1976 o "Concreto Rolado" foi usado na fundação, em Tamar Cornwall - Reino Unido [17]. Ainda em 1976 a primeira aplicação de caráter estrutural do "Concreto Rolado" foi efetuada pelo T.V.A. nas fundações da Turbina da Bellefonte Nuclear Power Station, No Alabama-E.U.A. [18] [19] [20] [21].

Em 1978 o U.S. Army Corps of Engineers utilizou o "Concreto Rolado" no Projeto de Moose Creek - Rio Cheena-Alaska [22].

Desde 1975 um grande volume de "Concreto Rolado" foi aplicado em Tarbela - Paquistão [23] [24] para restituir regiões erodidas.

Em 1980 noticiou-se a aplicação do "Concreto Rolado" em certas regiões da obra de Itaipu, no Rio Paraná - Brasil - Paraguai [25], efetuada em 1978.

Em 1982 foi notificado [26] o término da Barragem de Willow Creek - Oregon, totalmente construída em "Concreto Rolado", pelo Corps of Engineers - U.S. Army, sem juntas transversais de contração.

Em 1983 publicou-se [27] um conjunto de informações sobre a aplicação do "Concreto Rolado" em partes das Eclusas de Navegação da Barragem de Tucuruí, no Rio Tocantins - Brasil, através de projeto desenvolvido pela THEMAG Engenharia Ltda.

Em março/1984 [28] o Bureau of Reclamation - E.U.A. divulgou informações sobre a construção da Barragem de Upper Stillwater - Utah - E.C.A. em "Concreto Rolado", com inovações quanto à critérios de Projeto. Um dos aspectos inovadores desses critérios é o reconhecimento da resistência à tração do concreto, o que permi-

tiu reduzir o talude de jusante, para uma inclinação de 0,6 H:1,0 V, mesmo para uma barragem de mais de 85 m de altura, como é o caso de Upper Still Water, que terá um volume de aproximadamente 1.000.000 m³ de "Concreto Rolado".

O Japão, dentro de seu programa de uso de "Concreto Rolado" esta construindo as Barragens de [11]:

Obra	Altura (m)	Volume de Concreto (m ³)	
		Total	Concreto Rolado
Tamagawa	103	1760.000	1.000.000
Pirika	40	370.000	350.000

sendo que muito esta se esperando [11] do "Concreto Rolado" para as futuras barragens a serem construídas no Japão, em um curto espaço de tempo.

Atualmente, a técnica do "Concreto Rolado" vem sendo considerada com muita seriedade para vários projetos de hidroelétricas, como por exemplo [29] Silver Lake e West Creek no Alaska, North Fork of the Snoqualmie, em Washington, Minto no Oregon e Cache la Poudre River no Colorado.

4. MATERIAIS E COMPOSIÇÃO DA MISTURA

4.1 Generalidades

O "Concreto Rolado" é um concreto de consistência seca que é adensado por vibração externa através do uso de rolos vibratórios. Difere do concreto convencional, principalmente no que se refere à trabalhabilidade e consistência. Para a sua efetiva consolidação o "Concreto Rolado" deve ser suficientemente "seco" para suportar o peso do equipamento de adensamento, mas convenientemente úmido para permitir a adequada distribuição da pasta ligante na massa de concreto durante as operações de mistura e compactação. Os requisitos de consistência têm uma influência direta no proporcionamento da mistura.

O "Concreto Rolado" adequado para a compactação com rolos vibratórios difere significativamente no aspecto, em seu estado ainda não adensado, do concreto convencional que possui um valor mensurável de trabalhabilidade. A evidência da pasta, na mistura do "Concreto Rolado" não adensado, é pequena, sendo que o teor de pasta só é notado na mistura compactada. Qualquer mistura granular desse tipo, pode ser compactada até a máxima massa específica, sob determinada vibração. A massa específica máxima de uma certa mistura, depende do teor de vazios e do teor de argamassa usado.

Com "Concreto Rolado" composto por agregado graúdo a partir de Basalto (massa específica $2,93 \text{ t/m}^3$) se atingiu uma massa específica de $2,57 \text{ t/m}^3$ [27], sendo que com agregados com massa específica ao redor de $2,7 \text{ t/m}^3$ obteve-se "Concreto Rolado" com massa específica ao redor de $2,5 \text{ t/m}^3$ [27] [30].

A diferença de teores de água entre o "Concreto Rolado" e o concreto convencional é decorrente da diferença básica entre os dois tipos de concretos devido à energia de compactação necessária para cada tipo.

4.2

Agregados

A escolha e o controle granulométrico dos agregados são fatores importantes que influenciam na qualidade e nas propriedades do "Concreto Rolado". Embora, os requisitos de qualidade dos agregados usados no concreto não sejam diretamente influenciados pelos requisitos de resistência do concreto, as variações dos agregados podem afetar significativamente os teores de água e aglomerante da mistura e conseqüentemente a resistência. Nas estruturas de concreto massa a prática de usar, irrealisticamente, elevadas resistências, aumenta desnecessariamente o custo da obra e é o contribuinte principal para os problemas de fissuração decorrentes do calor de hidratação do aglomerante.

Algumas substâncias, tais como as partículas mais finas que a malha nº 200, certos materiais friáveis que em quantidade acima dos limites especificados (pelas especificações usualmente adotadas) afetam o teor de água requerida (e então a resistência) do concreto plástico convencional, podem não ser prejudiciais para misturas secas como o "Concreto Rolado". Entretanto, não devem ser incluídas, nessa tolerância, materiais e/ou minerais que venham propiciar expansões ou reações incontroláveis.

Para várias barragens, os requisitos atuais de resistência [30] podem ser razoavelmente baixos, de tal ordem a poder tolerar o aumento de eventuais quantidades de materiais deletérios, como citado anteriormente.

Materiais mais finos que a peneira de malha nº 200 (75 μ m). Em quantidades mais elevadas que o normal [30], podem reduzir o teor de pasta necessário para uma determinada energia de compactação. O material fino atua como "Filler".

Ensaio executados [31] [32] [33] bem como várias especificações e recomendações atuais [34] [35] [36] [37] permitem para o "concreto Rolado" teores entre 5% a 15% de material passando na peneira de malha nº 100 (150 μ m) e de 1% a 10% de material passando na peneira de malha nº 200 (75 μ m), levando em consideração a plasticidade dos finos.

As especificações usuais para os concretos massa toleram o material passante na peneira de malha nº 100 (150 μ m) entre 2% e 10%. Entretanto os estudos já demonstraram que no "Concreto Rolado" os teores permitidos possibilitam obter melhores propriedades, sendo que essa fração atua como um "Filler". Dessa forma pode-se utilizar uma fração de material do agregado que para o concreto massa convencional seria eliminada. Há dessa forma possibilidade de simplificação e redução de custo do sistema de beneficiamento do agregado.

Nas construções em concreto massa o controle do calor de hidratação deve ter maior importância [30] que o custo para determinação do tamanho máximo do agregado. Dessa forma, e sabendo-se que o aumento do tamanho máximo do agregado proporciona [38] [39] uma redução do teor de aglomerante, é recomendável usar agregado graúdo de grandes dimensões. Na construção da barragem de Tamagawa-Japão esta sendo usado "Concreto Rolado" com agregado de tamanho máximo 150 mm [11].

4.3 Aglomerantes

O "Concreto Rolado" pode ser dosado com qualquer tipo de cimento e material pozolânico que atenda os requisitos para uso no concreto convencional. A escolha do tipo de cimento é feita com base nos requisitos estruturais e de durabilidade e não pelo método usado para lançamento e compactação do concreto. Embora as especificações padrões sobre pozolana, devam ser usadas para julgar a adequabilidade e selecionar o tipo de material pozolânico, a escolha final do tipo e do teor de material pozolânico deve ser feita com base no desempenho requerido para o concreto da obra, determinado através de ensaios. A principal diferença na escolha e proporcionamento de cimento e material pozolânico usado no "Concreto Rolado", em comparação com os concretos convencionais é referente a possibilidade de usar altos teores de material pozolânico e a reduzida ênfase sobre o efeito do material pozolânico na trabalhabilidade.

No proporcionamento de misturas para um mínimo teor de pasta, uma das principais funções do material pozolânico, ou da adição de finos, é o preenchimento dos vazios que de outra forma poderiam ser ocupados pelo cimento ou pela água. Seria a atuação do material pozolânico como um "Filler".

A escolha, entretanto, da quantidade do material pozolânico deve, além de se fundamentar nas características técnicas, ser feita com base nas vantagens econômicas considerando a atividade pozolânica com o cimento e os custos decorrentes de transporte e manuseio. Embora, outros países venham usando largas porcentagens de material pozolânico em reposição à parte do cimento, para os concretos, massa convencional, e "Ro

lado", no Brasil, até o momento (1985), os materiais pozolânicos disponíveis não tem apresentado vantagens que possibilitem o uso de percentuais de reposição (em volume sólido) à parte de cimento, superiores à 15% ou eventualmente 30%. Estudos executados em Itaipu [40] [41] e Tucuruí [42] confirmam essa impossibilidade, até o presente momento (março-1985). Entretanto a possibilidade de uso de grandes percentuais de material pozolânico não deve ser descartada, para projetos futuros, como também não deve ser desprezada a viabilidade de uso de materiais do tipo Micro-Sílica (materiais de elevada finura).

4.4 Aditivos

O uso de aditivos para controlar o tempo de pega, melhorar a trabalhabilidade e aumentar a durabilidade, é uma prática conhecida e adotada para o concreto convencional.

Os estudos executados [25] [26] [27] [30] [31] [32] [33] [34] [37] até o momento, com "Concreto Rolado", não têm mostrado benefícios com a utilização de aditivos para a incorporação de ar, mesmo na redução do teor de água. Por outro lado, tem sido observado que os aditivos retardadores de pega auxiliam sobremaneira o controle do tempo de pega do "Concreto Rolado", minimizando a possibilidade de ocorrência de juntas frias, facilitando, então, as condições de colocação do "Concreto Rolado".

4.5 Água

A água a ser utilizada no "Concreto Rolado" não exige requisitos diferentes da água normalmente utilizada nos concretos convencionais, massa e estrutural.

4.6 Composição da Mistura

A rotina normalmente adotada para o proporcionamento de concretos convencionais, utiliza como parâmetro fundamental a trabalhabilidade, medida pelo tronco de cone, e desta maneira não se adequa para a dosagem do "Concreto Rolado", visto o baixo teor de água deste tipo de concreto.

O método alternativo que se tem adotado [27] [30] [34] fundamenta-se no conceito de máxima densidade como descreve a rotina a seguir:

- Determina-se a composição das várias gamas granulométricas, para o menor Índice de vazios.

O proporcionamento do agregado graúdo depende da combinação dos efeitos dos vazios dos agregados, área superficial e forma das partículas [43]. Normalmente o volume de vazios decresce à medida que aumenta o tamanho máximo do agregado. As composições devem ser feitas de modo a se ter o máximo tamanho de partículas.

Dependendo da quantidade de misturas a serem usadas na obra, a granulometria pode ser constituída de um menor número de gamas granulométricas, procurando reduzir a condição de manuseio dos agregados e simplificando o conjunto de instalações para produção e beneficiamento dos agregados.

O volume absoluto do agregado graúdo em um volume unitário de "Concreto Rolado" tem se enquadrado nos seguintes intervalos percentuais:

Referência	Condições dos Agregados	Tamanho Máximo do Agregado (mm)	152	114	76	38	19	9.5
A.C.I-207 [30]	-	Percentual do volume absoluto do Agregado, em relação ao volume de Concreto	63-64	61-63	57-61	52-56	46-52	42-48
Tucuruí [42]	Brita + Areia natural		-	-	63-66	52-56	50-54	-
Itaipu [25]	Brita + Areia natural + Areia Britada		-	-	48-52	44-47	38-42	-
Shimajigawa [15]	Brita + Areia natural		-	-	51-55	-	-	-
Shin-Nakano [44]	Brita + Areia natural		52-55	-	50-52	-	-	-
Willow-Creek [31]	Brita + Finos Britados + Areia Natural		-	-	45-50	-	-	-

- Determina-se o teor de argamassa para se obter a máxima massa específica com base no método de compactação adotado;

- Determina-se o teor de pasta (aglomerante + água) para a massa específica máxima, a partir da porcentagem ideal de argamassa;

- Estabelecem-se as adequadas relações cimento/material pozzolânico e água/aglomerante (cimento equivalente) para atender às propriedades requeridas.

O teor de água tem-se apresentado nos seguintes limites:

Referência	Condições dos Agregados	Tamanho Máximo Agregado (mm)	152	114	76	38	19	9.5
A.C.I - 207 [30]	-	Teor de Água	77	80	86	98	107	116
Tucuruí [42]	Brita+Areia natural		-	-	65	80	90	-
Itaipu [25]	Brita+Areia Natural + Areia Britada		-	-	70	90	100	-
Shimajigawa [15]	Brita+Areia Natural		-	-	105	-	-	-
Shin-Nakano 44	Brita+Areia Natural		95	-	102	-	-	-
Willow - Creek [31]	Brita+Finos Britados + Areia Natural		-	-	80	-	-	-

Esses teores são profundamente afetados pela energia de compactação.

A dosagem pode ser feita utilizando-se um equipamento de compactação portátil que apresenta eficiência semelhante a dos compactadores a serem usados na obra. Dessa forma os teores de materiais são proporcionados com base nas massas específicas obtidas, após um determinado tempo de compactação, por pesagem do volume compactado.

5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

5.1 Generalidades

O "Concreto Rolado" tem as mesmas propriedades significativas do concreto massa convencional. Os valores obtidos para as diversas propriedades tem mostrado grande semelhança para os dois tipos de concreto. Algumas diferenças são imputadas em sua maior parte à diferença no proporcionamento, pois o "Concreto Rolado" possui menor teor de água que o concreto massa convencional, e menor teor de pasta (ao redor de 70% daquela do concreto massa convencional).

5.2 Resistência à Compressão Axial Simples

A resistência à compressão axial simples do concreto compactado é afetada principalmente pela relação água/aglomerante e pela energia de compactação. Para equivalentes fatores água/aglomerante, as resistências obtidas [5] [11] [20] [26] [27] [30] [35] [37] para o "Concreto Rolado" são aproximadamente 15 a 30% mais elevadas (idades superiores à 90 dias) do que as do concreto massa convencional.

As informações existentes mostram que o "Concreto Rolado" tem apresentado os seguintes valores de "Rendimento" (η) da resistência a compressão:

Idade (dias)	Rendimento $\eta = (\text{kgf/cm}^2)/(\text{kgf/m}^3)$		
	Concreto Rolado $\phi_{\text{max}} - 76 \text{ mm}$	Concreto massa convencional $\phi_{\text{max}} - 152$	[45] [46] [47]
90	1,20 a 1,50	1,10 a 1,40	
180	1,50 a 2,00	1,30 a 1,60	
360	2,00 a 2,30	1,60 a 1,80	

Por "Rendimento" - η (ou eficiência) entende-se a relação entre a resistência a compressão axial simples e o respectivo teor de aglomerante na mistura.

5.3 Massa Específica

A massa específica obtida para o "Concreto Rolado" é ligeiramente superior, ao redor de 1% a 3% a mais, ao do concreto massa convencional, com os mesmos tipos de agregados. Isto ocorre devido ao menor teor de água e de pasta da mistura e da maior energia de compactação do "Concreto Rolado".

5.4 Resistência à tração

O "Concreto Rolado" apresenta resistência a tração, com valores ao redor de 10% a 15% do valor da respectiva resistência a compressão axial simples [5] [8] [25] [27] [30] [35] [37] [42].

5.5 Resistência ao Cisalhamento

A resistência ao cisalhamento do "Concreto Rolado" também apresenta valores nas mesmas proporções [42] com relação à resistência à compressão axial simples, que as observadas para o concreto massa convencional.

Ensaio de cisalhamento sem confinamento têm demonstrado [30] [37] que não há diferença significativas entre os valores do "Concreto Rolado" e os do concre-

to massa convencional equivalente.

Quanto a resistência ao cisalhamento nas juntas de construção entre camadas ou entre sub-camadas do "Concreto Rolado", ensaios pelo método CRD-C-89 "Method of Test for Longitudinal Shear Strength, Unconfined Single Plane - Cement and Concrete Handbook - U.S. Army Corps of Engineers" e também pelo método de cisalhamento com confinamento [37], mostraram que os valores do "Concreto Rolado" monolítico, e os valores dos testemunhos da junta de construção se assemelham, na mesma relação que para o Concreto Massa Convencional.

5.6 Propriedades Elásticas

Os principais fatores que afetam as propriedades elásticas do concreto são, a idade, o tipo de agregado, o fator água/cimento ou qualidade da pasta. O módulo de deformação do concreto aumenta com a idade e é governado nas idades iniciais, principalmente, pelo teor de aglomerante, após o que passa a ser afetado, grandemente, pelas características elásticas dos agregados.

O módulo de deformação do "Concreto Rolado" é menor que o módulo de deformação do concreto massa convencional, nas baixas idades devido ao menor teor de pasta (cimento e água). A partir da idade de, aproximadamente, 90 dias, o módulo de deformação do "Concreto Rolado" se assemelha ao do concreto massa convencional.

Enquanto que o módulo de deformação do concreto massa convencional apresenta-se com valores de 120.000

kgf/cm² a 250.000 kgf/cm² [48] [49] [50] à idade de 7 dias o "Concreto Rolado" apresenta-se com valores de 60.000 kgf/cm² a 100.000 kgf/cm² [30] [37].

Essa diferença é extremamente vantajosa para o "Concreto Rolado", no que se refere às tensões de origem térmica, pois de forma aproximada tem-se:

$$\sigma_t = \Delta\theta \cdot \alpha \cdot E \cdot f_r - \sigma_{cr} \quad \text{onde}$$

σ_t = tensão de tração devido à variação de temperatura

$\Delta\theta$ = máxima queda de temperatura

α = coeficiente linear de expansão térmica

E = módulo de deformação

f_r = fator de restrição

σ_{cr} = relaxação de tensão devido à fluência

Nota-se então que havendo redução do valor de "E", o valor da tensão " σ_t " de tração, devido à queda de temperatura, será também reduzido, diminuindo consequentemente a possibilidade de fissuração.

Os valores de coeficiente de Poisson para o "Concreto Rolado" não tem mostrado diferenças significativas para com aqueles conhecidos para o concreto massa convencional. Os valores encontrados têm se situado entre 0,17 e 0,22.

5.7 Deformação Lenta

A fluência é grandemente influenciada pelo módulo de deformação do agregado e pelo teor de finos na arga

massa. De maneira geral os valores obtidos para o "Concreto Rolado", até o presente [37], não têm apresentado diferenças significativas com relação aos valores de coeficiente de fluência obtidos para o concreto massa convencional.

Normalmente a fluência pode ser expressa por:

$$\epsilon = \frac{1}{E} + f(k) \log (t + 1), \text{ onde}$$

ϵ = deformação específica por unidade de tensão

E = módulo de deformação

$f(k)$ = coeficiente de fluência

t = idade

sendo o valor do módulo de deformação "E" do "Concreto Rolado" menor que o do concreto massa convencional à baixas idades, e os valores de $f(k)$ praticamente iguais, o valor de " ϵ " do "Concreto Rolado" será maior que o do concreto massa convencional.

5.8 Capacidade de Alongamento

Os fatores que normalmente afetam a capacidade de alongamento (Strain Capacity) são o tipo do agregado, forma das partículas, o teor de cimento e o tamanho máximo do agregado [51]. Concretos com agregados britados possuem maior capacidade de alongamento. O aumento do teor de cimento aumenta a capacidade de alongamento, porém aumenta mais ainda os problemas de origem térmica.

Deve-se, entretanto, considerar de modo apropriado, com base na expressão [52]:

$$\epsilon^1 = \frac{\sigma_{ti}}{E_i} + \frac{\sigma_{ti} - \sigma_{tk}}{2} \times f(k) \log_e (t+1) \text{ onde}$$

ϵ^1 = capacidade de alongamento

σ_{ti} = resistência à tração na época i

E_i = modulo de deformação na época i

σ_{tk} = resistência à tração na época k

$f(k)$ = coeficiente de fluência

que fazendo-se a correção de fluência sobre os valores de tração do ensaio rápido ter-se-á uma maior capacidade de alongamento para uma solicitação lenta, semelhante à que ocorre pela dissipação de calor do interior da massa de concreto.

5.9 Variações de Volume

A ocorrência de variação de volume devido à perda de água ou retração por secagem é significativamente menor no "Concreto Rolado", devido ao menor teor de água e cimento, do que no concreto massa convencional. A superfície esta sujeita à secagem, como em todos os concretos, mas há também no "Concreto Rolado" menor superfície de pasta e maior restrição, devido ao maior volume de agregados.

Devido ao menor teor de pasta (água e cimento), a água de exsudação (Bleeding) é menor ou praticamente nula. O assentamento plástico, também, é menor ou praticamente nulo.

As variações de volume do concreto são afetadas pela quantidade, tipo e qualidade do cimento. Como o teor

do cimento do "Concreto Rolado" é menor que o do concreto massa convencional de mesma resistência mecânica é estimado que a variação autógena de volume do "Concreto Rolado" seja menor que a do concreto massa convencional equivalente.

As expansões decorrente da reação álcalis - agregados também seriam menores devido ao menor teor de cimento no "Concreto Rolado".

As variações de volume devido aos fatores térmicos são influenciadas pelo teor e tipo de aglomerante e pela característica e quantidade de agregados. Considerando que o "Concreto Rolado" tem menor teor de cimento para um mesmo nível de resistência que o concreto massa convencional, a evolução adiabática será menor, o que implica em uma variação volumétrica menor.

5.10 Propriedades Térmicas

As características térmicas - difusidade - condutividade - calor específico e coeficiente linear de expansão térmica do "Concreto Rolado" não apresentam diferenças significativas quando comparadas com as do concreto massa convencional equivalente.

5.11 Permeabilidade e Absorção

A permeabilidade e absorção do concreto depende muito do sistema e distribuição de vazios, do grau de compactação, bem como do teor de pasta da mistura. A absorção do "Concreto Rolado" tem se apresentado entre 3% a 5%.

Os ensaios ~~[25]~~ ~~[27]~~ ~~[35]~~ têm mostrado que o "Concreto Rolado" apresenta valores de permeabilidade entre 10^{-5} cm/s e 10^{-9} cm/s, determinados de acordo com o método CRD-C-48 - "Method of Test for Water Permeability of Concrete" - U.S. Army - Corps of Engineers.

Esses valores são maiores que os obtidos para o concreto massa convencional que se situam entre ~~[53]~~ ~~[54]~~ ~~[55]~~ 10^{-11} cm/s e 10^{-12} cm/s.

Para projetos de Hidroelétricas sugere-se ~~(envolver o núcleo de "Concreto Rolado" com um revestimento impermeável executado com concreto massa convencional. como executado pela THEMAG no projeto dos muros de abraço da cabeça das Eclusas de Tucuruí [27] [42], como também descrito no item 3, [7] [8] [9] [10] e executado na Barragem de Shimajigawa [15].~~

Ter-se-á dessa forma um paramento, a montante, executado em concreto massa convencional, juntamente com o "Concreto Rolado"



Concreto massa convencional, sendo executado junto com o "Concreto Rolado" - Eclusas de Tucuruí - Brasil.

A espessura desse paramento ~~pode ser~~^e dimensionada levando em consideração a permeabilidade do concreto massa do paramento, a pressão de água do reservatório e o período de vida útil da obra.

gráficos
É apresentado, em caráter preliminar e orientativo, um rápido dimensionamento da espessura do paramento de modo não haver carga hidrostática no "Concreto Rolado", para o caso de uma barragem de 169 e 85m. Conservadoramente, em lugar de se adotar a permeabilidade do concreto massa convencional $K = 10^{-11}$ cm/s, se considerou a permeabilidade na junta entre camadas do concreto massa convencional. Os ensaios [54] [55] mostram que a permeabilidade através de uma junta de

construção no concreto massa é aproximadamente 60% maior que o concreto massa monolítico. Para os cálculos adotou-se o valor 10^{-10} cm/s, ou seja dez vezes menos impermeável que o concreto massa convencional, monolítico.

Para efeitos de cálculo foi adotada [53] a expressão:

$$e = \sqrt{2 \cdot p \cdot k \cdot \frac{t}{\alpha}} \quad \text{sendo}$$

- e = espessura do paramento
- α = volume de vazios após a hidratação (%)
- p = pressão de coluna d'água
- k = coeficiente de permeabilidade
- t = tempo de vida útil considerado

segue
Δx)

Com os valores adotados para o concreto massa monolítico ($k = 10^{-13}$ m/s) e para as juntas entre camadas ($k = 10^{-12}$ m/s) pode ser observado que, exemplificando para uma pressão de 169 metros de coluna d'água, seria necessário um paramento com espessura de aproximadamente 4,5 m, no pé da barragem para uma vida útil da obra, de 100 anos, e para uma pressão de 85 metros de coluna d'água, um paramento de aproximadamente 3,4 m.

$$e = \sqrt{2 \cdot p \cdot k \cdot \frac{t}{\alpha}}$$

$$\alpha = 0,05$$

$$p = 74 \text{ m}$$

$$k = 10^{-11} \text{ cm/s} = 10^{-13} \text{ m/s}$$

$$t = X \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600$$

$$\sqrt{2 \cdot 7,4 \times 10 \times 10^{-13} \times \frac{1 \times 3,15 \times 10^7}{5 \times 10^{-2}}}$$

$$= X \cdot 3,65 \times 2,4 \times 3,6 \times 10^2 \times 10^3$$

$$= 3,15 \times 10^7 \times X \cdot 10^6$$

$$\sqrt{14,8 \times \frac{3,15}{3} \times 10^{-11} \times 10^8 \times X}$$

$$= \sqrt{X \cdot 9,32 \times 10^{-3}}$$

$$t = 50 \text{ anos}$$

$$100$$

$$100$$

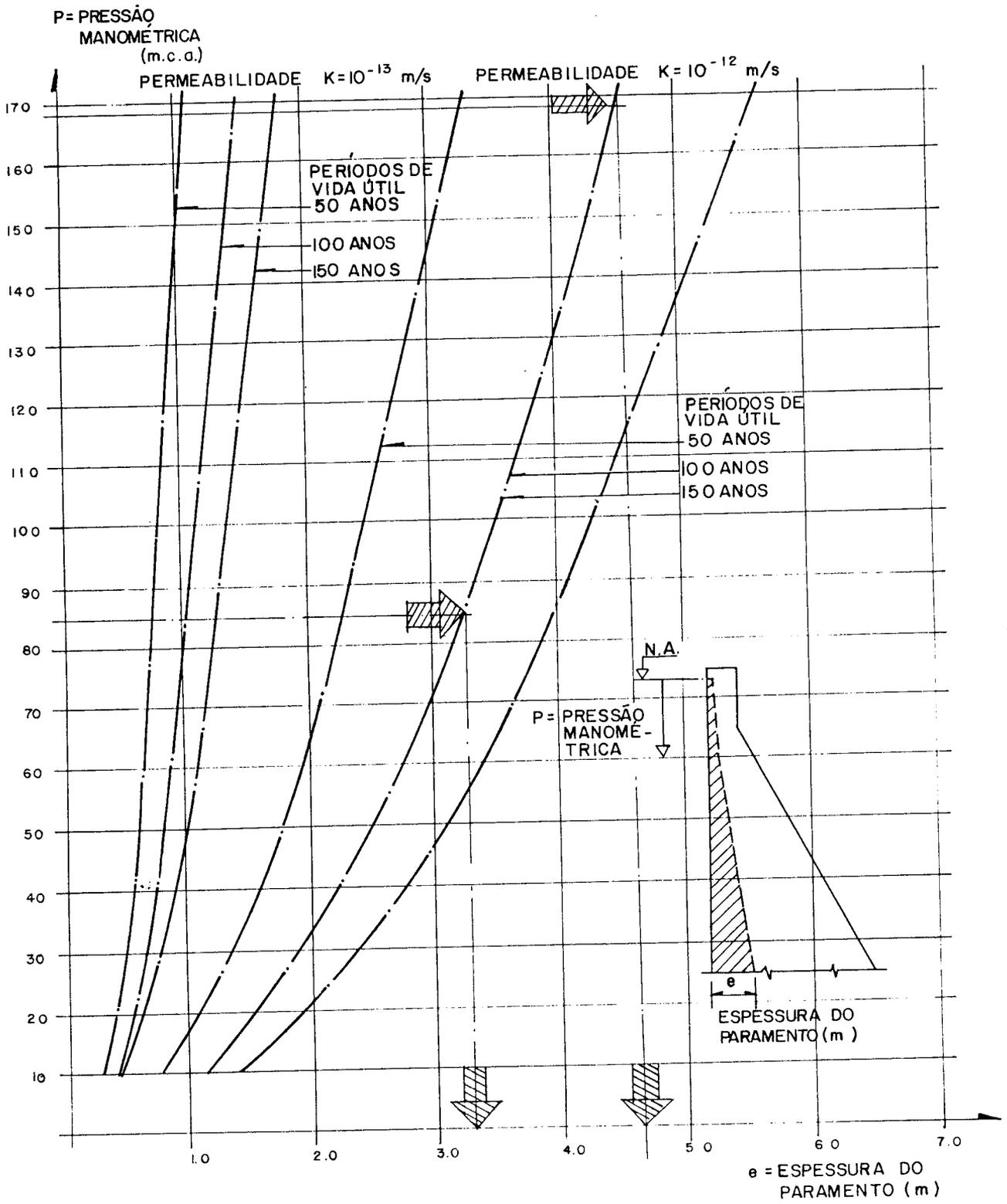
$$= \sqrt{50 \times 10^{-3} \times 9,32} = 0,466$$

$$e = \text{m}$$

$$0,70$$

$$0,96^{113}$$

$$= \sqrt{100 \times 10^{-3} \times 9,32} = 0,932$$



ESPESSURA DO PARAMENTO NO NÍVEL INFERIOR PARA A ALTURA DA COLUNA D'ÁGUA

VIENE DAS
(A,)

Para o concreto junto a fundação ~~podem ser adotado~~ ^{LADO-8E} o mesmo critério, considerando o conceito da linha piezométrica e a correspondente redução devido a uma galeria de drenagem junto ao paramento de montante.

Como medida de segurança suplementar ~~podem ser adotados~~ ^{RE} ~~na~~ uma linha de drenos posicionados na linha de transição entre o "Concreto Rolado" e o concreto massa convencional do paramento. Essa linha de drenagem seria conectada ~~à~~ galerias inferiores (como mostrado à frente) e ~~tem a mesma finalidade dos drenos usualmente colocados entre os veda-juntas, das juntas de~~ ~~contração~~. Isto é, pode detectar e contornar qual quer falha no concreto de paramento. Esses drenos poderão ser moldados durante o lançamento do "Concreto Rolado" e o concreto massa de paramento, de acordo com técnica adotada nas Eclusas de Tucuruí [27] [42] e que se descreve mais adiante.

Pelas informações apresentadas nos itens 5.2 a 5.11, observa-se que a única propriedade teoricamente desfavorável do "Concreto Rolado", quando comparada com o concreto massa convencional seria a permeabilidade. Existe a possibilidade de reduzir a permeabilidade, do "Concreto Rolado" através de materiais pozolânicos de elevada finura, dosados em maiores proporções (ver item 4.3) porém esta técnica não se adequa, no momento, (1985) devido as características de qualidade e uniformidade dos materiais pozolânicos disponíveis no Brasil.

Pode ser observado entretanto, que a utilização de um envelopamento com um paramento, executado simultaneamente com concreto massa convencional, impermeabiliza a estrutura e assegura a durabilidade e a qualidade da obra.

6. PRODUÇÃO DO CONCRETO ROLADO

6.1 Generalidades

Considerando a grande gama de rolos vibratórios, disponível, o conceito do "Concreto Rolado" altera [30] completamente os parâmetros considerados para a escolha e dimensionamento do sistema para produção de "Concreto Rolado".

Os requisitos para a mistura do "Concreto Rolado" podem variar de acordo com as exigências para sua aplicação. Se a seção transversal da estrutura for algo entre a dimensão da seção transversal de uma Barragem de Enrocamento e a de concreto massa convencional, com resistências requeridas entre as de um enrocamento e as de um concreto massa convencional, então um simples misturador capaz de produzir grandes quantidades, poderá atender satisfatoriamente, como o esquema usado em Tarbela [23] [24] [30] [56] onde o "Concreto Rolado" foi misturado continuamente através de uma série de "Chicanas" (Rock Ladders - escadas para reduzir segregação em estoques de agregados) estrategicamente posicionadas para produzir a mistura. O "Concreto Rolado" assim produzido (em um volume de aproximadamente = 382.000 m^3) apresentou uma resistência média, à compressão axial simples, medida em testemunhos, de 175 kgf/cm^2 , a idade de 70 dias e um coeficiente de variação ao redor de 36%, para um consumo médio de 110 kg/m^3 de aglomerante. Esse sistema de Tarbela foi posteriormente, modificado, para os reparos no vertedouro, sendo que a mistura passou a ser feita por sistema contínuo através de três tambores giratórios de diâmetro 2,65 m e comprimento 6,72 m girando a 6 R.P.M., para uma produção horária de 100 m^3 , cada misturador. Com esse sistema, foram pro

duzidos 518000 m³ de "Concreto Rolado" [56], sendo que o coeficiente de variação da resistência, à compressão axial simples, à idade de 28 dias, passou a ficar entre 17% e 23%.

O critério fundamental para a escolha de um sistema de produção de concretos, entre os vários tipos de concretos - o "Concreto Rolado" - é que o produto possua consistência e qualidade [57].

O método, ou processo, de mistura deve ser capaz de umidecer toda a superfície dos agregados com a pasta de cimento e produzir uma mistura homogênea. Isto determina o tempo de mistura e conseqüentemente tem influência direta na capacidade de produção da central de concreto.

A central deve ser capaz de mudar, rápida e eficientemente, as dosagens, com poucas ou nenhuma alteração mecânica ou manual. Os pesos dos ingredientes devem ser registrados, ao longo do tempo dentro das precisões requeridas. O "Concreto Rolado" pode ser produzido por qualquer central capaz de produzir concreto massa [35]. Devido ao consumo de cimento relativamente baixo do "Concreto Rolado" e a consistência seca, o tempo de mistura deve ser adaptado, a essas características.

6.2 Misturadores

6.2.1 Misturadores Tipo Basculante

Os misturadores convencionais do tipo Basculante têm sido [25] [27] [30] [57] usados com sucesso para o "Concreto Rolado". Betoneiras que sejam capa

zes de misturar concretos com agregados de tamanho máximo 76 e 152 mm, não apresentam dificuldades de produzir misturas de baixa consistência.

6.2.2 Misturadores Forçados

Os misturadores horizontais para mistura forçada com descarga do tipo comporta, inferior, também têm sido usados (Shimajigawa - Japão), satisfatoriamente.

6.2.3 Misturadores Contínuos

O conceito da mistura contínua, normalmente usada na indústria de construção de estradas, nos últimos anos tem tido uma maior aceitação para as construções de concreto.

A National Harbours Board em Vancouver B.C. usou misturador contínuo para produzir "Concreto Rolado".

As especificações técnicas de licitação para as obras de Willow Creek [33] e Upper Stillwater [58] levaram em consideração a possibilidade dos empreiteiros optarem por produzir o "Concreto Rolado" em misturadores contínuos.

6.2.4 Caminhões Betoneira

Os caminhões betoneira não se adequam para produzir concretos com agregados de tamanho máximo igual ou superior a 76 mm, desta forma não se adaptam para produzir "Concreto Rolado".

Para os projetos futuros sugere-se que nas especificações de licitação sejam estabelecidos os requisitos de tolerâncias e precisões para permitir eventual opção dos proponentes, no uso de vários tipos de misturadores.

7. TRANSPORTE DO CONCRETO ROLADO

7.1 Generalidades

É importante observar que a maioria dos equipamentos que atendam às recomendações para transporte do concreto massa convencional atendem também os requisitos para o transporte do "Concreto Rolado".

O sistema adotado para transporte, deve minimizar a segregação e o ganho de calor. Entretanto, devido à consistência seca, o "Concreto Rolado" torna viável a utilização de uma maior gama de equipamentos para o transporte e colocação desse concreto. Isto representa uma grande e real oportunidade para uma significativa redução de custos, particularmente para o transporte e a colocação do "Concreto Rolado" em estruturas pesadas.

O volume de concreto a ser colocado e as condições de acessos às áreas de lançamento, geralmente, são elementos para a seleção dos equipamentos para transporte do "Concreto Rolado". Fundamentalmente há dois métodos para transporte do "Concreto Rolado" - por lotes ou betonadas e continuamente. De uma certa forma o equipamento usado para mistura do concreto também pode influenciar na escolha do equipamento de transporte. Entretanto o uso adequado de controles de acessórios, tais como "Tremochas", "Silos Intermediários", permite o uso de misturadores contínuos com transporte intermitente (betonada, ou lote) e betoneiras, não contínuas, podem ser compatibilizadas com transporte contínuo.

A capacidade de adensamento apresentada pelo equipamentos de compactação (Rolos Vibratórios) atuais dá margem a uso de grandes produções de concreto, não se restringindo a níveis de produções normais obtidas para concreto massa convencional.

O tipo de equipamento a ser usado para transporte do "Concreto Rolado" pode também ser influenciado pelo tamanho máximo do agregado a ser empregado.

7.2 Tipos de Transporte

7.2.1 Transporte por Betonadas ou Lotes

O transporte por betonada (ou lote, ou interminente) pode ser feito por caminhões "Basculantes", Dumpcrete", fora de estrada, como executado em Itaipu [25], Tucuruí [42] e Shimajigawa [15]. Para o transporte do "Concreto Rolado" com esses equipamentos é importante que o basculamento seja efetuado com a menor altura possível, afim de evitar a segregação.

Nesse tipo de transporte enquadra-se ainda a caçamba de concreto, usual para o concreto massa convencional. Salienta-se que esse tipo torna mais lenta a produção na frente de lançamento.

Podem ser considerados, ainda, os vagões de descargas inferior (Bottom Dump) e os "Scrapers" que se constituem em equipamentos normais para execução de terraplenos e que se mostraram adequados para o transporte do "Concreto Rolado" como em Willow Creek [37].

O transporte através de caminhões betoneira, não se adequa ao "Concreto Rolado" como já citado no item 6.2.4.

A escolha do tipo e dimensão do equipamento deve levar em consideração além da capacidade de aplicação, o tempo de ciclo e o volume total a ser lançado. Considerações adicionais sobre o custo unitário do equipamento de transporte, acesso e condições de lançamento, preparo e manutenção dos acessos e equipamentos, devem ser feitas.

7.2.2 Transporte Contínuo

O transporte contínuo compreende o transporte por correia e o por bombeamento. Evidentemente que, devido às características de consistência seca e do tamanho máximo do agregado, o bombeamento não se aplica ao "Concreto Rolado".

A correia transportadora tem se mostrado um meio eficaz de transporte de materiais. Pode ser citado o exemplo de transporte de cascalho arenoso - Ilha Solteira e Água Vermelha - CESP. A correia transportadora também tem sido usada para transporte de concretos convencionais a várias distâncias (estrutural e massa) em diversas obras como se exemplifica:

- Barragem de Villerest - França [59]
- Barragem de Guri - Venezuela [59]
- Eclusa de Red River - Estados Unidos [59]
- Barragem de Dworshak - Estados Unidos [59]
- Barragem de Bailey - Estados Unidos [59]
- Vertedouro da Barragem de Chatfield - Estados Unidos [59]
- Pré-Moldados para Porto - Líbia [59]
- Barragem de Revelstoke - Canadá [59]

Barragem de Shell Mount - Canadá [59]

Barragem de Mica - Canadá [59]

Barragem de Auburn - Estados Unidos [59]

Barragem de Ilha Solteira - Brasil [60]

Barragem de Itaipu - Brasil / Paraguai [60]

Este método de transporte tem-se mostrado, também, eficiente no que se refere ao manutenimento das qualidades do concreto, como atestam as referências [61] e [62].

Devido à consistência seca do "Concreto Rolado" a correia transportadora mostra-se um processo adequado para o seu transporte.

Para os Projetos sugere-se que nas especificações de licitação sejam estabelecidos os requisitos mínimos para eventual opção dos proponentes, e alternativa de custos.

8. LANÇAMENTO E ESPALHAMENTO

8.1 Generalidades

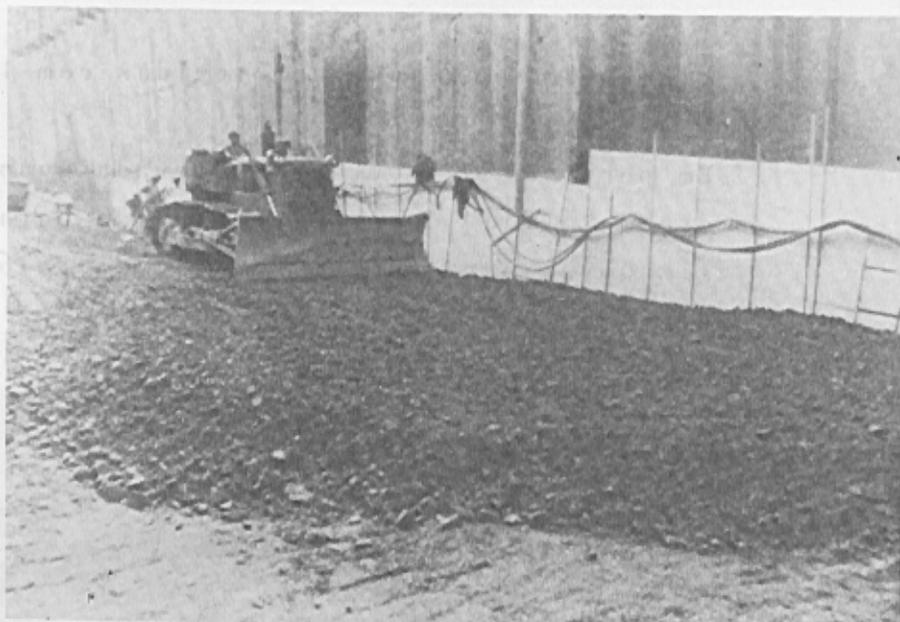
O "Concreto Rolado" deve ser lançado e espalhado em sub-camadas de espessuras compatíveis com os equipamentos de compactação, transporte, produção e com as características da mistura, afim de evitar "juntas frias".

A altura das sub-camadas, até o presente momento, tem se situado entre 20 e 70 cm [11] [14] [15] [30] [35]. Deve-se entretanto considerar que a altura da sub-camada tenha no mínimo 3 vezes o tamanho máximo do agregado.

O "Concreto Rolado" deve ser lançado o mais rápido e diretamente no local de aplicação, evitando transferências e de modo a não causar a segregação.

Para o espalhamento do "Concreto Rolado" podem ser usados tratores de lâmina (tipo Bulldozer) ou equipamentos espalhadores do tipo usado em construção de pavimento. Se houver opção por transporte do tipo contínuo pode ser adotado um tipo de transferidor espalhador acoplado aos pontos de descarga da correia transportadora.

A utilização de "Scrapers" para o transporte do "Concreto Rolado" minimiza a operação de espalhamento, visto que o próprio sistema de descarga permite um espalhamento, e devido à pouca altura, reduz a segregação.



Espalhamento do "Concreto Rolado" sendo efetuado com "Bulldozer" - Itaipu - Brasil

O controle da altura da sub-camada pode ser feito através de linhas de referência indicadas nas formas laterais das áreas a serem concretadas. Nos pontos intermediários podem ser usados gabaritos de penetração. Isto se assemelha ao processo usualmente empregado na construção de terraplenos.

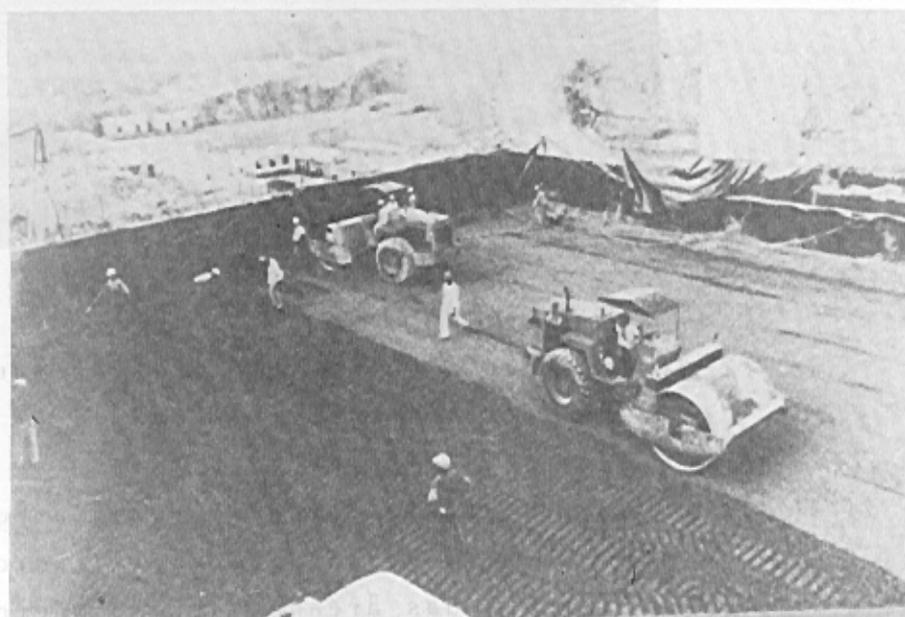
8.2 Condições Climáticas

O "Concreto Rolado" não deve ser lançado quando ocorrer chuva forte. Para tanto pode ser usada a especificação do Corps of Engineers [33] que impede o lançamento do "Concreto Rolado" quando ocorrerem precipitações superiores a 7 mm/h ou 0,7 mm em 6 (seis) minutos. Entretanto esses valores devem ser adequados ao teor de água da mistura.

Quando ocorrerem precipitações as superfícies de lançamento do "Concreto Rolado" e do material recém

espalhado, devem ser protegidas com lona plástica.

Em períodos de ventos ou elevada evaporação o "Concreto Rolado" deve ser protegido pela ação de nebulizadores para manter uma atmosfera úmida na área de trabalho.



lona plástica (junto a forma) para eventual proteção do "Concreto Rolado" em períodos de forte chuva - Tucuruí - Brasil.

Condições Climáticas

8.2

O "Concreto Rolado" não deve ser lançado quando ocorrer chuva forte. Para tanto pode ser usada a especificação do Corps of Engineers [3] que impede o lançamento do "Concreto Rolado" quando ocorrerem precipitações superiores a 7 mm/h ou 0,2 mm (seis) minutos. Entretanto esses valores devem ser adaptados ao teor de água da mistura.

Quando ocorrerem precipitações na superfície de lançamento do "Concreto Rolado" e do material recém

COMPACTAÇÃO

9.1. Generalidades



Ação de nebulizador para manter a atmosfera úmida e evitar a evaporação da água do "Concreto Rolado" - Tucuruí - Brasil.

9. COMPACTAÇÃO

9.1 Generalidades

O adensamento do "Concreto Rolado" pode ser efetuado por uma grande variedade de tipos de rolos vibratórios, inclusive os usuais nos serviços de compactação de materiais granulares, sendo que os rolos vibratórios auto propelidos são mais adequados e de operação mais simples.

As condições operacionais, força de compactação, dimensões dos tambores, frequência, amplitude e velocidade de translação são parâmetros fundamentais que devem ser considerados na escolha do equipamento.

A produção horária do volume de concreto compactado aumenta com o aumento das dimensões e da velocidade de translação.

A eficiência operacional do equipamento pode ser avaliada por meio de dois parâmetros básicos : -
- coeficiente de pressão estática e,
- coeficiente de potência - pressão.

O coeficiente de pressão estática é obtido pelo peso estático dividido pela área de contacto do tambor. O coeficiente de potência-pressão é obtido pela potência (mecânica) do equipamento dividida pela pressão de contacto.

De preferência deve-se procurar equipamento com maior coeficiente de pressão estática e simultaneamente de menor coeficiente de potência - pressão.

A compactação pode ser afetada, também, pela velocidade de translação. Normalmente a velocidade de translação se situa entre 1 km/h [33] e 2,5 km/h [34], sendo que as velocidades menores são mais usadas para rolos mais leves.

Áreas confinadas ou de pequenas dimensões, ou ao redor de drenos devem ser compactadas por meio de compactadores portáteis ou de placa.



Compactador manual efetuando adensamento do "Concreto Rolado" junto a um dreno (primeiro plano), e rolo vibratório liso ao fundo - Tucuruí - Brasil.

Tendo em vista o exposto no item 5.11, onde se recomenda, um envelopamento do "Concreto Rolado" com concreto massa convencional lançado simultaneamente com o "Concreto Rolado" há necessidade de "costura" (interligação entre essas duas classes de concreto) dos concretos.

A ligação dessas duas classes de concreto massa (convencional e rolado) deve ser feita com a introdução simultânea de vibradores um em cada tipo de concreto. Posteriormente pode-se fazer a passagem do rolo vibratório sobre a região (linha) de união dos dois concretos.



Adensamento sendo efetuado na união das duas classes de concreto, pela introdução de vibradores de imersão em ambos os concretos-Tucuruí-Brasil.

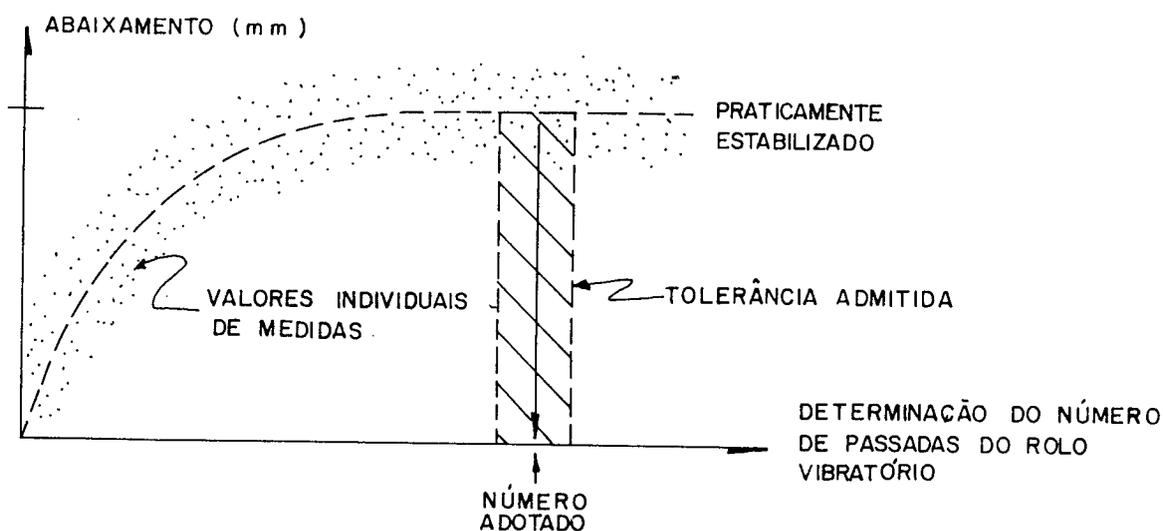
O concreto massa convencional do paramento sempre deve ser lançado à frente, servindo de "Encosto" para o "Concreto Rolado".

9.2 Controle de Compactação

O controle de compactação deve ser feito, fundamentalmente, com base no número de passadas do rolo vi

bratório, de maneira análoga ao que se faz para aterros de solo ou enrocamentos. A eficiência prática do rolo compactador é verificada através da medição do abaixamento da camada a cada passada do rolo. Isso pode ser estabelecido, preliminarmente, antes da escolha definitiva do equipamento de compactação, através de pequenos aterros experimentais.

Durante a realização dos estudos de dosagem pode ser executado um aterro experimental onde, para cada sub-camada de material empolado, podem ser feitas medições a cada passada do rolo. O número ideal de passadas, para uma certa mistura características do rolo, e altura de sub-camadas, é aquele em que a diferença sucessiva entre as alturas de uma mesma sub-camada seja nula, ou praticamente nula, de modo a se atingir a máxima massa específica.



A partir da determinação do número mínimo de passadas, para a altura da sub-camada e a mistura considerada, o controle é feito com esse número estabelecido, para a fase de construção, com o rolo vibratório escolhido.

Aparelhos de avaliação não destrutiva, tais como densímetro nuclear, aparelhos de ressonância e raio laser são instrumentos auxiliares e que podem dar maior flexibilidade ao controle, não dispensando, entretanto, o controle através do número de passadas.

10. PREPARO DE SUPERFÍCIES

10.1 Generalidades

Em todas as superfícies sobre as quais possa ser lançado concreto, deve ser feita uma limpeza retirando todo o material solto e insano. O critério de limpeza de superfície para receber o "Concreto Rolado" não difere do critério para limpeza de su per fície a receber o concreto convencional. As di feren ças ocorrem nos processos usados, como é vis to a frente.

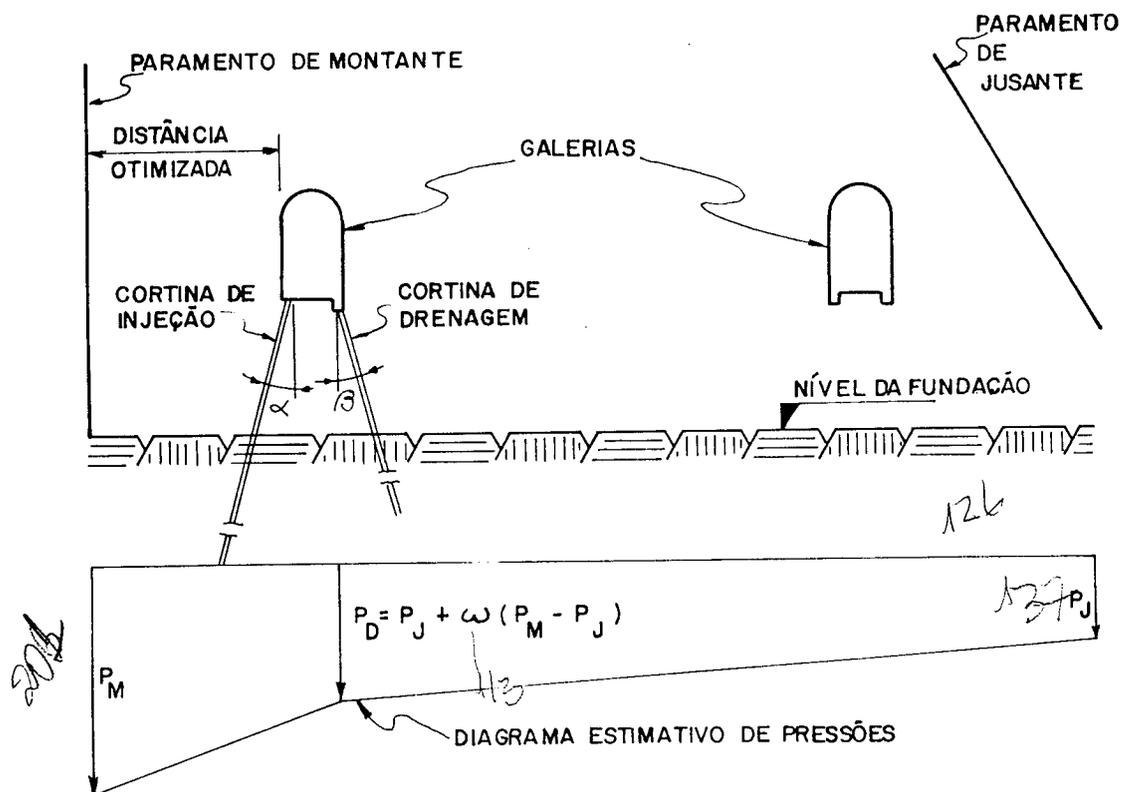
10.2 Fundação

As fundações, no local do Projeto devem dar o su porte para barragem do tipo de gravidade, com a al tura prevista.

Dessa forma, as escavações devem ser feitas até se atingir os níveis adequados de fundação do ponto de vista geo-mecânico. Após a limpeza mecânica, usual nesse tipo de construção, deve ser feita uma limpeza rigorosa retirando todo material solto, de com posto ou desintegrado, através de "monitores", que é também uma operação rotineira nas con stru ções de barragem.

No caso de ocorrerem infiltrações essas devem ser orientadas através de drenos para locais desejados, onde devem ser deixados tubos para injeção e respi ro. As injeções são executadas após as con creta gens, semelhante ao que se faz com as demais con stru ções de barragem.

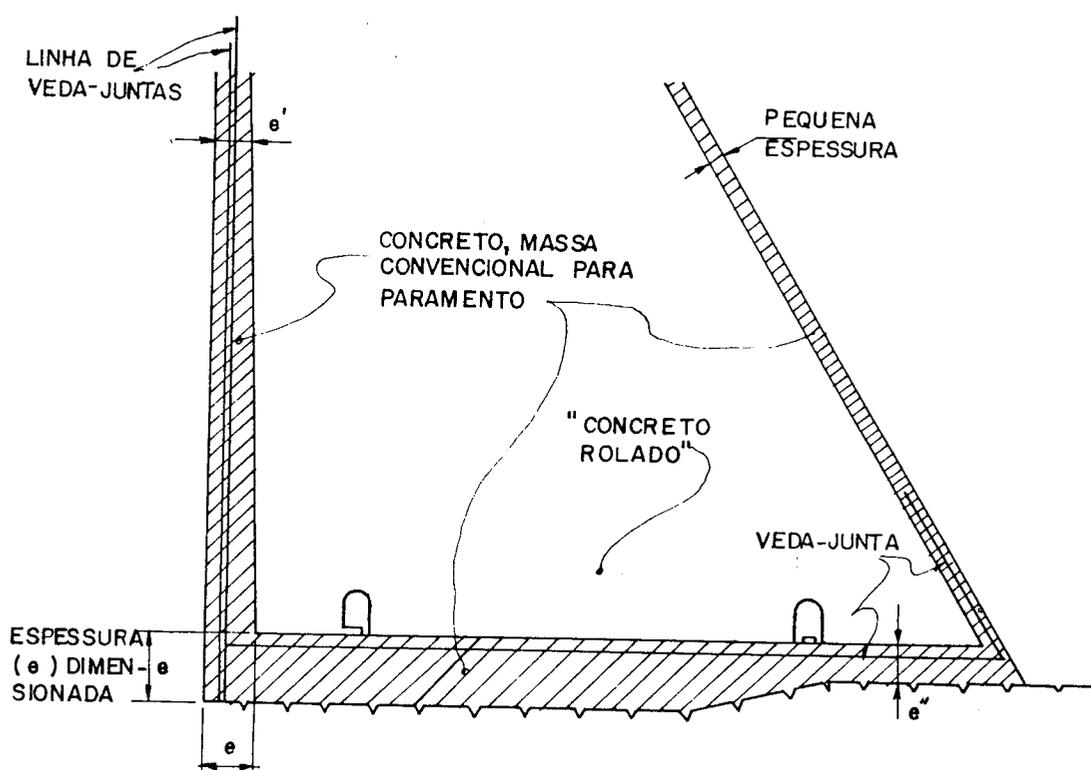
As primeiras concretagens sobre a fundação devem ser feitas com concreto massa convencional de acordo com o critério apresentado no item 5.11, e com a espessura obtida pelo cálculo com base na linha piezométrica adotada como exemplificado abaixo.



Para o cálculo das pressões tem sido adotado um diagrama de variação linear entre os paramentos de montante e jusante e a correspondente linha de drenagem, seguindo o critério de uma redução compatível com a linha de drenagem, como parcela de diferença entre as pressões de montante (P_M) e de jusante (P_J).

Esse critério tem sido usado rotineiramente [63], [64] e [65] para barragens, pelo Corps of Engineers, Bureau of Reclamation e T.V.A., com pequenas diferenças entre si.

Dessa forma, estimando-se conservadoramente (visto que nessa situação a pressão atuaria em planos normais a junta de construção, o que permite estimar valores menores de permeabilidade) o valor de $K = 10^{-12}$ m/s para a permeabilidade do concreto massa convencional e um período de vida útil de 100 anos, e uma pressão de 85 m.c.a, poder-se-ã ter para efeitos de estimativa uma altura de concreto massa convencional, sobre a parte mais profunda da fundação (maior altura de barragem), de aproximadamente 3,4 m, na região de montante, que deve ir sendo reduzida até o valor correspondente ao da pressão PJ, na região de jusante. Esse envelopamento tem a sua altura reduzida à medida que se escala as ombreiras, devido à redução equivalente da pressão hidrostática.



Dessa forma, procura-se assegurar a impermeabilização da estrutura.

10.3 Juntas de Construção

As juntas horizontais de construção podem ser planejadas ou eventuais (juntas fria). Qualquer sub-camada, ou camada em lançamento, que não seja coberta em tempo atinge a pega e causa uma "junta fria" - junta de construção não programada. A pega é bastante afetada pela temperatura, teor de cimento na mistura e pelo tipo e características do aditivo, quando usado. Com base no intervalo de tempo, nota-se que há uma grande vantagem em usar aditivo retardador de pega permitindo ampliar o tempo de pega e de trabalho, dando flexibilidade e aumentando a frente de trabalho da sub-camada.

O tratamento da junta horizontal de construção do "Concreto Rolado" difere daquele da junta de construção do concreto massa convencional pois no "Concreto Rolado" o teor de água e pasta é menor. Dessa forma, praticamente não há filme de carbonatação na superfície, ou seja a água de exsudação normal no concreto massa convencional, ocorre no "Concreto Rolado" em quantidade desprezível.

Se a junta de construção for mantida limpa e úmida, durante o período em que ficar exposta, praticamente não há necessidade de tratamento na junta. Se a superfície estiver suja ou com materiais estranhos e insanos prescreve-se um tratamento para retirar esses materiais.

A limpeza da superfície da junta de construção do concreto convencional é executada pelo emprego de jato d'água sob alta pressão (ao redor de 400 kgf/cm²) acompanhada por lavagem com água e ar sob pressão (6 a 7 kgf/cm²). Pode também ser utilizado o processo do "Corte Verde" ou "Limpeza Inicial" [66] que proporciona elevada qualidade quando as retomas de concretagens são feitas a intervalos pequenos.

Tendo em vista a pouca ou nenhuma carbonatação existente na superfície do "Concreto Rolado", devido ao baixo teor de pasta, o tratamento da "Junta Fria" ou de junta de construção pode ser feito através de vassouras mecânicas com cerdas de aço, acompanhadas por jatos d'água e ar sob baixa pressão (6 a 7 kgf/cm²), como usado em Shimajigawa [15].



Vassoura mecânica e jatos d'água sob baixa pressão para tratamento da junta de construção - Barragem de Shimajigawa - Japão.

Após a limpeza da superfície, deve ser iniciado o lançamento do "Concreto Rolado". Algumas publicações recomendam a utilização de uma mistura de transição sobre a junta de construção. Essa mistura pode ser um "Concreto Rolado" com maior teor de argamassa [30] [34] ou uma argamassa [15] [34].

Deve-se entretanto, lembrar que a utilização de argamassa nas juntas de construção, no Japão, é de procedimento normal, e não somente para o caso do "Concreto Rolado" como citado por T. Yamagida (The Cement Association of Japan [de 36]):

"A discussion on the costs of bonding method in particular has not been brought forward. The decision to use mortar slurry was taken because, it was easy and it was the standard method of dam construction in Japan".

Os ensaios existentes mostram (ver item 5.5) o bom comportamento das juntas de construção do "Concreto Rolado". Entretanto, isso pode ser confirmado antes do início das obras através de ensaios de laboratório levando em consideração o tempo de pega, características das misturas e do clima da região.

Deve-se lembrar, ainda, que o critério de envelopamento exposto nos itens 5.11 e 10.2 permite garantir a estanqueidade da estrutura.

10.4 Juntas de Contração

É conveniente compactar o "Concreto Rolado" em áreas as maiores possíveis, de modo a usar a potencialidade do rolo vibratório. Entretanto, pode ha

ver a necessidade de juntas de contração para compatibilizar a capacidade de produção e os requisitos de projeto. Isso deve ser criteriosamente estabelecido de tal forma a otimizar intervalos de lançamento (conveniências de cronograma), temperatura de lançamento, dimensões dos monólitos (espaçamento de juntas) e temperatura de lançamento levando em consideração, evidentemente as condições climáticas da região, além da forma da estrutura e as propriedades dos materiais.

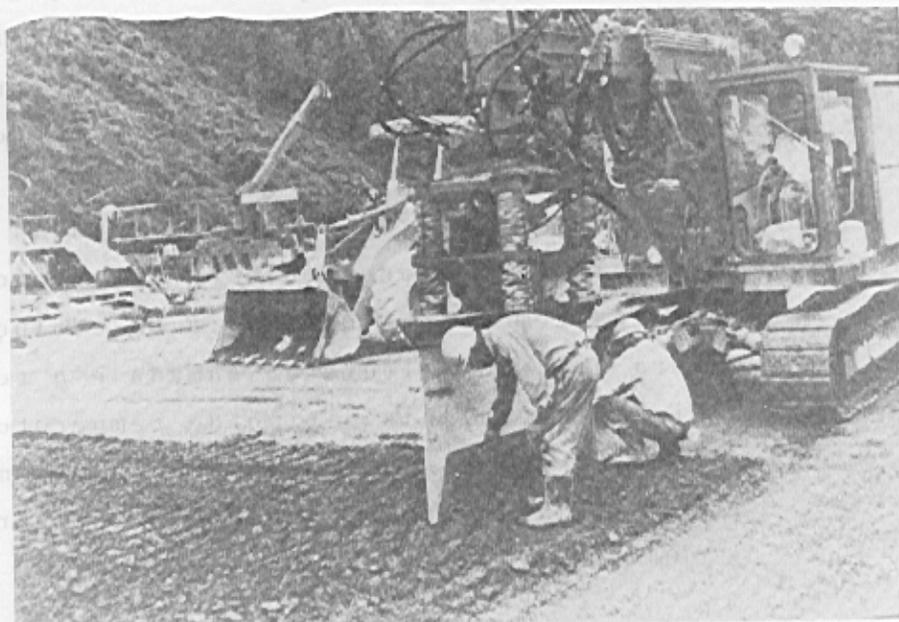
Estudos [30] de geração de calor e de elevação de temperatura de lançamento do "Concreto Rolado" indicam que um lançamento sequencial e uniforme das sub-camadas tem um efeito benéfico na redução da fissuração devido à distribuição uniforme na massa, e redução da restrição entre sub-camadas ou camadas. A velocidade de lançamento ou intervalo entre lançamentos tem maior influência na evolução da temperatura do que a altura da camada e a temperatura ambiente afeta mais o pico de temperatura do que a temperatura de lançamento. Para uma mesma velocidade de lançamento a elevação de temperatura diminui com a redução da altura da camada.

A principal função do espaçamento das juntas de contração é o de limitar as zonas críticas de restrição das regiões inferiores da barragem [39], além de dar certa liberdade de deformação à estrutura como um todo. O concreto das temperaturas devido à hidratação é fundamental para reduzir a fissuração nessas regiões. Entretanto, as juntas de contração servem também para reduzir a fissuração nas partes mais altas da obra.

Para efeito de estimativa, anterior a qualquer es-

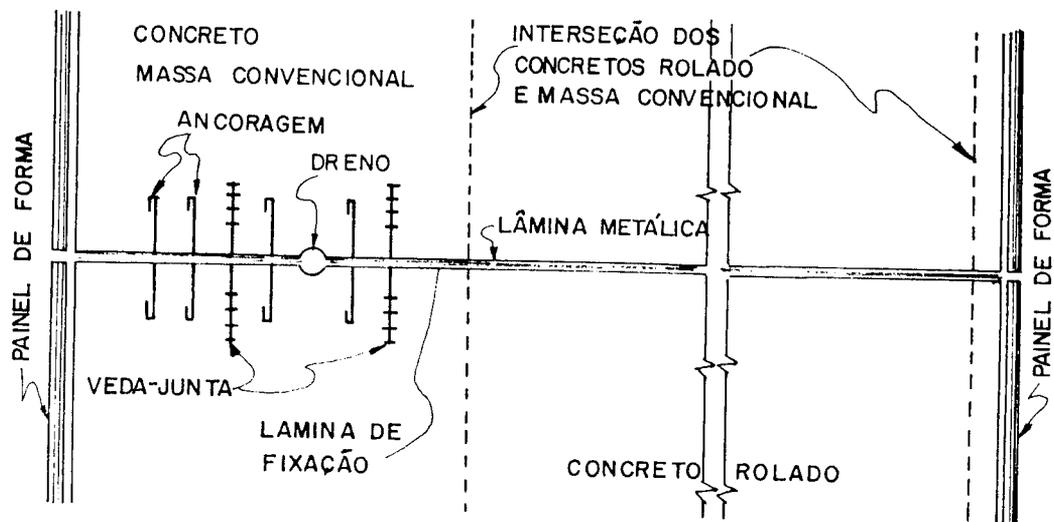
tudo de otimização, sugere-se, para a alternativa em "Concreto Rolado" para as obras de Barragens o mesmo conceito adotado na construção da barragem de Shimajikawa [11] [12] [13] [14] [15] e [16], não descartando entretanto a possibilidade de estudar o desenvolvimento do projeto, sem juntas de contração.

Dessa forma a junta pode ser moldada durante o lançamento e compactação do "Concreto Rolado", através de introdução de uma lâmina metálica percussora.



Lâmina metálica percussora, montada em lança de retro-escavadeira, introduzindo lâmina para moldagem de junta de contração no "Concreto Rolado" - Barragem de Shimajigawa - Japão.

Para a moldagem da junta de contração na região do concreto massa convencional de paramento pode ser utilizada uma lâmina metálica que molda a junta como mostrado abaixo.



Esquema para moldagem da junta de contração na região do paramento, onde se aplicava o concreto massa convencional. Barragem de Shimajigawa - Japão.

11. ARMADURAS E EMBUTIDOS

11.1 Generalidades

A utilização do "Concreto Rolado" não afeta as condições da colocação de armaduras e embutidos, visto que o "Concreto Rolado" se aplica em substituição ao concreto massa convencional, sem armadura.

11.2 Armaduras

Para o Projetos usuais, os critérios, especificações e tolerâncias para o beneficiamento, colocação e limpeza de armaduras são baseados nas técnicas e práticas usuais para estruturas do tipo gravidade. O mesmo deve ocorrer no que se refere às emendas.

11.3 Embutidos Metálicos

Os embutidos e peças metálicas devem ser fixados e envolvidos por concreto convencional, o que não provoca interferências com a aplicação do "Concreto Rolado".

11.4 Veda Juntas

Os veda-juntas a serem previstos nos Projetos para as regiões próximas do "Concreto Rolado", devem ser fixados como indicado no item 10.4, e envolvidos com concreto massa convencional.

11.5 Drenos

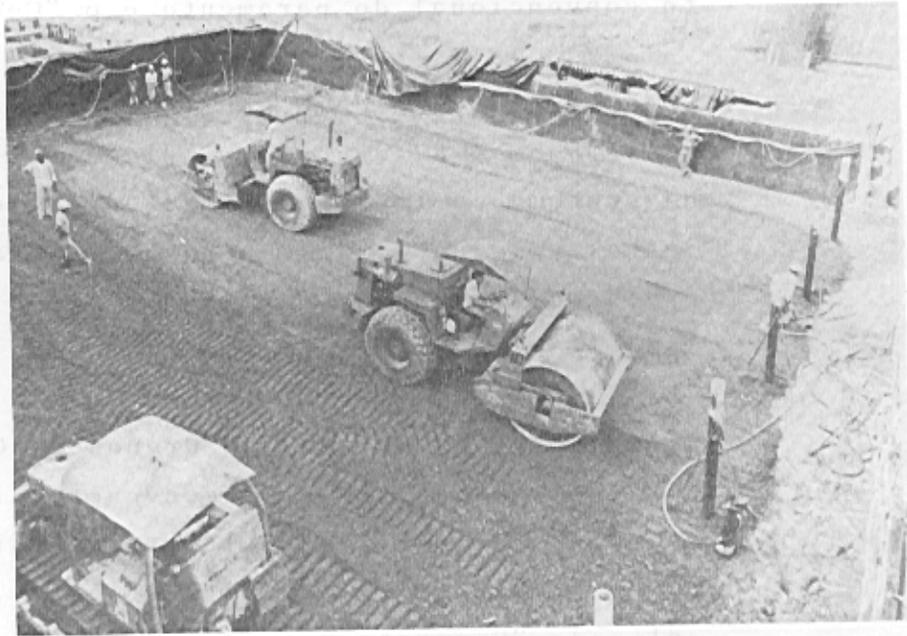
A eventual alternativa de uso do "Concreto Rolado" pode prever além da linha de drenos entre os veda-juntas na região do paramento de montante, uma linha de drenos moldados na transição entre o concreto convencional do paramento e o "Concreto Rolado".

Esses drenos bem como aqueles entre os veda-juntas, constituem uma segurança suplementar para falhas no sistema de impermeabilização principal (veda-juntas nas juntas de contração e paramento em concreto massa convencional junto com o "Concreto Rolado").

Esse critério, do uso de "Drenos de Cabeça" foi usado em vários projetos convencionais no Brasil, como por exemplo Ilha Solteira e Itaipu, e foi usado no Projeto das Eclusas de Tucuruí, onde se tem aplicado "Concreto Rolado" [27] [42].

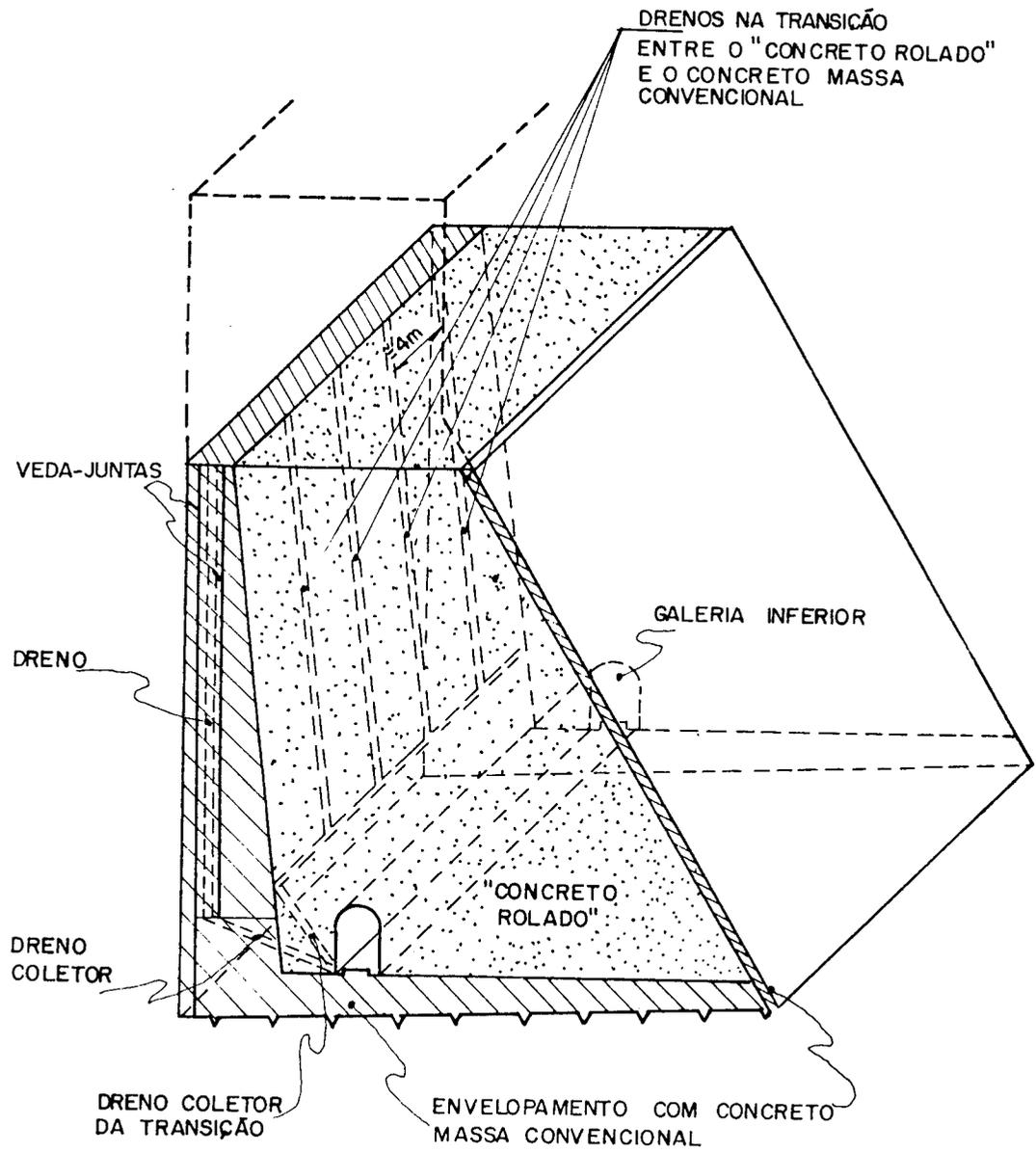
Esse critério se enquadra perfeitamente dentro do sugerido na década de 70 [9] [10] para o uso do "Concreto Rolado".

A eventual alternativa de uso do "Concreto Rolado" pode prever além da linha de drenos entre os vedos juntas na região de paramento de montante, uma linha de drenos molhados na transição entre o concreto "rolado" e o concreto massa convencional.



A direita vê-se uma linha de drenos na transição entre o "Concreto Rolado" e o concreto massa convencional no paramento - Eclusas de Tucuruí - Brasil.

Os drenos devem ser conectados às galerias em vários níveis como sugere a ilustração a seguir



Sistema de drenos suplementares, colocados na transição entre o "Concreto Rolado" e o concreto massa convencional no paramento.

A compactação do redor do dreno deve ser feita como mostrado no Ítem 9.

12. GALERIAS E POÇOS

12.1 Generalidades

A utilização do "Concreto Rolado" não dificulta a execução de galerias e poços.

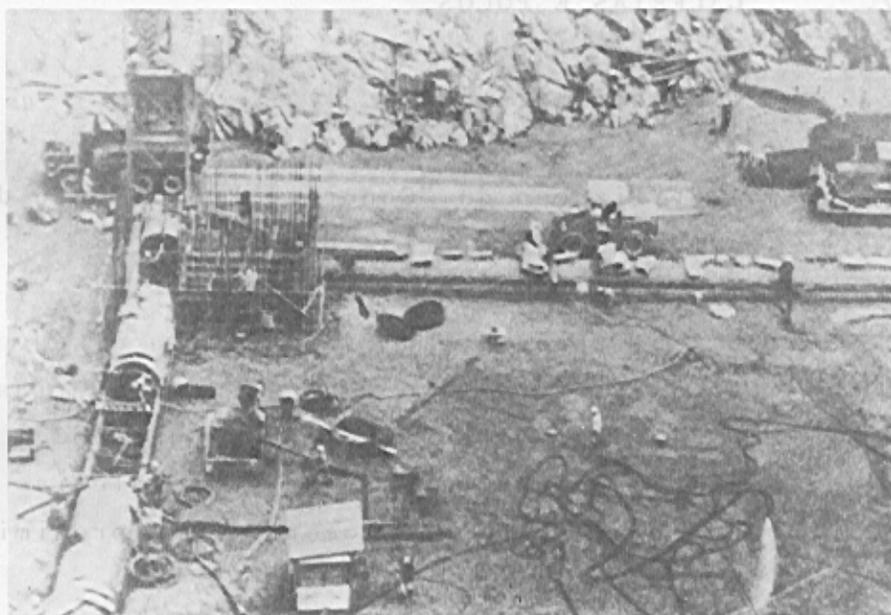
É importante que o Projeto seja desenvolvido no sentido de otimizar o traçado das galerias e poços, evitando as galerias inclinadas que podem ser substituídas por poços interligando as galerias em vários patamares. Isso pode ocorrer nas proximidades das ombreiras.

Para a moldagem das galerias e poços na massa do "Concreto Rolado" há três técnicas disponíveis que são citadas a seguir, apenas como ilustração, pois as tomadas de decisão podem ocorrer no transcurso da elaboração do Projeto.

12.2 Formas

Para a moldagem das galerias e poços pode ser adotado o processo de formas de uso comum.

As formas e escoramentos usualmente empregadas não necessitam de dimensionamento complementar para suportar as pressões e esforços da compactação.



Formas convencionais para a moldagem de galerias, juntamente com o lançamento do "Concreto Rolado". O concreto massa convencional faz o envolvimento da região-Barragem de Shimajigawa - Japão.

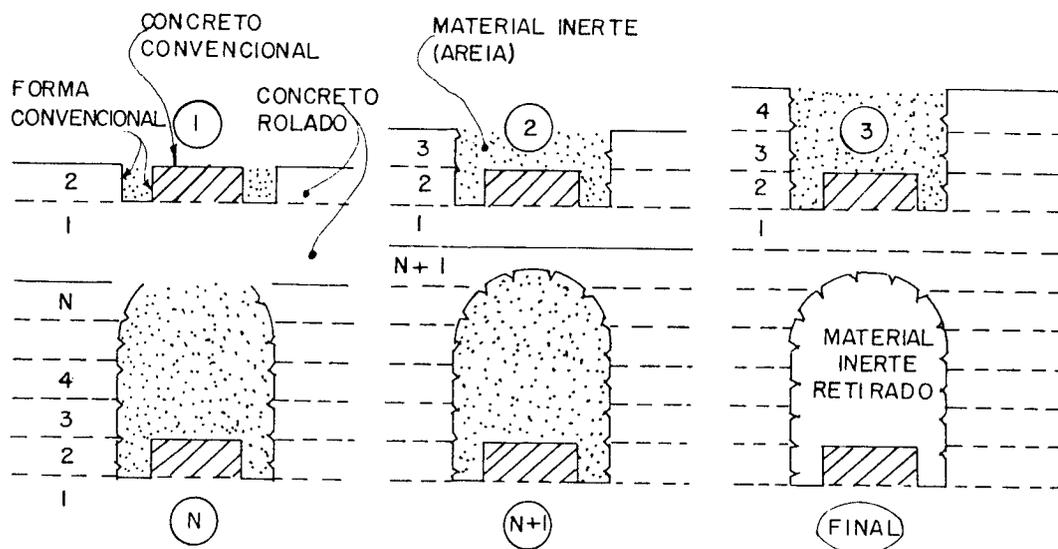
12.3 Prê-Moldados em Concreto

Podem, ainda, ser usados painéis em concreto pré-moldado. Essa técnica é bastante usual na construção de Barragens [60], como Ilha Solteira, Itaipú, Tucuruí, facilitando sobremaneira os serviços de concretagem.

Nessa situação as peças de pré-moldados devem ser dimensionadas para suportar o empuxo do concreto fresco, sobre-cargas e os esforços devido à compactação, e ainda, devido ao manuseio (deforma, estocagem, transportes e içamento).

12.4 Moldagem por Enchimento com Material Inerte

Outro processo disponível, é o da utilização de material granular inerte (areia, por exemplo) para dar forma ao vazio. Posteriormente, após o endurecimento do concreto envolvente, esse material é retirado, como na construção de túneis e "shafts". Essa técnica, foi desenvolvida durante a aplicação do "Concreto Rolado" em Tarbela e posteriormente usada da Barragem de Willow Creek [37] pelo Corps of Engineers. A sequência construtiva é ilustrada abaixo:



13. FORMAS E ACABAMENTOS

A utilização de "Concreto Rolado" no projeto não altera os tipos usuais de formas, pelo contrário facilita e reduz sua quantidade.

O projeto deve ser desenvolvido de maneira a dar ao construtor as diversas opções, para que o cliente possa obter vantagens econômicas. Não se deve descartar a possibilidade do uso de painéis em concreto pré-moldado, técnica essa, bastante usual em obras de concreto massa.

As superfícies das juntas de contração, a serem estabelecidas no "Concreto Rolado" podem ser moldadas como descrito no item 10.4.

Os cimbramentos, acessórios, preparos e tolerâncias devem obedecer aos requisitos usuais para as construções em concreto massa convencional.

As formas e escoramentos podem ser retirados após o cumprimento da finalidade a que se destinam, não diferindo do critério usual para as construções em concreto massa.

Os acabamentos devem obedecer aos requisitos usualmente adotados para as estruturas gravidade em concreto massa, e podem ser estabelecidos no desenvolvimento no Projeto.

Não se pode deixar de considerar para efeitos de discussão e orçamento durante o desenvolvimento do Projeto de duas outras possibilidades para a moldagem do talude de jusante, a saber:

- uma é possibilidade de uso de blocos pré-moldados, em concreto convencional através de máquina moldadora (tipo vibro-acabadora de guias de pavimentação);
- outra é fazer o talude de jusante no próprio ângulo de repouso do "Concreto Rolado", para superfícies que não de escoamento hidráulico.

14. CURA E PROTEÇÃO

A cura e proteção do "Concreto Rolado", em termos gerais, é semelhante ao tratamento necessário para o concreto convencional, mesmo por que o concreto deve ser mantido em uma condição úmida e a uma temperatura favorável para a hidratação do aglomerante.

A cura do "Concreto Rolado" deve ser feita com água aplicada por nebulizadores como descrito no item 8.2, por período não inferior a 7 dias, ou até que se aplique nova camada de "Concreto Rolado".

Nos períodos de vento forte e/ou de insolação, situações essas que facilitam a evaporação, pode ser usado o nebulizador como indicado no item 8.2.

Nos períodos de chuva intensa e imprevista as proteções do concreto não enrigecidos podem ser feitas com lonas plásticas, como exemplificado no item 8.2.

15. INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

15.1 Instrumentação

Para a instrumentação do "Concreto Rolado" pode ser utilizada a grande maioria dos aparelhos usados em concreto massa convencional.

O preparo e calibração não diferem da técnica usada em concreto massa.

Para a instalação dos instrumentos embutidos no "Concreto Rolado" podem ser seguidas as recomendações do U.S.Army Corps of Engineers [33], sendo que vários aparelhos podem ser instalados entre, ou no meio, das camadas de "Concreto Rolado", durante o espalhamento.

Uma pequena quantidade de concreto massa convencional pode ser necessária para auxiliar na instalação. Pode, ainda, ser usada uma fração de argamassa, obtida a partir do "Concreto Rolado", para envolvimento dos instrumentos.

Os demais cuidados, para conexão e proteção de cabos, seguem as recomendações usuais para o concreto convencional.

15.2 Controles de Qualidades

Os controles a serem adotados para a construção das obras, devem ser organizados com base na premissa de assegurar a continuidade dos serviços, garantir o emprego de materiais adequados e aprovados, e evitar as falhas através da manutenção de elevado padrão de qualidade.

Tendo em vista as elevadas produções, possivelmente previstas com o emprego do "Concreto Rolado", é importante que se dê especial atenção ao controle de uniformidade da produção que normalmente pode ser feito sobre uma mistura fresca do concreto, nas centrais de produção.

Esse controle de uniformidade pode englobar as seguintes rotinas principais, entre outras:

- Análise granulométrica dos agregados (antes da em silagem nas centrais);
- Umidade e absorção dos agregados;
- Massa específica do "Concreto Rolado" e outros concretos
- Temperaturas
- Consistência
- Composição

A massa específica e a consistência do "Concreto Rolado" podem ser determinados de maneira semelhante ao indicado no item 4.6.

A composição do "Concreto Rolado" pode ser facilmente determinada, através do "Calciometer" (Concrete Quality Monitor) [67], obtendo-se de maneira rápida e eficiente, o teor de aglomerante, a composição granulométrica dos agregados e o fator água-cimento.

Essas informações podem ser facilmente correlacionadas para o concreto endurecido.

16. FUNDAÇÃO

A qualidade das fundações a receber uma estrutura de gravidade moldada em "Concreto Rolado" não difere daquela a receber a mesma estrutura, moldada em concreto massa convencional.

Os serviços de tratamento de fundação não diferem dos usuais para as estruturas em concreto massa convencional.

17. CRITÉRIO DE PROJETO

17.1 Generalidades

A utilização de rolos vibratórios como um método de compactação não altera [30] os conceitos básicos, de projeto de barragens, eclusas ou outra estrutura massiva. Entretanto, altera os procedimentos de construção.

Qualquer estrutura massiva, de dimensões tais que permita o uso de equipamentos de espalhamento e compactação terá vantagens econômicas.

Deve ser observado que na construção da barragem de Alpe Gera, nos Alpes italianos entre 1960-64, com uma altura de 178 m, volume de concreto de aproximadamente 1716000 m³, com consumos de cimento entre 115 kg/m³ e 130 kg/m³ [1], foi adotado o processo de lançamento contínuo, em camadas horizontais, sendo que as juntas de contração foram moldadas com máquina de lâmina vibratória de 4 cm de espessura, e não com formas convencionais. Salienta-se que há mais de 20 anos, se projetou e construiu uma obra, em concreto gravidade com mais de 170 m de altura, com lançamento horizontal contínuo, precursor ao "Concreto Rolado", com os mesmos conceitos básicos de outras estruturas.

17.2 Considerações de Projeto

Estruturas gravidade, tais como barragens, são projetadas exclusivamente pela estabilidade contra o tombamento e deslizamento.

Os projetos das estruturas gravidade são governadas, principalmente, pelas situações e configurações das fundações. Nenhuma Barragem em concreto gravidade apresentou ruptura sob carregamento contínuo ou por condições de vazão, como efeito de ruptura inicial em seções de concreto acima da fundação. Historicamente a maneira de ruptura de Barragens de concreto tem sido por deslizamento ou por cisalhamento da fundação [30].

O conhecimento das condições da fundação acamamentos, orientações de planos de fraturas, ou outras informações pertinentes, dão ao projeto tanto em concreto massa convencional, como em "Concreto Rolado", a segurança adequada.

17.3 Estabilidade contra o Tombamento

Para a estabilidade contra o tombamento as seções do tipo gravidade são, geralmente, consideradas com compreensão em toda a base. Na análise de estabilidade a sub-pressão pode ser considerada como apresentada no item 10.2.

17.4 Estabilidade contra Deslizamento

A resistência ao deslizamento nas seções de concreto, depende além da tensão da tração ou da tensão de cisalhamento do concreto (Coesão), da média da resistência à compressão no plano potencial de falha, e do ângulo de atrito interno do concreto. Essas propriedades encontram-se detalhadas no Ítem 5, onde é mostrado o comportamento do "Concreto Rolado" comparativamente com o concreto massa convencional.

17.5 Dimensões do Monólitos - Espaçamento de Juntas de Contração - Intervalos de Lançamento - Temperatura de Lançamento - Altura de Camadas

A dimensão do monólitos, bem como a distância entre juntas, intervalos de lançamento, temperatura de lançamento e alturas de camadas, devem ser calculadas com base nas propriedades (ver itens 3 e 5) do "Concreto Rolado", no cronograma a ser estabelecido para obra e nas condições climáticas da região e de restrição da fundação.

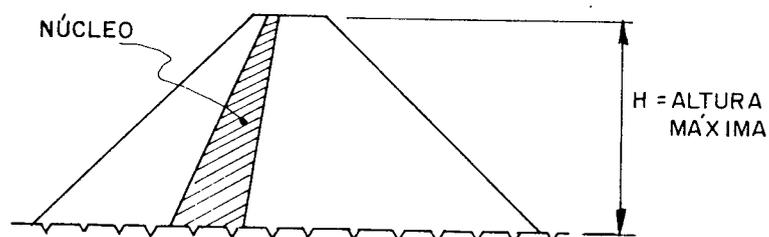
Como exposto no item 5, essa compatibilização leva a situações mais vantajosas quando se utiliza o "Concreto Rolado". Estudos [30] sobre geração de calor e evolução de temperatura devido ao lançamento do "Concreto Rolado" mostram que um lançamento sequencial das camadas têm um efeito benéfico na redução da fissuração, devido a distribuição uniforme de temperatura, na massa, e na redução da restrição entre camadas.

As Barragens de Alpe Geral (178 m de altura) e Quaira Della Miniera foram construídas na Itália, continuamente. A construção diferiu do "Concreto Rolado" somente no tipo de compactação

17.6 Exemplos de Barragens

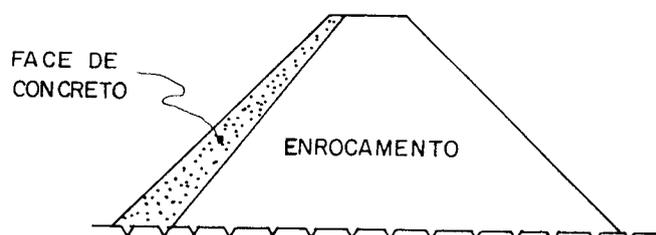
É importante, ainda, citar alguns tipos de Barragens comparando a respectiva altura [68].

- Barragens de Terra/Enrocamento



<u>NOME</u>	<u>LOCAL</u>	<u>ANO DE TÉRMINO</u>	<u>ALTURA (m)</u>
ROGUN	RUSSIA	1985	335
NUREK	RUSSIA	1980	300
BORUCA	COSTA-RICA	1990	267
CHICOASEN	MÉXICO	1981	261
TEHRI	INDIA	1990	261
KISHAU	INDIA	1985	253
GUAVIO	COLOMBIA	1986	250
MICA	CANADA	1973	245
CHIVOR	COLOMBIA	1975	237
OROVILLE	ESTADOS UNIDOS	1968	235
KEBAN	TURQUIA	1974	207

- Barragens de Enrocamento com Face de Concreto



<u>NOME</u>	<u>LOCAL</u>	<u>ANO DE TÉRMINO</u>	<u>ALTURA (m)</u>
FOZ DO AREIA	BRASIL	1980	160
CHACAMBU	VENEZUELA	-	160
SALVAJINA	COLOMBIA	1984	154
ALTO ACHICAYA	COLOMBIA	1974	140
CETHANA	AUSTRÁLIA	1971	110

- Barragens em Coconeto

<u>NOME</u>	<u>LOCAL</u>	<u>ANO DE TÉRMINO</u>	<u>ALTURA (m)</u>	<u>TIPO</u>
GRAND DIXIENCE	SUIÇA	1962	285	Gravidade
INGURI	RUSSIA	1984	272	Arco
VAIONT	ITÁLIA	1961	262	Arco
SAYANO-SHUSHENSK	RUSSIA	1980	245	Arco-gravidade
MAUVOISIM	SUIÇA	1957	237	Arco
CHIRKEI	RUSSIA	1978	233	Arco
BHAKRA	ÍNDIA	1963	226	Gravidade
ELCAJON	HONDURAS	1985	226	Arco
HOOVER	ESTADOS UNIDOS	1936	221	Arco-Gravidade
CONTRA	SUIÇA	1965	220	Arco
DABAKLAM	AUSTRIA	1989	220	Arco
MRATINJE	YUGOSLÁVIA	1975	220	Arco
DWORSHAK	ESTADOS UNIDOS	1974	219	Gravidade

<u>NOME</u>	<u>LOCAL</u>	<u>ANO DE TÉRMINO</u>	<u>ALTURA (m)</u>	<u>TIPO</u>
GLEN CANYON	ESTADOS UNIDOS	1964	216	Arco-Gravidade
TOKTOGOL	RUSSIA	1975	215	Gravidade
LUZZONE	SUÍÇA	1963	208	Arco
ITAIPÚ	BRASIL/PARAGUAI	1982	195	Gravidade Aliviada

Nota-se que o emprego de barragens de concreto com grandes alturas, acima de 150 m, já prática usual desde a década de 30 (Hoover - 221 m). Deve-se lembrar ainda a obra de Alpe Gera, com 178 m de altura, construída com o processo de lançamento horizontal contínuo, das camadas.

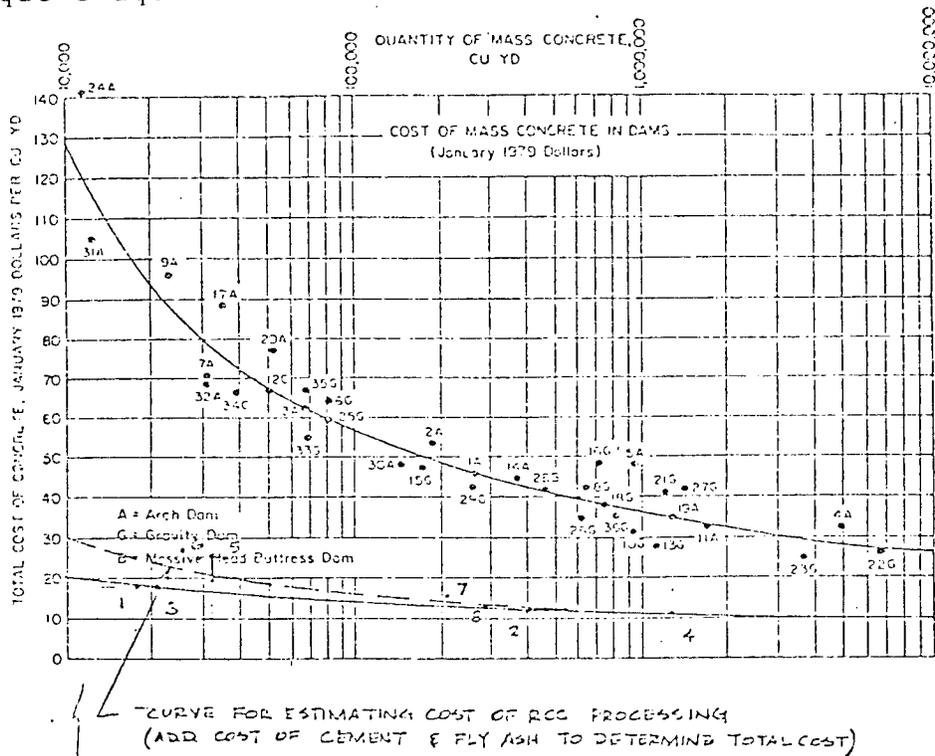
18. CUSTOS

É importante lembrar que um dos parâmetros para a escolha do tipo de uma obra, além dos aspectos de qualidade e segurança é o custo.

Uma vantagem de custo citada, foi obtida pela análise efetuada pelo Bureau of Reclamation para a obra de Upper Still Water, como se segue:

- Concreto Gravidade Convencional US\$ 210 x 10⁶
- Enrocamento com Face de Concreto US\$ 82 x 10⁶
- Concreto Rolado [69] US\$ 60,6 x 10⁶

Um estudo efetuado pela Portland Cement Association [70] evidencia os custos do "Concreto Rolado", e que é aqui anexado.



This publication is intended for the use of professional personnel competent to evaluate the significance and limitations of its contents and who will accept responsibility for the application of the material it contains. The Portland Cement Association disclaims any and all responsibility for application of the stated principles or for the accuracy of the sources other than work performed or information developed by the Association.

19. COMENTÁRIOS

Pelas informações aqui apresentadas nota-se que a alternativa em "Concreto Rolado" pode proporcionar vantagens econômicas consideráveis na construção de obras de concreto massa, além de garantir o mesmo grau de qualidade e segurança de uma Barragem em concreto massa convencional, visto que as propriedades e precauções de projeto são de fácil compreensão e aceitação.

20. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Rapid Construction of Concrete Dams" - Proceedings of the Engineers Foudation Research - Conference, Asilomar - California 1970 - American Society of Civil Engineers.
- [2] Laboratory Investigations and Full-Scale Trials by the Tennessee Valley Authority - R.W.Cannon
- [3] Rolled Concrete for Dams - Construction Trials Using High Fly-Ash Content Concrete - Dunstan M.R.H. - London . 1981.
- [4] Feasibility Study of No-Slump Concrete for Mass Concrete Construction - U.S. Army Engineers - Waterways Experiment Station - Vicksburg - Mississippi - Tynes, W.O. - 1973.
- [5] Lost Creek Dam - North Pacific Division Laboratory - Corps of Engineers - U.S. Army - Oregon - 1973.
- [6] Proposed New Technique for Construction of Concrete Gravity Dams - XTH ICOLD CONGRES - MONTREAL - 1979 - WALLINGORD V.M.
- [7] A Study of Dry Lean Concrete Applied to the Construction of Gravity Dams - XI TH - ICOLD - CONGRESS - MADRID - 1973 - Moffat A.I.B.
- [8] An Investigation into the Engineering Characteristics of dry lean Concrete with reference to its use in the construction of gravity dams - University of New Castle - 1977 Price A.C.

- [9] Rolled dry lean Concrete Gravity Dams - Water Power and Dam Construction - 1978 - Moffat A. I.B. Price A.C.
- [10] Rolled Dry Lean Concrete Applied to fill construction of Dams - Internacional Conference on Materials of Construction for Developing Countries - Bangkok - Tailândia - 1978 - Moffat A. I.B. - Price A.C.
- [11] Construction of Dams with roller Compacted Concrete in Japan - River Bureau Ministry of Construction - Symposion on Roller Compacted Concrete - A.C.I. Committee 207 - 1983 - Los Angeles. Toshio Hirose - Tsutomu Yamagida.
- [12] Report of the Rationalisation of Concrete Dam Construction - Ministry of Construction - Japan - March 1977 - Japanese - English Translation - British Research Centre for Civil Engineering Development.
- [13] The Outline of Desing of Gravity Dams - Public Woks Reserch Institute Japan - 1977 - Takaki K.
- [14] Rationalised work perfomance of a Concrete Dam - River Shimazi Dam Project Office - Ministry of Construction - Japan - July 1978 - Suzuki k. Tanaka M. Sakata T.
- [15] R.C.D. Concrete for Shimajigawa Dam - Shimajigawa Dam Project Office - Ministry of Construction - Japan 1979.

- [16] Design and Construction of a Concrete Gravity dam on a weak Bedrock - XIIIth ICOLD - CONGRESS -NOVA DELHI - 1975 - Shimizu e Takemura K.
- [17] Trial of Lean Rolled Concrete at the Tamar Treatment Works - Report to the South West Water Authorit - 1977 - Deastan M.R.H.
- [18] Bellefonte Nuclear Plant - Test for Compaction of No-Slump Concrete next to form work - Progress Report - Tennessee Valley Authority - Knoxville - 1974 Cannon - R.W.
- [19] Bellefonte Nuclear Plant - Test for Compaction of No-Slump Concrete next to formwork - Report # 2 - T.V.A. - Knoxville - 1974 - Cannon R.W.
- [20] Bellefonte Nuclear Plant - Roller Compacted Concrete - Summary of Concrete Placement and Evaluation of cores Recoveries - T.V.A. - 1977 - Cannon - R.W.
- [21] Bellefonte Nuclear Plant - Roller Compacted Concrete - Evaluation of Core Tests Results - T.V.A. - Knoxville - 1977 - Cannon - R.W.
- [22] A first in Alaska - Roller Compacted Concrete - Alaska Construction and Oil - 1978.
- [23] Tarbela Rescue - 380.000 m³ - Plug Beats the flood 1975 - Marshall T.
- [24] I.R.C. Wing Race to Project Tarbela's Eroded Plunge Pool - New Civil Engineer - London - 1978 - Hayward D.

- [25] Concreto Adensado com Rolo Vibratório - XIII - Seminário Nacional de Grandes Barragens - Rio de Janeiro - 1980 - F.R. Andriolo - I. Betioli - L. Scandiuzzi.
- [26] Willow Creek - The First Concrete Gravity Dam - Designed and Built for Roller Compacted Construction Method - U.S.A. - 1982 - Ernest Schrader.
- [27] Use of Roller Compacted Concrete in Brazil - A.C.I. - Fall Convention - Los Angeles 1983 - F.R. Andriolo - G.R.L. Vasconcelos - H.R. Gama.
- [28] Burec Debuts First Rollercrete Dam - Engineer News Record - March/1984.
- [29] Consider Roller - Compacted Concrete for HydroPower Facilities - International Conference on Alternative Energy Sources - Florida - 1982. William G. Dinchak - Kenneth D. Hansen.
- [30] Roller Compacted Concrete - A.C.I. Committee 207 - Report n^o A.C.I. 207 - 5R-80 - A.C.I. Journal - July - August - 1980.
- [31] Willow Creek Lake - Herpner-Oregon - Supplement 1 to G DM2 - Main Dam, Spillway and Outlet Works - Walla Walla District - Corps of Engineers 1981.
- [32] Design Memorandum n^o 2 - General Design Memorandum for Willow Creek Lake - Oregon - U.S. Army Engineer - District 3 C - Roller Compacted Concrete (R.C.C.) - U.S. Army Corps of Engineers 1981.

- [33] Technical Provision - Section 3C - Roller Compacted Concrete (R.C.C.) - U.S. Army Corps of Engineers 1981.
- [34] Design and Construction Manual for R.C.D. - Concrete Technology Center for National Land Development - 1978.
- [35] BN-COLD - Sub-Committee on Material for Concrete Dams - Draft Report on Rolled Concrete - London.
- [36] Rolled Concrete for Dams - Proceedings of the International Ciria Conference - 1981 - London
- [37] Concrete Report - Willow Creek Dam - World's First all Roller Compacted Concrete Dam - U.S. Army Corps of Engineers - Walla Walla District
- [38] ACI - Committee - 211 - "Recommended Practice for selecting Proportions for No-Slump Concrete".
- [39] ACI - Committee - 207 - "Mass Concrete for Dams and other Massive Structures.
- [40] RE-02/79 - III? Resumo do Controle Tecnológico do Concreto - Itaipu Binacional - 1979.
- [41] "Sugestões para estabelecimento de Rotina para controle de concreto" - José Augusto Braga - Francisco Rodrigues Andriolo" - IBRACON - Julho/1981.
- [42] Observações e Controles sobre o Concreto Aplicado na Eclusa 1 de Tucuruí - TUC-61-8005-RE - 1983

- [43] ACI-SP-46 - Proportioning Concrete Mixes.
- [44] Abstracts of the Japan Society of Civil Engineers 36th Annual Academic Presentation Meeting to be held in October 1981 - Shimizu Construction Co Ltd.
- [45] Bureau of Reclamation Practices in Mass Concrete" - Walter H. Price - Elmo C. Higginson - Symposium on Mass Concrete.
- [46] "Concrete for Massive Structures". Concrete Information - Portland Cement Association - 1966.
- [47] "Mass Concrete for Oroville Dam" - Lewis H. Tuthill - Robert F. Adams - Donald R. Mitchell - Symposium on Mass Concrete.
- [48] Concrete Volume Change for Dworshak Dam - A.S. C.E. - Donald L. Houghton - 1969.
- [49] Measures Being Taken for prevention of cracks in Mass Concrete at Dworshak and Libby Dams - Xth ICOLD - MONTREAL - 1970.
- [50] Considerações sobre o Módulo de deformação e Permeabilidade do Concreto" - J.A. Braga - A. Sonoda - L.Scandiuzzi - F.R.Andriolo - IBRACON-Agosto/1984.
- [51] "Determining Tensile Strain Capacity of Mass Concrete" - Houghton D.L. - A.C.T. Journal - Proceedings V.73 n° 12 DEC-1976.
- [52] "Causes and Control of Cracking in Unreinforced Mass Concrete" - R.W. Carlson - D.L. Houghton - M. Polivka - A.C.I. Journal - 1979.

- [53] "Pore Pressure Uplift and failure analysis of Concrete Dams" - Z.P. Bazant - Do texto "Criteria and Assumptions for numerical Analysis of Dams". - D.J. Naylor - K.G. Stagg - O.C. Zienkiewicz - 1975.
- [54] "Investigation of Method of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete" - 1959 - U.S. Army Corps of Engineers - Waterways Experiment Station - Vicksburg.
- [55] "Investigation of Methods of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete - Tests of Joints in Large Blocks" - 1963 - U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station - Vicksburg
- [56] "Rollcrete Usage at Tarbela Dam" - Horace A. Johnson and Paul C. Chao - Concrete International/November - 1979.
- [57] "Elk Creek Dam - Roller Compacted Concrete Mixing - Placing Study - Department of the Army Portland District Corps of Engineers" - Tucker Associates - Inc - Designers, Engineers Planners.
- [58] Documento - AD-A-102753 - Referente às Especificações técnicas para a Obra de Upper Stillwater.
- [59] Catálogos da ROTEC INDUSTRIES - Estados Unidos
- [60] Construções de Concreto: "Manual de Práticas para Execução e Controle - Editora Pini Ltda - Francisco Rodrigues Andriolo - Brasil - 1984.

- [61] "Use of Belt Conveyors to Transport Mass Concrete" - Kenneth L. Saucier - U.S. Army Waterways Experiment Station - Vicksburg - Setembro/1974.
- [62] Relatório C-11/74 - CESP "Concretos Transportados por Esteira" - Usina de Ilha Solteira.
- [63] Corps of Engineers - Foundation Grouting Planning - EM - 1110 - 2-3501 - 1966.
- [64] U.S.B.R. - Design of Gravity Dams - Denver - 1976.
- [65] Permeability, Pore Pressure and Uplift in Gravity Dams - A.S.C.E. - 1957.
- [66] Concrete Manual - U.S. Department of the Interior - Bureau of Reclamation.
- [67] "Corps of Engineers Concrete Quality Monitor - Operation Guide" - Technical Report - M - 293-N.T.I.S - P.A. Howdysheil.
- [68] Major Dams of the World - Water Power - Dam Construction - Junho 1984 - T.W. Mermell.
- [69] "Burec Debuts First Rollercrete Dam - \$60 Million Upper Stillwater Dam Underway in Utah" - Engineer News Record - Março 1984.
- [70] Portland Cement Association.