



**Comitê Brasileiro de
Grandes Barragens**

**XVIII
SEMINÁRIO
NACIONAL
DE GRANDES
BARRAGENS**

Barragens de Concreto Compactado a Rolo -
Novos Materiais: Microssílica; Escória e
Outros. Aspectos de Projetos e Construção

**ANAIS
Volume IV**

Foz do Iguaçu, abril 1989

Barragens de Concreto Compactado a Rolo

Novos Materiais: Microsilica, Escória e Outros

Aspectos de Projeto e de Construção

Relato Geral por: Francisco Rodrigues Andriolo

"Senhoras e Senhores presentes, bom dia. Primeiramente agradeço ao Comitê Brasileiro de Grandes Barragens pela indicação para esta função. Vou tentar exercê-la com presteza e agradecer a presença dos visitantes de países vizinhos e também de Angola. Enfim, vou tentar falar sobre o tema "Concreto Rolado". Eu faço a advertência aos senhores de não confundir com concreto "enrolado"..."

Outra sugestão que vou tentar pedir é que vamos lançar a campanha "mantenha acordado o seu vizinho", para chegarmos até o fim da explanação com todos acordados".

GENERALIDADES

A quantidade de textos enviados ao XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens foi surpreendente. Fazendo uma retrospectiva a partir do VI Seminário Nacional, realizado em 1970, vê-se que o número de trabalhos recebidos é semelhante aqueles enviados aos demais eventos, como mostra a Figura 1.

Os textos designados ao Tema I chamam ainda mais a atenção, pois correspondem a 34% do total (figura 2) enviado para este Seminário.

Esse número de trabalhos, que superam a 700 páginas de informações e dados para o Tema I, evidenciam a importância do tema - Concreto Rolado, e requer da Comissão Relatora uma maior responsabilidade no comentário dos trabalhos.

Há praticamente 9 anos foi publicado no XIII Seminário Nacional de Grande Barragens - 1980 - Rio de Janeiro, o primeiro texto brasileiro sobre Concreto Rolado - "Concreto Adensado com Rolo Vibratório" [1], fornecendo algumas informações sobre esse material, aplicado em um enchimento, na região da estrutura de desvio da obra de Itaipu.

Esse mesmo texto, foi traduzido, para o inglês, pela diretoria técnica adjunta de Itaipu e apresentado em junho/1981 em Londres - nos Proceedings of the International CIRIA - Conference, com o título "Roles Lean Concrete at Itaipu Dam" [2].

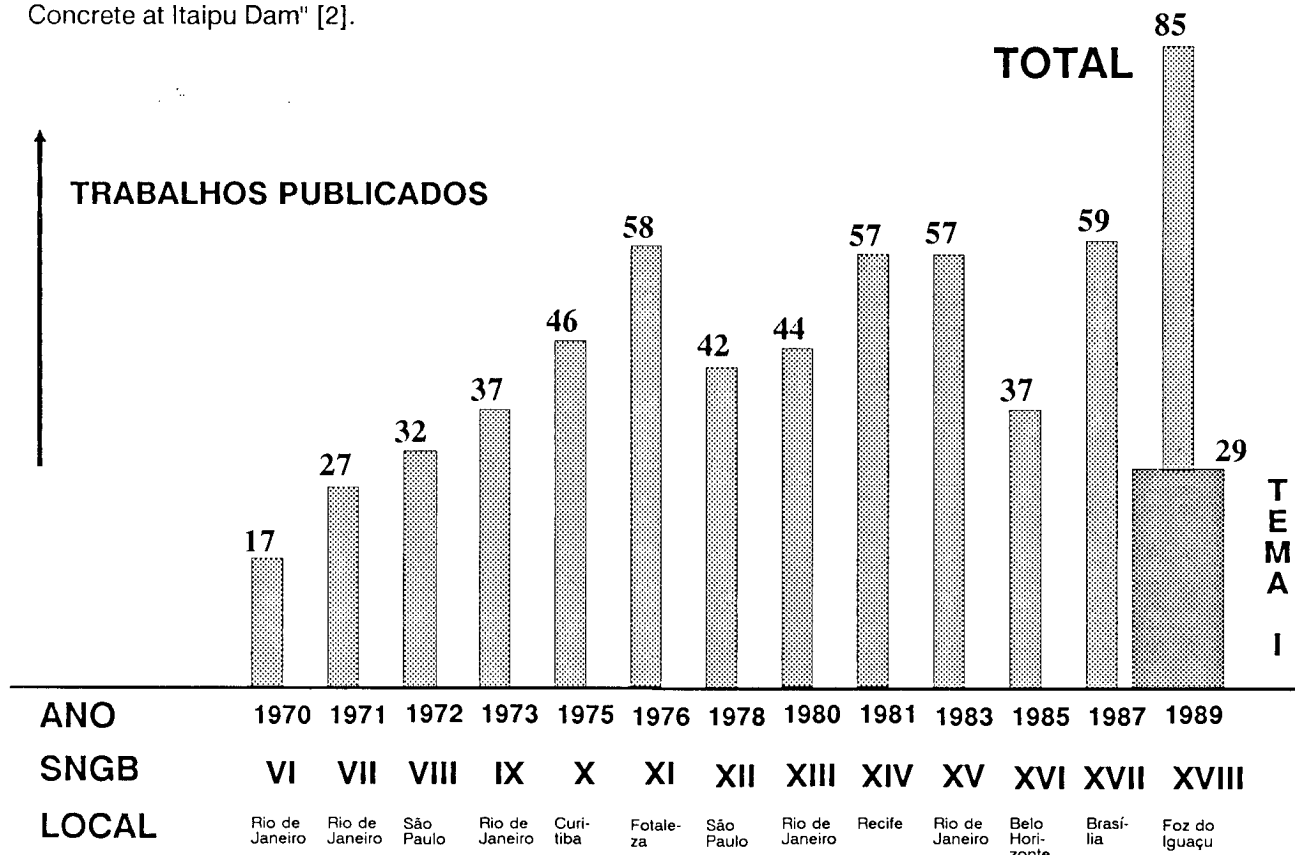


Figura 1 - Retrospectiva dos trabalhos publicados nos Seminários Nacionais de Grandes Barragens

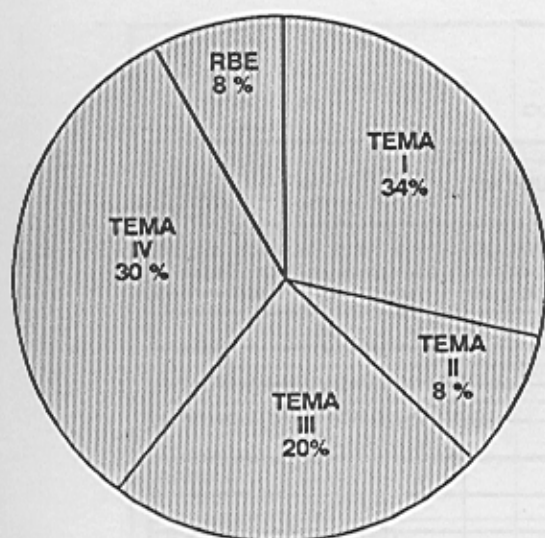


Figura 2 - Distribuição percentual dos trabalhos, por tema.

No âmbito internacional, o emprego do concreto rolado ou concreto compactado a rolo, ou R.C.C. ou C.C.R., ou rolcrete, na década de 80, teve um crescimento magnífico, sendo que mais de 10.000.000 m³ de concreto rolado foi utilizado em barragens e outras aplicações maiores, em diversos países, como mostram as Figuras 3, 4 e 5. [3].

PAÍS	NOME DA OBRA	PERÍODO DE CONSTRUÇÃO	VOLUME m ³			m		TALUDE
			RCC	TOTAL	%	ALT.	CRISTA	
JAPÃO	SHIMAJIGAWA	76-81	165.000	317.000	52	89	240	0,80
JAPÃO	OHKAWA	76-86	300.000	900.000	33	78	407	-
JAPÃO	SHIN-NAKANO	79-83	20.000	200.000	10	75	248	0,78
JAPÃO	TAMAGAWA	79-88	750.000	1.140.000	66	100	442	0,80
JAPÃO	PIRICA	84-87	120.000	360.000	33	40	755	0,80
JAPÃO	MANO	85-88	101.000	202.000	50	69	230	0,80
JAPÃO	SHIROMIZUGAWA	85-90	170.000	316.000	54	55	367	0,80
JAPÃO	ASAHI-OGAWA	85-89	174.000	354.000	50	84	260	0,80
JAPÃO	SAKAIGAWA	88-92	314.000	633.000	50	115	298	0,78
JAPÃO	ASARI	79-88	484.000	506.000	96	74	390	0,80
JAPÃO	DODAIRA (GAWA)	78-88	220.000	412.000	53	70	300	
JAPÃO	KAMURO	67-87	60.000	295.000	20	61	257	
JAPÃO	NUNOME	75-91	190.000	370.000	51	72	360	
JAPÃO	GATTSAN	PROJ.		1.295.000		125	438	
JAPÃO	MYAGASE	89-93	1.500.000	2.200.000	68	155	400	
JAPÃO	RYUMON	89-						
JAPÃO	NAGAYO	73-85	25.000	60.000	42	36	171	
YUGUSLAVIA	DIVERSOS	82-84	1.462.000					
ARGENTINA	CHUIDO	P	1.100.000	1.300.000		82		0,80
ARGENTINA	URUGUA-I	87	626.000	800.000	78	77	687	0,80
ARGENTINA	CUESTA BLANCA	P	730.000	830.000	83	83	793	0,80
INGLATERRA	MILTON BROOK		27.800			27		
INGLATERRA	HOLBEAN WOOD	82	4.000	5.000		12	80	0,80
E.U.A	WILLOW CREEK	83	331.000	331.000	100	52	518	0,80
E.U.A	WINCHESTER	84	24.500	27.000	89	21	35	1,00
E.U.A	MIDDLE FORK	84	42.100	46.000	91	38	127	0,80
E.U.A	GALESVILLE	85	160.800	178.000	90	51	291	0,80
E.U.A	KERRVILLE	85	17.000			7		
E.U.A	GRINDSTONE CANTON	86	87.500	96.000	92	42	396	0,75
E.U.A	ELK CREEK	EC	795.000	841.000	95	76	785	
E.U.A	MONKSVILLE	86	221.000	233.000	95	46	610	0,78

Figura 3 - Aplicações do C.C.R [3]

PAÍS	NOME DA OBRA	PERÍODO DE CONSTRUÇÃO	VOLUME m ³			m		TALUDE
			RCC	TOTAL	%	ALT.	CRISTA	
E.U.A	UPPER STILLWATER	88	1.120.000	1.220.000	92	87	823	0,60
E.U.A	COCHITI		45.000			125		
E.U.A	BELLEFONTE		6.000					
E.U.A	MOOSE CREEK		12.800					
E.U.A	BONNEVILLE		13.000					
E.U.A	ECOOE-II		3.400					
E.U.A	TOUTLE RIVER	81	13.600					
E.U.A	DOLLET HILLS	84	20.000					
E.U.A	NORTH LOOP DETENTION	82	15.800			21		
E.U.A	GREAT HILLS		9.900			11		
E.U.A	EL PAGO - HIGHWAY DIVERSION CHAMEL		10.800					
E.U.A	SIBLEY - RECLAIM POND		2.300					
E.U.A	LAKE BRAZOS		13.000					
E.U.A	CEDAR FALLS	79	3.820					
E.U.A	DRYDEM		3.210					
E.U.A	SPRING CREEK		3.060					
E.U.A	PRICE LAKE		3.980					
E.U.A	PAMO	P	375.400	425.000	88	80		
E.U.A	STAGE COACH	88	34.000	39.000	87	44	115	0,80
E.U.A	LOWER CHASE CREEK	87	13.800	16.000	86	20	122	0,70
AUSTRÁLIA	COPPERFIELD	84	140.000	156.800	90	40	340	0,80 0,90
AUSTRÁLIA	CRAIGBOURNE	86	252.000	252.000	100	25	247	1,00
AUSTRÁLIA	BUCCAWEIR	87	24.000	29.000	83	12	128	0,50
GRÉCIA	PLATA NOVRYSSI	EC				96	270	
ÁFRICA DO SUL	ARABIE	86	110.000	142.000	78	35	455	0,75
ÁFRICA DO SUL	MISTKRAAL	86	35.000	65.000	54	30	300	0,60
ÁFRICA DO SUL	WRIGGLESWADE	89	118.000	148.000	80	37	780	-
ÁFRICA DO SUL	KNEELPOORT (ARCO)	88	45.000	59.000	76	50	180	0,50
ÁFRICA DO SUL	WOLWEDANS (ARCO)	89	150.000	169.000		70	250	0,50
ÁFRICA DO SUL	MONALE	P (ARCO)				162		
ÁFRICA DO SUL	MASHAI	P (ARCO)				180		
ÁFRICA DO SUL	BRAAM RANBEN-HEINER		20.000	360.000	6			
ÁFRICA DO SUL	ZAAIHOEK	88	97.000	134.000		47	527	0,62

Figura 4 - Aplicações do C.C.R [3]

PAÍS	NOME DA OBRA	PERÍODO DE CONSTRUÇÃO	VOLUME m ³			m		TALUDE
			RCC	TOTAL	%	ALT.	CRISTA	
FRANÇA	OLIVETTES	87	85.000	155.000	55	37	254	0,75
FRANÇA	RIOU	P	55.000			25	322	0,60
FRANÇA	ST. MARTIN DE LONDRES	85	1.800			6	80	0,85
FRANÇA	SERRE DE LA FARE	P		400.000		80		
ESPAÑA	ERIZANA	86	120.000			45		
ESPAÑA	SANTA EUGENIA	88	219.000	234.000	94	83	285	0,75
ESPAÑA	CASTEL BLANCOS DE LOS ARROYOS	85	14.000	20.000	70	25	123	0,75
ESPAÑA	LA PUEBLA DE CAZALLA	89	114.000	191.000	60	70	114	0,75
U.R.S.S.	TASHKUMYR	88	150.000	500.000	30	75	320	0,80
U.R.S.S.	BUREYA		1.200.000	3.400.000	35	140	810	0,70
MARROCOS	D'ACULOUZ	EC		98.000		79		0,70
MARROCOS	AIN AL KOREIMA	88	26.500	30.000	87	26	124	0,75
MARROCOS	RWEDAT	EC				27		0,40 0,40
MÉXICO	TRIGOMIL	88	351.700	400.000		100		
CHINA	TIANSHENQIAO	88	160.000	321.000	50	59	499	0,75
CHINA	LONGMENTAN	88	73.000	101.000	73	57	157	0,75
CHINA	KENGKOU	86	43.000	60.000	72	57	123	0,75
CHINA	DATEN	86	50.000			56		
CHINA	SHUIKOU	EC	381.000			130		
TAIWAN	SHIMEN	60	15.300			69		
INDIA		P		1.900.000		150		
PAQUISTÃO	TARBELA	75-86	2.630.000					
VENEZUELA	GURI		15.700					
EQUADOR	DAULE PERIPA		78.000					
CANADÁ	REVELSTOKE		7.600					
CANADÁ	LAKE ROBERTSON		32.000			39		
BRASIL	ITAIPU	78	26.000					
BRASIL	SÃO SIMÃO	78	40.000					
BRASIL	TUCURUI	82	13.000					
BRASIL	TRES MARIAS	87	14.600					
BRASIL	SACO NOVA OLINDA	86	133.000		94	56	240	0,80
BRASIL	ACAUÃ	P	623.000			79		
BRASIL	SERRA DE MESA	88	27.000					

Figura 5 - Aplicações do C.C.R [3]

Deve ser evidenciado o emprego dessa técnica em países de vanguarda tecnológica, como Japão, Estados Unidos, África do Sul, Austrália, França, União Soviética, China, entre outros.

Salienta-se também, na América do Sul, a Argentina, que recentemente (1988) construiu a Barragem de Urugua-I, em concreto rolado, cujas informações são transmitidas em 6 (seis) trabalhos de colegas desse país irmão, e 1 (um) texto, dos colaboradores do Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional, que realizou vários ensaios especiais para essa obra.

Evidencia-se ainda, que entidades argentinas estão por iniciar outras obras em concreto rolado. Embora os países com tradição tecnológica venham tirando vantagens com emprego do C.C.R., o Brasil, de maneira paradoxal, que teve um grande desenvolvimento técnico e tecnológico no âmbito da construção civil pesada, nos anos 70-80, mostra um programa tímido de uso do C.C.R, resumindo-se até o momento a algumas aplicações decorrentes do esforço de certos técnicos, e da construção da barragem de Saco de Nova Olinda.

Nesse ponto é importante citar outro trabalho - sobre C.C.R. - apresentado no XVIII Seminário, incluído no tema IV - Concepção de Projetos de Barragens - "Concreto compactado a rolo, alternativa de projeto viável ou não?" bem como o texto do relator do XVII Seminário Nacional, realizado em Brasília - 1987 e que, parcialmente, se cita a seguir [4]:

1. BARRAGENS DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO

1.1 Argumentações Contrárias ao C.C.R.

Por constituir uma tecnologia nova, o C.C.R. tem sofrido várias críticas, relacionadas com a falta de conhecimento do estado da arte desta técnica, a reação às mudanças, o preconceito contra o novo e, até mesmo, interesses técnicos-comerciais por parte de profissionais e empresas. Em qualquer caso, as argumentações contrárias podem ser agrupadas em dois conjuntos:

- aspectos de confiabilidade técnica e
- aspectos de benefícios econômicos

O relator canalizou os assuntos, então, para o seguinte debate:

1.2 Tema para Debate

"Quanto ao tema para debate, sugiro que este se restrinja ao seguinte:

- No estágio atual do conhecimento existe alguma incerteza técnica quanto a utilização do C.C.R.?

Saindo da neutralidade inerente ao expositor de um relato geral, quero expressar meu ponto de vista: considero o concreto compactado com rolo o maior avanço tecnológico dos últimos anos na técnica de construção de barragens.

Como engenheiros, preocupados com os custos das obras, não podemos deixar que fatores não técnicos venham retardar ainda mais a consideração desta técnica durante a fase de concepção de projetos.

Ao se deparar com a quantidade de empreendimentos, que fazem parte dos planos energéticos da Eletrobrás, que citam a necessidade da construção de mais de 70 barragens e usinas, dentro do plano 2.010 [5], deve-se chamar a atenção dos responsáveis pela administração e emprego dos bens públicos, para a existência dessa técnica atual, que vem sendo utilizada por países mais ricos que o Brasil, na construção de barragens, e também de pavimentos, de maneira econômica, segura e com qualidade.

A seguir é feito o relato dos textos apresentados no XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens.

2. INTRODUÇÃO

Sem nenhum receio pode-se afirmar que o acervo de informações técnicas decorrentes de ensaios e estudos especiais no âmbito internacional sobre concreto rolado massa, entre os anos de 1975-1988, assemelha-se ao existente sobre o concreto massa convencional.

Os trabalhos que se apresentam neste XVIII Seminário, evidenciam essa afirmativa.

Do conjunto de 29 textos apresentados ao Tema I - Barragens de Concreto Compactado a Rolo" são observados os seguintes sub-grupos:

- Materiais e propriedades = 35% dos trabalhos
- Informações e conceitos para elaboração de projetos = 31% dos trabalhos.
- Detalhes e dados durante a construção = 17% dos trabalhos
- Informações sobre controle de qualidade = 17% dos trabalhos.

Nesta oportunidade não se fará citações de aspectos históricos de evolução do C.C.R., nem tampouco sobre seu conceito e maneira de uso, visto que esses pontos são amplamente citados na literatura técnica contemporânea.

Procurar-se-á fazer o relato sobre o tema, com eventuais complementações, com intuito de se atingir uma maior abrangência.

3. MATERIAIS

Não resta dúvida que o concreto rolado pode ser dosado e produzido com os mesmos materiais disponíveis para os concretos convencionais.

Devido, entretanto , aos conceitos de economia e rapidez, que estão intimamente associados ao C.C.R., tem-se procurado avaliar o desempenho de materiais e teores, que até então não eram plenamente aceitos para os concretos convencionais, de modo a manter os requisitos de qualidade e segurança.

É prudente, que os parâmetros e informações aqui citados não sejam tomados como dogmas e sim como uma disponibilidade técnica que deve ser avaliada criteriosamente, em conjunto com as condições econômicas.

3.1 Escória de Alto Forno

A utilização da escória de alto forno por si não é uma novidade técnica, sendo utilizada como componente de concreto há mais de um século.

No Brasil, o emprego da escória de alto forno, é contemporâneo à implantação do plano siderúrgico, evidenciando-se a produção de cimento Portland de alto forno a partir de 1950 [6], sendo atualmente normalizada pela NBR-ABNT-5735

Em 1985, durante o Seminário - "CESP - Conta sua História" - realizado em São Paulo [7], chamou-se a atenção para o emprego desse tipo de cimento na construção de barragens.

As propriedades do cimento Portland de alto forno dependem em grande parte do teor e das características das escórias, bem como da finura.

A atividade hidráulica das escórias, depende principalmente da sua composição química e do seu grau de vitrificação

A composição química das escórias está ligada à qualidade do minério de ferro, à natureza do fundente, à utilização do coque ou carvão vegetal. Em linhas gerais, quanto mais básica, mais hidráulica será a escória [8].

As escórias brasileiras, usadas na indústria cimenteira e citadas nos trabalhos do XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, são de natureza básica, apresentando a seguinte composição [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15]:

CaO (%)	33	a	45
SiO ₂ (%)	33	a	36
Al ₂ O ₃ (%).....	08	a	17
Fe ₂ O ₃ (%).....	01	a	05
MgO (%).....	02	a	09
Sulfetos	inferior a 1		

O grau de vitrificação das escórias depende do tipo e da rapidez de resfriamento na saída do alto-forno. Quanto mais rápido o resfriamento, maior o grau de vitrificação e maiores as potencialidades hidráulicas das escórias.

A resistência mecânica é uma das propriedades mais importantes do concreto. Entretanto a resistência dos concretos é grandemente afetada pela finura de moagem do cimento, [11] (vide as figuras 4.11 a 4.14, página 480 - vol. I dos Anais).

O aumento da finura do cimento, regra geral, significa um componente do custo do cimento, devendo então ser analisado com os devidos cuidados.

Os textos [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] fornecem informações sobre resistências de concreto com o emprego de escória de alto-forno.

A atuação da escória de alto-forno como inibidora da reação alcali-silica amplamente descrita [8], só se faz sentir a partir de aproximadamente 40% a 50%, em reposição ao cimento, como evidenciam os gráficos da figura 6 a seguir e da figura 3 da página 720 - vol. II dos anais.

A escória atua também no desenvolvimento do calor de hidratação.

3.2 Materiais Pozolânicos

Os tradicionais materiais pozolânicos - cinzas volantes, diatomitos, argilas calcinadas - não serão abordados neste relato, por serem amplamente descritos em trabalhos de outros seminários e literatura técnica nacional.

3.3 Micro-Silica

A micro-silica, nesta década vem sendo amplamente debatida e o seu uso se nota crescente [16].

O emprego da micro-silica no concreto rolado ainda se vê incipiente, não passando de alguns estudos laboratoriais, como o desenvolvido pelo Laboratório de Concreto de Itaipu, com os materiais da obra de Urugua-I [17], que mostrou que a utilização de 5% de micro-silica (em relação ao peso de cimento), proporcionou no C.C.R., com ϕ max. = 38 mm, um acréscimo de resistência à compressão de aproximadamente 50% em relação ao valor obtido com concreto rolado, sem micro-silica, à idade de 28 dias

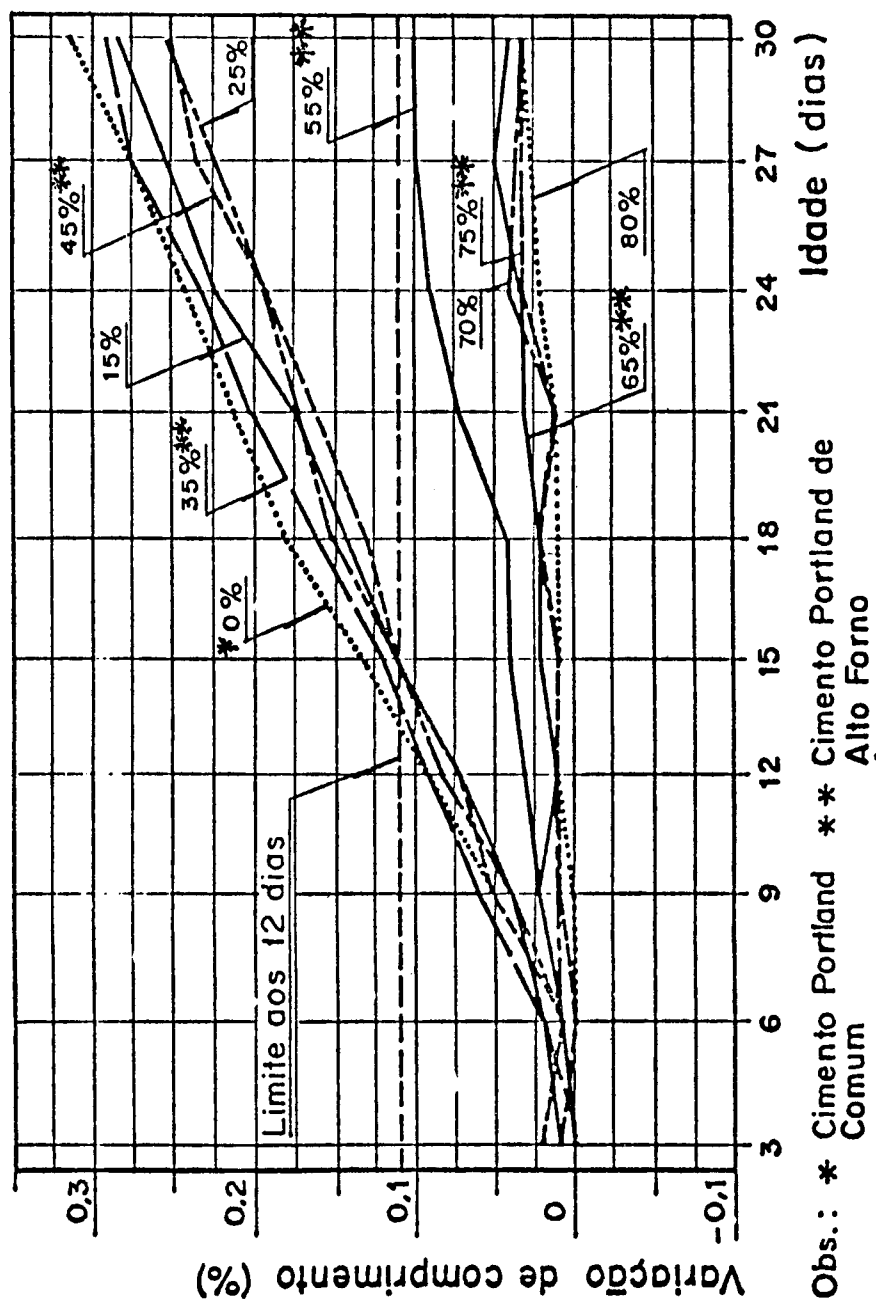


Figura 6 - Atuação da escória no cimento de alto-forno na inibição da reação alcalis-silica [8] [16]

3.4 Silte

A utilização do silte, nas misturas de concreto rolado, vem sendo defendida com o intuito de se obter uma mistura mais "fechada", coesa, mais impermeável.

No Brasil, o silte, com fração argilosa dentro de certos limites foi estudado e empregado na obra da barragem de Saco de Nova Olinda [18] [19] [20] [21].

Os estudos efetuados para o concreto rolado da obra de Urugua-I, na Argentina [22] tomaram em conta a possibilidade do emprego do silte, que entretanto não se viabilizou econômica e tecnicamente.

3.5 Pó de Pedra

A utilização do pó de pedra, sub-produto da britagem, como "filler", no concreto rolado, foi sugerido para uso na obra de Urugua-I, sendo que os estudos efetuados [23] [24] mostram vantagens, que se comprovam durante a construção da barragem [25]. Durante a construção de Saco de Nova Olinda, também se utilizou do pó de pedra.

Essa opção técnica esta sendo utilizada, também, no concreto rolado na obra da Barragem de Sakaigawa, no Japão [3].

A utilização de finos não coesivos de britagem se mostrou de tal forma vantajosa para o concreto rolado, que motivou o Laboratório de Concreto de Itaipu, a avaliar o emprego do pó de pedra como "filler", em concreto massa convencional, para melhoria de algumas propriedades [26], como evidenciam as Figuras 7 e 8.

MATERIAIS E PROPRIEDADES COM MISTURA FRESCA		QUANTIDADES (Kg/m ³)					
		MISTURA 152 - D04			MISTURA 152 - G02		
		NOMINAL	C/ AREIA LAVADA	C/ AREIA SEM LAVAR	NOMINAL	C/ AREIA LAVADA	C/ AREIA SEM LAVAR
CIMENTO		137	137	137	102	102	102
FLY-ASH		14	14	14	12	12	12
ÁGUA		84	84	84	84	84	84
ADITIVO	INCORPORADOR DE ÁGUA	VAR	0,393	0,997	VAR	0,194	0,274
	PLASTIFICANTE	-	-	0,906	-	-	0,684
AREIA	NATURAL	162	162	162	204	204	204
	ARTIFICIAL	378	378	378	379	379	379
B1 - ϕ_{max} = 19 mm		400	400	400	400	400	400
B2 - ϕ_{max} = 38 mm		329	329	329	329	329	329
B3 - ϕ_{max} = 76 mm		465	465	465	465	465	465
B4 - ϕ_{max} = 152 mm		643	643	643	643	643	645
A/CEQ		0,53	0,53	0,53	0,70	0,70	0,70
SLUMP (cm)		3,5 $\pm$ 0,5	4,0	3,6	3,5 $\pm$ 0,5	4,0	4,1
AR INCORPORADO (%)		7,5 $\pm$ 0,5	8,0	7,2	7,5 $\pm$ 0,5	7,7	7,9
DENSIDADE (MIST. PENEIRADA) (Kg/m ³)		-	2373	2423	-	2403	2380

PERMEABILIDADE (K - cm/s)				
MISTURA	152 M - D04		152 - G02	
	(1)	(2)	(1)	(2)
K (cm/s)	1,75 x 10 ⁻⁸	1,74 x 10 ⁻⁹	1,10 x 10 ⁻⁸	2,45 x 10 ⁻⁹

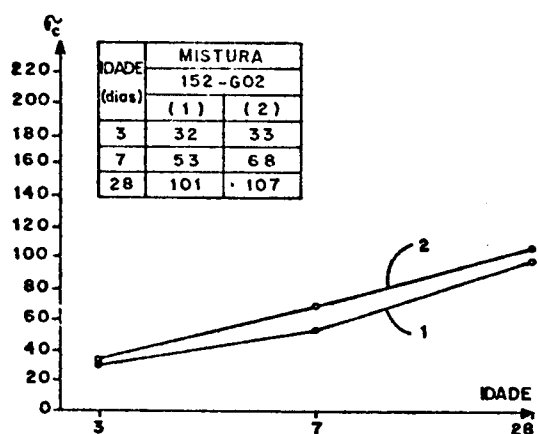
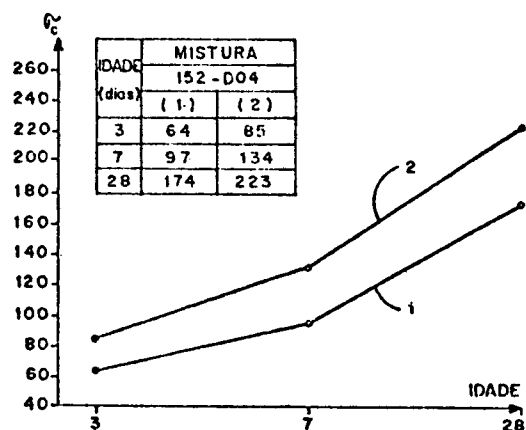
NOTAS: (1) - Mistura com areia artificial lavada.

Idade de ensaio: 28 dias

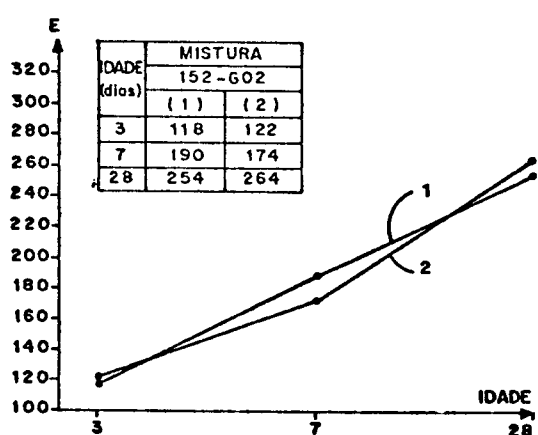
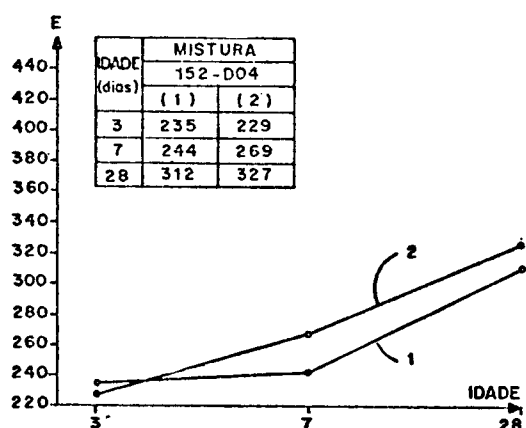
(2) - Mistura com areia artificial sem lavar

Figura 7 - Uso de pó de pedra em concreto massa e convencional [26]

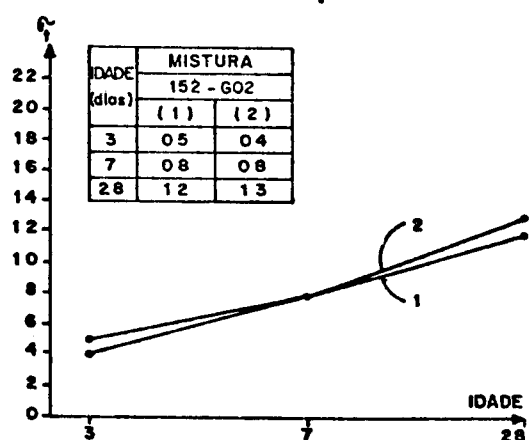
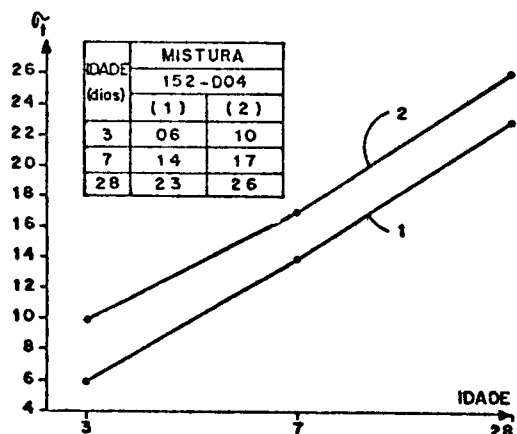
COMPRESSÃO AXIAL (σ_c - kgf/cm²)



MÓDULO DE ELASTICIDADE ($E \times 10^3$ - kgf/cm²)



TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (σ_t - kgf/cm²)



NOTAS: (1) - MISTURA COM AREIA ARTIFICIAL LAVADA.
 (2) - MISTURA COM AREIA ARTIFICIAL S/LAVAR.

Figura 8 - Emprego de pó de pedra, obtido como sub-produto da britagem, em concreto massa convencional [26].

4. PROPORCIONAMENTO

O proporcionamento do concreto, seja ele de qualquer tipo - estrutural, bombeável, projetado, massa, rolado, etc. - deve ser feito procurando combinar os materiais disponíveis para a obra, de maneira econômica e de forma a atender os requisitos de qualidade determinados para o projeto.

O proporcionamento do concreto rolado tem sido feito com base em três tendências básicas, que podem ser justificadas individualmente, a partir do conhecimento das condições de contorno, de requisitos e disponibilidades que envolvem cada caso.

Assim é que as tendências básicas se resumem em [3] [27]:

- baixo teor de aglomerante - adotado pelo Corps of Engineers (Willow Creek, Elk Creek) [3], Urugua-I (Argentina) [22] [25], Itaipu [1] [2] [3], Saco de Nova Olinda [3] [19] [20] [21], Tucuruí [3], São Simão [3].
- Argamassado - adotado preponderantemente no Japão [3].
- Alto Teor de Pasta - adotado pelo Bureau of Reclamation para Upper Still Water [3], na China [3], África do Sul [3], Serra da Mesa no Brasil [11] [12] [13] [14].

Essas três disponibilidades técnicas podem ser úteis, para avaliação das vantagens técnicas e econômicas de cada projeto.

5. PROPRIEDADES

5.1 Generalidades

As propriedades do concreto rolado, em termos genéricos, assemelha-se as do concreto convencional, produzido a partir dos mesmos materiais.

Algumas das vantagens observadas em grande parte das propriedades, decorrem fundamentalmente das condições de adensamento.

5.2 Massa Específica

A massa específica do concreto rolado é ligeiramente superior a massa específica do concreto convencional, produzido com os mesmos materiais. Isso decorre do menor teor de água necessário para o C.C.R., comparativamente ao concreto convencional, devido aos processos de manuseio e adensamento. A Figura 9, ilustra um conjunto de valores obtidos.

APLICAÇÃO OU ESTUDO	AGREGADO		MASSA ESPECÍFICA (kg/m ³)		REFERÊNCIAS
	TIPO	MASSA ESPECÍFICA (kg/m ³)	CONCRETO ROLADO	CONCRETO CONVEN- CIONAL	
Itaipu	Basalto	2900 - 2950	2507 - 2625	2605	[24] [28]
Urugua-I	Basalto	2900 - 2950	2632 - 2649	2450	[24] [25]
Saco de Nova Olinda	Granito Gneiss	2744	2295 - 2365	2252 - 2350	[19] [20] [21]
Tucuruí	Metassedimento	-	2400	-	[3]
Serra da Mesa	Granito	2640	2325 - 2475	-	[11] [12] [13] [14]
Bocaina	Quartzito	3000	2418 - 2609	-	[10]

Figura 9 - Valores típicos de massa específica de concretos rolados.

5.3 Resistência a Compressão Axial Simples

Avaliar a resistência à compressão axial simples, obtida com concretos de diversas dosagens é uma tarefa difícil, complexa, e pouco didática. Uma das maneiras mais evidentes é transformar esse parâmetro em um índice, denominado "n" = "rendimento", obtido pelo quociente entre resistência e consumo de material cimentício (cimento, ou cimento + material pozolânico ou cimento + escória, etc.) e expresso em:

$$\frac{\text{Kgf/cm}^2}{\text{Kg/m}^3} \quad \text{ou} \quad \frac{\text{MPa}}{\text{Kg/m}^3}, \text{ como evidencia a Figura 10.}$$

APLICAÇÃO OU ESTUDO	RENDIMENTOS Kg/cm ² / Kg/m ³						REFERÊNCIAS
	7 dias	28 dias	90 dias	180 dias	360 dias	outras idades	
Itaipu	-	-	-	1,28	-	1,78 (3060 dias)	[28]
Urugua-I	0,83 - 0,94	1,07 - 1,24	1,35 - 1,63	-	-	-	[22] [25]
Saco Nova Olinda	0,23 - 0,53	0,44 - 0,69	0,54 - 0,77	-	-	-	[19] [20] [21]
Tucuruí	-	1,1	1,45	-	-	-	[3]
Serra da Mesa	0,71 - 0,74	1,07 - 1,33	-	-	-	-	[11] [12] [13] [14]
Bocaina	0,44 - 0,85	0,70 - 1,01	0,82 - 1,25	-	-	-	[10]
Tamagawa	0,65	1,08	1,62	1,94	2,25	-	[3]
Sakaigawa	0,39	0,82	1,64	-	-	-	[3]
Willow Creek	-	1,25	-	-	2,81	-	[3]
Monksville	0,52	0,73	0,78	-	-	-	[3]
Upper Still Water	0,35	0,58	0,96	1,28	1,42	-	[3]
Copperfield	-	0,42	0,67	-	-	-	[3]
Zaaihoek	-	1,67	-	-	-	-	[3]
Olivettes	-	0,94	1,16	-	-	-	[3]
Castel Branco	-	0,93	1,58	-	-	-	[3]

Figura 10 - Valores de rendimentos de C.C.R.

5.4 Resistência a Tração

A resistência a tração do concreto rolado normalmente tem sido obtida por ruptura por compressão diametral (método brasileiro).

Da mesma forma que o observado para a resistência a compressão axial simples, há uma grande dependência do teor de aglomerante.

Para uma interpretação mais fácil, a prática é apresentar os parâmetros relacionados com a resistência à compressão.

De forma semelhante ao que ocorre com o concreto convencional, a relação percentual entre as resistências a tração e compressão tem-se apresentado preponderantemente entre 8% e 15% [3] [15] [24] [28].

5.5 Compressão Triaxial - Envoltória de Mohr e Cisalhamento

Os ensaios de compressão triaxial têm sido feitos com o intuito de se determinar a envoltória de Mohr e em decorrência a coesão e o ângulo de atrito interno.

Os valores apresentados nos trabalhos do XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens para o C.C.R. são resumidos na Figura 11.

APLICAÇÃO OU ESTUDO	COESÃO (Kgf/cm ²)	ÂNGULO DE ATRITO	REFERÊNCIA
Urugua-I	24,6	47° 55' 30"	[24]
Serra da Mesa	22,0	58°	[15]

Figura 11 - Valores de coesão e ângulo de atrito de concreto rolado.

5.6 Módulo de (Elasticidade) Deformação e Coeficiente de Poisson

Os principais fatores que atuam nas propriedades elásticas do concreto são:

- Idade;
- Tipo de agregado;
- Fator água/cimento (ou qualidade da pasta).

O módulo de deformação do concreto, aumenta com a idade e é governado nas idades iniciais, basicamente, pelo teor de aglomerante, após o que passa a ser afetado, grandemente, pelas características elásticas dos agregados.

O módulo de deformação do C.C.R. é menor que o módulo de deformação do concreto convencional nas baixas idades, quando se usa baixo teor de pasta. A partir da idade de aproximadamente 90 dias o módulo de deformação do concreto rolado tende a se assemelhar ao concreto massa convencional.

Enquanto que o módulo de deformação do concreto convencional apresenta-se [3] com valores superiores a 120.000 Kgf/cm^2 à idade de 7 dias, o concreto rolado tem se apresentado com valores de 60.000 Kgf/cm^2 a 140.000 Kgf/cm^2 à mesma idade [3] [15] [19] [20] [21] [24] [28].

Os valores de coeficiente de Poisson para o concreto rolado não têm mostrado diferenças significativas para com aqueles conhecidos para o concreto convencional, situando-se entre 0,10 e 0,22 [3] [15] [19] [20] [21] [24] [28].

5.7 Fluência - Deformação Lenta

A fluência é grandemente afetada pelo módulo de deformação do agregado e pelo teor de finos na argamassa.

De maneira geral os valores obtidos para o C.C.R. até o presente [3] [5] [24] têm apresentado vantagens significativas com relação aos valores de fluência obtidos para o concreto convencional. A Figura 12 mostra alguns valores.

APLICAÇÃO	VALORES DE PARÂMETROS DE FLUÊNCIA - $10^{-6}/\text{Kg/cm}^2$		IDADE (dias)	REFERÊNCIAS
	1/E	f(K)		
Urugua-I	6,9	0,54	90	[24]
Serra de Mesa	12,9	0,87	2	[15]
Upper Still Water	8,0	0,90	90	[3]
Willow Creek	5,0	0,70	90	[3]

Figura 12 - Parâmetros de fluência de concreto compactado a rolo.

5.8 Capacidade de Alongamento

A capacidade de alongamento do concreto é conceituada como sendo a máxima deformação que o mesmo apresenta, antes de se romper, quando submetido a um esforço de tração, aplicado por incrementos de cargas crescentes até a ruptura.

A capacidade de alongamento do C.C.R. não se mostra distinta daquela obtida para concreto com equivalente teor de aglomerante [3] [24].

5.9 Deformações Autógenas

As variações de volume consideradas como autógenas são aquelas resultantes de hidratação de elementos menores existentes no próprio cimento, basicamente o óxido de magnésio (MgO) na forma de periclásio e a cal livre.

Não há dessa forma uma ligação direta e expressa para que os valores do C.C.R. fujam daqueles normalmente verificados para o concreto convencional.

Ao se proporcionar o C.C.R. com baixo teor de cimento, é evidente que as deformações autógenas serão menores.

5.10 Elevação Adiabática de Temperatura

O ensaio de elevação adiabática de temperatura permite determinar a evolução de temperatura decorrente da geração de calor devido à hidratação do cimento no concreto.

Uma das maneiras mais fáceis de mostrar a elevação adiabática de temperatura é através do índice - Evolução Unitária de Temperatura - "eui", que expressa o quociente de evolução adiabática da temperatura, pelo consumo de material cimentício, na idade "i" considerada, como mostra a Figura 13.

APLICAÇÃO	TEOR DE MATERIAL CIMENTÍCIO Kg/m³	EVOLUÇÃO UNITÁRIA DA TEMPERATURA (°C/Kg/m³)							REFE-RÊNCIAS
		1 dia	2 dias	3 dias	5 dias	7 dias	14 dias	28 dias	
Urugua-I	60	0,070	0,087	0,097	0,108	0,110	0,118	0,120	[24]
Serra de Mesa	60 cimento + 60 cinza	0,033	0,047	0,057	0,063	0,066	0,067	0,068	[15]
	59 cimento + 138 cinza	0,025	0,042	0,052	0,061	0,065	0,070	0,072	[15]
	60 cimento + 60 escória	0,050	0,082	0,098	0,115	0,118	0,129	0,133	[15]
	60 cimento + 140 escória	0,045	0,075	0,085	0,094	0,098	0,099	0,100	[15]

Figura 13 - Valores de evolução unitária de temperatura de concreto rolado.

5.11 Propriedades Térmicas : Difusividade - Condutividade - Calor Específico - Coeficiente Linear de Expansão Térmica

A difusividade térmica é a relativa capacidade de um material, em deixar trocar calor.

A condutividade térmica é a propriedade que mede a habilidade do material em conduzir calor.

O calor específico é o parâmetro que indica a quantidade de calor necessária para elevar de um grau a temperatura unitária.

O coeficiente linear de expansão térmica é o parâmetro que indica a variação de um comprimento unitário, causada pela variação unitária de temperatura .

Como evidenciado na referência [24], essas propriedades obtidas pelo concreto rolado não mostram diferenças significativas quando comparadas com as respectivas propriedades de concretos convencionais produzidos com os mesmos materiais.

5.12 Permeabilidade

A determinação da permeabilidade consiste em se avaliar a passagem de um fluxo de água pelo material, com dimensões e condições conhecidas, calculando-se o coeficiente de permeabilidade do concreto através da Lei de Darcy.

De maneira geral, essa propriedade mostra para o C.C.R., uma sensível inferioridade em relação ao concreto convencional [3] [15] [24], de consumo equivalente.

A utilização de finos e de materiais pozolânicos, e/ou escória, melhoram sensivelmente a impermeabilidade do C.C.R. [3] [15] [24] [26], o mesmo ocorrendo com o concreto convencional.

A micro sílica também é uma opção para reduzir a permeabilidade.

6. INFORMAÇÕES PARA PROJETO

6.1 Generalidades

O C.C.R. é acima de tudo um concreto com propriedades próprias e definidas.

Em assim sendo, barragens em concreto rolado são calculadas e seguem os mesmo critérios utilizados para as barragens em concreto convencional [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36].

Dessa forma as características de cada tipo de concreto, devem ser aproveitadas, procurando tirar o máximo proveito em cada situação.

Os aspectos de:

- Planejamento global da obra;
- Tipo e altura da estrutura;
- Estabilidade estrutural;
- Níveis de tensões;
- Aspectos térmicos;
- Controle de infiltração e drenagem, devem ser como se faz para estruturas de concreto, criteriosamente avaliados.

Deve ser evidenciado que o C.C.R. é um processo construtivo e não uma técnica de projeto.

6.2 Planejamento Global da Obra

A adoção da alternativa mais conveniente para o projeto de uma barragem deve ser a partir da comparação técnica-econômica entre diversos arranjos.

A aplicação do C.C.R. permite otimizar etapas, havendo entretanto necessidade de simplificar as áreas de colocação de concreto. Isto posto, essa técnica permite grande velocidade de construção, como ilustra a Figura 14.

BARRAGEM	PAÍS	VOLUME DE C.C.R. (m³) (1)	PRAZO APROX. DE LANÇAMENTO DO C.C.R. (dias)	PICO APROX. DE CON-CRETAGEM (m³/dia)	PREÇOS DO C.C.R. (US\$/m³) (2)
Willow Creek	E.U.A.	331.000	140	4.500	24,8 (6)
Gatesville	E.U.A.	160.800	70	5.700	28,0
Monksville	E.U.A.	221.000	150	6.000	21,6 (3)
Middle Fork	E.U.A.	42.100	49	3.000	< 32,7
Upper Stillwater	E.U.A.	1.102.000	360	8.400	31,1
Copperfield	AUSTRÁLIA	140.000	103	2.400	32,0
Urugua-I	ARGENTINA	600.000	270	6.000	32,1 (5) 35,7
Saco de Nova Olinda	BRASIL	132.000	110	2.500	40,0
Stagecoach	E.U.A.	33.500	30	2.500	38,3
Elk Creek	E.U.A.	770.000	180 (4)	11.500	25,6

OBS.:

- (1) inclui, na maioria das obras, o concreto convencional da face montante
- (2) correspondentes, na maioria dos casos, ao preço ofertado pelo empreiteiro vencedor da concorrência
- (3) preço revisado posteriormente, por ter havido atraso de 1 ano na autorização para início da construção
- (4) obra paralisada após lançamento de aproximadamente 25% do total em virtude de pendências com o relatório de impacto ambiental
- (5) preço de us\$ 32,1/m³ para c.c.r. com 60 kg/m³, preço de us\$ 35,7 para c.c.r. com 90 kg/m³
- (6) preço de us\$ 31 se incluídos painéis pré-moldados de concreto

Figura 14 - Dados de velocidade de construção de barragens em C.C.R.

Alguns aspectos que devem ser levados em consideração podem ser destacados [36]:

- **Desvio do rio:** pode ser simplificado devido às velocidades de execução, reduzindo os prazos, geralmente não excedendo a um período de cheias, o que permite a redução do volume de ensecadeiras. Há ainda a possibilidade da incorporação de adufas de desvio ao maciço da barragem, como se observa para Urugua-I [25] [30];
- **Vertedouros:** possibilidade da utilização de soleira vertente, associada a órgãos de dissipação apropriados às vazões específicas, e ainda a conveniência de se procurar soluções em soleira livre, para minimizar as interferências;
- **Tomada d'Água e embutidos:** possibilidade de incorporação ao corpo da barragem;
- **Acessos:** as velocidades de execução, obtidas pelo C.C.R., exige um planejamento detalhado das vias de acesso, visto que geralmente, essas vias terão curta duração, sendo que os custos decorrentes devem ser ponderados;
- **Segurança no trabalho:** a possibilidade de ampla mecanização nessa técnica, permite a redução de mão-de-obra, e de forma decorrente reduz o potencial de perigo;
- **Infraestrutura:** as velocidades de construção e a redução do contingente de mão-de-obra, possibilitam a redução da infraestrutura necessária a obra (alojamentos, edificações, pátios, etc.);
- **Prazos:** os curtos prazos de execução possibilitam quase sempre uma ou o conjunto das seguintes situações - antecipação de geração (caso o crítico seja o barramento), regulação do rio, para aproveitamento a jusante, de forma antecipada: redução de desembolso.

6.3 Tipo e Altura da Estrutura

Nada impede que a inteligência e o conhecimento humano amplie, com segurança, o emprego dos materiais conhecidos.

Assim é que o desenvolvimento do C.C.R., contemporaneamente, está possibilitando o emprego dessa técnica na construção de:

- Barragens tipo gravidade,
- Barragens tipo arco [3],
- Barragens com 115m de altura (em construção) e com até 180m de altura, em arco (em projeto) [3].

6.4 Estabilidade da Estrutura

A estabilidade da estrutura de barramento normalmente é verificada quanto ao tombamento e quanto ao deslizamento, levando em consideração as condições de drenagem, a geometria da estrutura e as propriedades do concreto rolado.

As referências [29] [30] [31] [32] [33] fornecem informações e otimizações sobre os critérios aplicáveis.

É importante salientar que uma das dúvidas, não procedentes, que se estabelece com respeito ao C.C.R. é quanto às juntas de construção.

Deve ser lembrado que esse questionamento é inerente às estruturas de concreto, de forma geral, e não particularmente às de concreto rolado.

A sua compreensão e solução está diretamente ligada ao conhecimento das propriedades determinadas por ensaios. Através disso pode-se estabelecer os requisitos de "coesão" e "atrito" compatível com o coeficiente de segurança estipulado, para os carregamentos avaliados.

Os critérios normalmente adotados, têm mostrado que a estabilidade, exige condições mais rígidas de tratamento de juntas de construção, para obras em regiões sísmicas, em comparação com obras de outras regiões.

6.5 Níveis de Tensões

Os níveis de tensões instalados na estrutura podem ser determinados pelos vários processos normais de cálculo, como cita [33].

De forma geral as tensões efetivas observadas nas estruturas tipo gravidade são baixas - da ordem de 20 a 30 Kgf/cm² para compressão - o que é largamente superado pela capacidade resistente do concreto convencional e rolado como mostra a Figura 15 [37].

6.6 Aspectos Térmicos

Os concretos convencionais e rolado durante o processo de endurecimento, geram calor, devido às reações de hidratação.

Essa geração de calor, provocando variações volumétricas, associadas aos efeitos de restrição pode ultrapassar a capacidade resistente do concreto.

As referências [34] [35] abordam o tema das tensões térmicas, e a decorrente necessidade de estabelecimento de juntas de contração.

Há evidências [3] [34] [35] que a redução do consumo de material que gera calor (cimento ou mistura de cimento + material pozzolânico) reduz notadamente os picos térmicos. O mesmo ocorre com a redução da altura da camada.

Dessa forma a técnica do C.C.R., que usa da colocação incremental de camadas de pequena altura (30 a 50cm), mesmo a pequenos intervalos de tempo (12 a 48 horas) mostra-se vantajosa sob o ponto de vista térmico.

Nesse ponto é importante fazer uma associação com o tipo de proporcionamento que se estabelece para o C.C.R. Deve-se procurar compor os materiais, além da forma econômica, de tal sorte a se ter:

- máximo "rendimento" das propriedades mecânicas;
- mínima geração de calor.

6.7 Controle de Infiltração e Drenagem

A prática de projetos adotada no Brasil e utilizada em nossas grandes barragens (por exemplo Ilha Solteira, Tucuruí, Itaipu) em concreto massa convencional, desde 1960, tem sido de tomar atenção quanto ao controle das infiltrações e da drenagem.

Tem sido prática a utilização de uma camada de concreto de "impermeabilização" junto aos paramentos de contato hidráulico, bem como do uso de "drenos de cabeça", colocados na região próxima ao paramento em correspondência com o sistema de injeção e drenagem da região da fundação.

O sistema de impermeabilização de um maciço de C.C.R., deve levar em conta as características do concreto, associado ainda ao maior número de juntas de construção.

Como se evidenciou, sobre a maior permeabilidade geralmente observada para o C.C.R., comparativamente aos concretos convencionais de consumo equivalente, poderá haver a necessidade de se adotar uma barreira impermeável, de tal sorte a minimizar o perigo de estabelecimento de subpressões.

O dimensionamento da geometria dessa barreira impermeável pode ser feito através de [38]:

$$e = \sqrt{2 \cdot K \cdot p \cdot t/a} \quad \text{onde:}$$

e = espessura do paramento
 k = permeabilidade do material
 p = pressão da coluna d'água
 t = tempo considerado para a obra
 a = absorção do material ou vazios

A utilização de camadas de materiais distintos, como em Urugua-I [32], indica a consideração das diversas espessuras para cada tipo de material e as respectivas propriedades.

Nesse ponto é novamente importante lembrar sobre a adequação do tipo de proporcionamento adotado, para os materiais disponíveis, visando:

- menor geração de calor;
- maior rendimento;
- maior impermeabilização;
- menor custo.

		GROUP I				GROUP II			GROUP III			GROUP IV	
		AMERICAN FALLS DAM SNAKE RIVER, IDAHO	ALTUS DAM NORTH FOR, RED RIVER, OKLAHOMA	KESWICK SACRAMENTO RIVER, CALIFORNIA	EAST PARK LITTLE STONY CREEK, CALIFORNIA	ANGOSTURA CHEYENNE RIVER, SOUTH DAKOTA	BLACK CANYON PAYETTE RIVER, IDAHO	KORTES NORTH PLATTE RIVER, WYO	FRIANT SAN JOAQUIM RIVER, CALIFORNIA	MARSHALL FORD COLORADO RIVER, TEXAS	ELEPHANT BUTTE RIO GRANDE RIVER, NEW MEXICO	GRAND COULLE COLUMBIA RIVER WASHINGTON	SHASTA SACRAMENTO RIVER, CALIFORNIA
TYPE OF DAM		Straight Gravity	Straight Gravity	Straight Gravity	Curved Gravity	Straight gravity	Bent Gravity	Straight Gravity	Straight Gravity	Straight Gravity	Straight Gravity	Straight Gravity	Curved Gravity
YEAR COMPLETED		1927	1945	U.C.	1910	U.C.	1925	U.C.	1942	1942	1916	1941	1944
MAXIMUM HEIGHT, F.T. (ANALYZED SECTION)		775	102	130	130	159	170	239	267	268	294	460.5	492.5
CREST LENGTH, F.T.		5,227	1,112	1,046	250	980	1,039	440	3,430	5,128	1,674	4,173	3,500
LENGTH-TO-HEIGHT RATIO		67.4	10.9	8.1	1.9	6.2	6.1	18	12.8	19.1	5.7	9.1	7.1
THICKNESS AT CROWN, F.T.	TOP	8	10	43.2	10.6	10	10.6	20	20	30	18	30	30
	BASE	59.6	72	85	90.6	138.3	136.5	169.4	217.3	221.45	243.78	394.4	593.22
BASE-TO-TOP RATIO		7.5	7.2	2.0	8.5	13.8	12.9	8.5	10.9	7.4	13.5	13.1	19.8
BASE-TO-HEIGHT RATIO		0.8	0.7	0.7	0.7	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	1.2	1.2
VOLUME OF DAM (CU. YARDS OF CONCRETE)		166,000	70,000	192,000	12,200	224,000	79,000	130,000	2,030,000	1,770,000	605,000	9,790,000	6,440,000
CANTILEVER PROFILE													
CROSS CANYON PROFILE (TRIAL-LOAD ANALYSES)													
(1) CRITICAL CANTILEVER STRESS UPSTREAM FACE	NORMAL LOADING	27 U 31 P 08 S	30 U 42 P 1.2 S	—	25 U 54 P 1.1 S	—	28 U 74 P 16 S	—	84 U 114 P 8 S	141 U 102 P -2.3 S	94 U 125 P 19 S	—	259 U 237 P 11 S
	MAXIMUM LOADING	13 U 37 P 4.7 S	7 U 50 P 4.2 S	-20 U 52 P 0 S	-4 U 60 P †19 U 27 P	50 U 64 P ‡51 U 38 P	-18 U 72 P 31 S	59 U 102 P ‡220 U 102 P	32 U 135 P 28 S	81 U 100 P -72 P 64 S	104 U 138 P -10 U 76 P 64 S	131 U ‡130 U 190 P	186 U 282 P -57 S
MAXIMUM CANTILEVER STRESS DOWNSSTREAM FACE	NORMAL LOADING	80 D 34 S	115 D 49 S	—	155 D 72 S	—	204 D 68 S	—	297 D 140 S	230 D 112 S	331 U 149 S	—	539 249 S
	MAXIMUM LOADING	112 D 49 S	162 D 70 S	234 D 83 S	217 D 100 S ‡129 D ‡200 I	243 D ‡240 D	272 D 95 S	287 D ‡155 D	409 D 192 S	349 D 169 S	471 D 215 S	575 D ‡578 D	744 D 349 S
MAXIMUM SLIDING FACTOR	GRAVITY ANALYSIS	0.783	0.832	0.764	1.070	0.924	1.217	0.771	0.999	0.772	1.161	0.805	0.902
	TRIAL-LOAD ANALYSIS	—	—	—	—	†0.931	—	†1.218	—	—	—	1.38	—
MINIMUM SHEAR-FRICTION FACTOR	GRAVITY ANALYSIS	16.2	11.0	8.25	4.6	5.07	8.4	6.7	5.45	4.8	5.1	5.89	4.8
	TRIAL-LOAD ANALYSIS	—	—	—	—	5.43	—	†7.7	—	—	—	5.86	—
LOADING CONDITIONS, GRAV. ANAL. U.S. FACE	NORMAL LOADING	Res full + TW	Res full + silt TW	—	Res full w/o TW	—	Res. full + TW	—	Res full w/o TW	Res full w/o TW	Res full + TW	—	Res full + TW
	MAXIMUM LOADING	Normal E or Ice	Normal + E	Normal + E	Normal + E	Normal + E	Normal + E	Max Flood	Normal + E	Normal + E	Normal + E	Normal + E w/o TW	Normal + E
LOADING CONDITIONS GRAV. ANAL. D.S. FACE	NORMAL LOADING	Res full + TW	Res full + silt + TW	—	Res. full w/o TW	—	Res full + T.W.	—	Res full w/o TW	Res full w/o TW	Res full + TW	—	Res full + TW
	MAXIMUM LOADING	Normal E or Ice	Normal + E	Normal + E	Normal + E	Normal + E	Normal + E	Max Flood + TW	Normal + E	Normal + E	Normal + E	Normal + E w/o TW	Normal + E
MAXIMUM LOADING CONDITIONS TRIAL-LOAD ANALYSIS		—	—	—	Normal E + Temp w/o TW	Normal + E + Ice + Earth	—	Max. Flood + TW	—	—	—	Normal + E	—
REFERENCES		Unnum- bered Memo Oct 29, 1940	Unnum- bered Memo Dec 26, 1941	Unnum- ber Memo July 28, 1941	Unnum- bered Memo Aug 25, 1941	Unnum- bered Memo Feb. 28, 1947	Tech Memo 549 Apr 8, 1937	Unnum- bered Memo Sept 3, 1943	Tech Memo 512 Sept 21, 1940	Tech Memo 573 May 15, 1938	Unnum- bered Memo June 19, 1940	Tech Memo 546 Feb 25, 1937	Tech Memo 575 May 15, 1938

(1) That stress which is lowest percentage of water pressure at the same point. Maximum compressive and tensile stresses parallel to the face are shown as well as water pressure at the point, if water pressure exceeds stress at face for any given loading condition.

‡ Results by Trial-Load Arch and Cantilever Analysis

S = Horizontal Shear Stress

E = Earthquake

Results by Trial-Load Beam and Cantilever Twist Analysis

Z = Intrados Arch Stress

TW = Tailwater

† Near Abutment

D = Downstream Face

w/o = Without

P Water Pressure

U = Upstream Face

UC = Under Construction

FIGURA 15 - Níveis de tensões, observados no cálculo de barragens

Pode-se citar que a utilização de camada de impermeabilização de concreto convencional dimensionada como se citou, tem levado, para barragens tipo gravidade, com inclinação do talude de jusante ao redor de $1v : 0,75h$, aos seguintes percentuais de volumes [19] [20] [21] [25]:

- Concreto rolado - 90-95%
- Concreto convencional - 5-10% (para face e berço)

7. EXECUÇÃO

7.1 Generalidades

O planejamento, a logística e o arranjo geral das instalações e acessos para a construção com o C.C.R. são substancialmente distintas daqueles utilizados para o concreto massa convencional.

Dois objetivos são fundamentais para esse trabalho: simplicidade e rapidez

A necessidade de evitar interrupções faz com que praticamente todos os materiais, embutidos, fundações, equipamentos, etc., sejam estudados, planejados e colocados a disposição da obra, com adequação.

Todos os serviços referentes ao abastecimento, limpeza de equipamentos, montagem de formas e de embutidos devem ser levados em consideração no sentido de não interferirem nos serviços de lançamento, espalhamento e adensamento.

As razões dessas precauções decorrem do fato de que a velocidade de construção é um dos fatores que induzem a parcelas de economia.

Uma obra com aproximadamente 50m pode ser executada em 3 meses, como Saco de Nova Olinda [19] [20] [21], e como no caso de Urugua-I (com 76m de altura) onde se atingiram produções elevadas como mostra a Figura 16.

Mes	Volúmen m^3	Cota alcanzada (m)	Producción promedio diaria (m^3 /dia)
Abril	26128	134,17	1187
Mayo	42029	140,55	1681
Junio	55614	148,36	2418
Julio	75094	156,47	3004
Agosto	93003	164,67	3577
Setiem.	104801	172,95	4030
Octubre	88143	180,89	3673

* Cota fundación CCR = 127,60m.

** Máxima producción diaria = 5971,49 m^3 .

Figura 16 - Volumes colocados em Urugua-I [23]

7.2 Sistema de Produção de Agregados

Ao se observar as produções de C.C.R. mostradas como exemplo na Figura 17, depara-se com a necessidade de se ter a disposição grandes quantidades de agregados (aproximadamente $1,3 m^3$ agregado (solto) / $1 m^3$ de concreto).

Diante dessa necessidade, dois caminhos podem ser seguidos:

- Instalação de beneficiamento de agregados com grande capacidade de produção;
- Instalação média e estoque antecipado.

A prática tem mostrado [19] [20] [21] [23] que é mais vantajoso trabalhar com um sistema de beneficiamento de menor porte, iniciando a produção de agregados, de forma antecipada e de maneira a atender a demanda até o final da obra.

7.3 Produção do Concreto Rolado

A produção do concreto rolado pode ser feita por qualquer tipo de central misturadora utilizada para concretos convencionais, compatível com o tamanho máximo do agregado [3].

A simplicidade que reveste a técnica do C.C.R. tem, entretanto, possibilitado o emprego crescente de centrais misturadoras tipo "Pug-Mill", semelhante as utilizadas para a produção de solo-cimento [3] [14] [19] [20] [21] [23]

Esse tipo de equipamento, associado a sistemas de controle de pesagem, e operados de forma competente, permitem a produção de C.C.R., de baixo teor de aglomerante (por exemplo 60 Kg/m^3), com qualidade e pequena dispersão, como no caso de Urugua-I [25].

7.4 Transporte do C.C.R.

Neste aspectos, volta-se às premissas de simplicidade e rapidez.

O uso de quaisquer sistemas que atendam essa premissas e garantam a uniformidade, a não segregação e a qualidade do concreto, é tecnicamente aceitável.

A rapidez, a custos convenientes, tem incrementado o uso de correias transportadoras [3].

A utilização de caminhões basculantes, que durante a execução da fase das escavações trabalham na retirada de material, é uma opção viável, sendo que a altura da queda durante o basculamento não deve provocar segregação.

7.5 Espalhamento do C.C.R.

O espalhamento do concreto rolado tem sido feito, preponderantemente, com tratores tipo Bulldozer, desde o modelo D-4, até D-7, ou equivalentes [3] [20] [23] [25], sendo que o mais conveniente tem sido trabalhar com tratores de aproximadamente 11 t [3].

O controle da altura da camada recém espalhada, tem sido feito topograficamente, de modo tradicional, ou com o auxílio de sensores a laser [23] [25].

7.6 Adensamento

O adensamento do C.C.R. tem sido feito pela compactação sob a ação de equipamentos vibratórios, rolos vibratórios, placas vibratórias, compactadores portáteis.

Há estudos [3] que procuram otimizar o tipo do rolo vibratório à finalidade, que é a compactação do "concreto rolado". Entretanto, devido ao custo dos equipamentos, a sua capacidade de produção, bem como a frota disponível pelos empreiteiros, a prática tem mostrado que os rolos liso vibratórios utilizados, ultrapassam folgadoamente as necessidades [14] [19] [20] [21] [23] [25].

É evidente que com o passar do tempo e com a renovação das frotas e adequação dos equipamentos ocorrerá uma otimização

7.7 Cura e Proteção

A cura do C.C.R. tem sido feita através do emprego de uma nebulização de água sobre a camada compactada, até a colocação da nova camada [26].

A proteção do C.C.R., em regiões de elevada insolação e/ou umidade relativa, tem sido feita também por aspersão, mantendo-se uma névoa sobre a região em trabalho [25].

Em regiões de alta pluviosidade é conveniente ter sempre a disposição lonas para proteção, como se utilizou em Tucuruí [3].

7.8 Tratamento das Superfícies

O tratamento da superfície de fundação de uma barragem em C.C.R. não difere daquele usado para uma barragem em concreto convencional.

O preparo das juntas de construção entre camadas de concreto rolado, deve ser feito de modo que as propriedades mecânicas - coesão e atrito, particularmente - sejam atendidas.

O critério e o tipo de tratamento adotado deve ser balizado por ensaios, que atendam as intenções do projeto, executados nas condições de obra.

A comissão relatora não recomenda a adoção do conceito de maturidade para essa finalidade, visto que os resultados de tratamento de juntas por esse parâmetro, não são apenas afetados pela temperatura e pelo período de exposição mas também pelas condições de insolação e secagem.

Dessa forma o emprego de concreto de berço, calda, argamassa espalhada, concreto projetado, ou outro processo, sobre uma superfície limpa com jato de ar, ar e água, sob pressão, ou outro meio, deve garantir as propriedades estabelecidas.

Isso normalmente pode, e deve, ser avaliado através de ensaios em aterros experimentais.

Chama-se a atenção sobre o fato de que embora a limpeza das superfícies de R.C.C. sejam muito mais simples que as do concreto convencional, essa operação no contexto das operações do concreto rolado, é uma das mais demoradas e que deve receber atenção especial no planejamento.

7.9 Galerias - Poços de Drenagem

A execução de galerias, poços de drenagem, pode ser feita por moldes convencionais, ou por preenchimento com material inerte, que é posteriormente retirado [19] [20] [21] [22] [23] [25].

7.10 Juntas de Contração

A necessidade da execução de juntas de contração, se imposta pelos estudos de projeto, pode ser cumprida de maneira simples.

Pode ser empregada a técnica adotada pelos japoneses [3] na construção das barragens em C.C.R., e que consiste na inserção de uma fina lâmina metálica, introduzida por uma lâmina vibro-percussora, acoplada à lança de uma retroescavadeira, no concreto rolado, recém espalhado. Essa lâmina torna-se perdida, na massa de C.C.R., estabelecendo a junta de contração.

Pode ser também empregada a técnica adotada em Urugua-I [3] e que consistiu na introdução de um lençol plástico (lona plástica) envolvendo um gabarito que é posicionado anteriormente ao espalhamento do C.C.R., e que ao ser retirado, deixa o lençol de plástico fragilizando a seção e estabelecendo a junta de contração.

Podem ainda ser empregados processos derivados dessas duas alternativas.

O estabelecimento da junta de contração na região dos paramentos pode ser conseguido através de lâmina, metálica ou de madeira, interpondo a elementos de vedação (mata-juntas) e drenos, e que são envoltos por concreto convencional, como fazem os japoneses [3], como executado em Saco de Nova Olinda e Urugua-I [3] [19] [20] [21] [22] [23] [25] [31] [32].

7.11 Paramentos

A geometria dos taludes dos paramentos de montante e jusante, de um barramento, estabelecida com base nas avaliações de estabilidade, custo, condições de fundação e propriedades do C.C.R., pode ser obtida na construção por diversos métodos, de maneira a atender a forma, aspectos arquitetônicos e durabilidade.

Assim é que a utilização de formas convencionais tipo trepante, tem sido uma grande opção [3] [14] [15] [20] [21], para o paramento de montante.

A utilização de painéis de concreto pré-moldado também tem sido uma alternativa adotada [3] [23] [25] [30] [31] [32] para o paramento de montante.

Para o paramento de jusante, além das duas opções anteriores, citadas para a face montante, além de forma deslizante, outras alternativas se apresentam.

Uma delas é a moldagem da face de jusante, em degraus de pequena altura (30 a 50 cm) compatíveis com a altura da camada de C.C.R. Esses degraus são estabelecidos com formas (de madeira ou metálicas) ou com peças em concreto pré-moldado [3] [19] [20] [21] [23] [25] [30] [31] [32].

Outra opção é deixar o concreto rolado em seu ângulo de repouso natural, como utilizado na barragem de Copperfield [3]. Essa opção leva à taludes mais suaves (1,0v: 0,9h a 1,1h) que os normalmente adotados nas análises de estabilidade (aproximadamente 1,0v: 0,75h).

Uma outra alternativa ainda, é o da compactação da camada na inclinação prevista para o talude, com o emprego de ferramenta adequada, acoplada a uma máquina.

Essas opções têm mostrado suas vantagens particulares nas situações específicas.

De forma geral, a escolha de uma ou outra alternativa deve atender as premissas de atendimento:

- ao projeto (estabilidade e aspecto arquitetônico);
- à qualidade e durabilidade;
- à simplicidade;
- à rapidez;
- à segurança;
- à economia;

O tipo de concreto nesses paramentos (C.C.R. ou convencional) também segue as intenções de obedecer às propriedades citadas no projeto.

7.12 Auscultação

A implantação de um sistema de auscultação, adequadamente projetado e compatível com as características da tecnologia do C.C.R., não traz dificuldades superiores aquelas observadas na construção com concreto convencional.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Uma das perguntas que normalmente acompanham os neófitos no tema do concreto rolado, diz respeito ao controle de qualidade e as dispersões que poderiam ser mostradas na produção do C.C.R., principalmente quando se cita o baixo consumo de aglomerante (ao redor de 60 kg/m³).

As referências [13] [14] [15] [21] [22] [25] evidenciam que, ao se adotar procedimentos de controle adequados ao processo, com equipamentos também adequados, o controle de qualidade do C.C.R., mostra resultados uniformes e de dispersões até inferiores às aquelas observadas para o concreto massa convencional, de consumo (de aglomerante) equivalentes.

As figuras 17 a 19 mostram detalhes sobre resultados e dispersões observados no controle de qualidade do C.C.R.

A figura 19 a seguir e figura 6 da página 138 - vol. I, dos anais, por sua vez, mostram de maneira comparativa, os dados do controle de qualidade do C.C.R. empregado em Urugua-I e os dados do concreto massa (de baixo consumo de aglomerante), das grandes hidroelétricas brasileiras [25].

Pelos parâmetros mostrados nas figuras 19 e figura 6 da página 138 - vol. I dos anais, nota-se que podem ser obtidos valores consistentes, uniformes e de baixo consumo de aglomerante (60 Kg/m³), como se observou em Urugua-I.

Esses valores decorrem de um controle de qualidade amplo, que abrangeu [22] [23]:

- Controle sobre materiais básicos (água, aglomerante, agregados, etc.);
- Estudo amplo das misturas básicas;
- Controle dos equipamentos de produção dos agregados e do concreto rolado.
- Controle das misturas frescas;
- Controle da operação de colocação do C.C.R. (umidade, teor de cimento, massa específica);
- Controle do concreto endurecido (resistências);
- Auscultação da estrutura;
- Execução de aterros experimentais.

As referências [13] [14] [21] [22] [25] [39] fazem referências às metodologias disponíveis para o controle de qualidade do C.C.R., e respectivas frequências de aplicação.

PRESA	PAIS	VOLUMEN H.C.R. (m ³)	AL- TURA (m)	LIGANTES (kg/m ³)			RELACION LIGAN- TES AL- TURA	REND. MEZCLA (kg/cm ² /kg/m ³)		COEFICIENTES DE DISPERSION (%)					
				CEMEN- TO	PUZOL.	TOTAL		28 dias	90 dias	ENSAYOS DE COMPRESION		ENSAYOS SOBRE MEZCLAS FRESCAS			
										28 dias	90 dias	CONT. CEM.	CONT. HUM.	CONT. AGR. GR.	P.U.MLA
URUGUA-I	ARGENTINA	590,000	76	60	0	60	0.789	1.26	1.59	12.5	8.8	4.1	6.2	3.9	1.4
MORSVILLE	E.E.U.U.	239,000	46	62	0	62	1.348	0.73	0.78	24	21	13	12	14	1
MILLOW CREEK	E.E.U.U.	331,000	52	47	19	66	1.269	1.26		28	29	21	23	8	2
MIDDLE FORK	E.E.U.U.	42,000	38	66	0	66	1.737	1.54	2.22	33	16				
SACODENOVAOLINDA	BRASIL	133,000	56	70	0	78	1.250	0.65							
ACAUUA	BRASIL	623,000	79	60	24	84	1.063								
RWEDAT	MARRUECOS		27	100	0	180	3.704	0.8	0.88						
WINCHESTER	E.E.U.U.	25,000	21	104	0	104	4.952	1.7		25	21				
SALESVILLE	E.E.U.U.	161,000	51	53	53	106	2.078			24	20	16	13	8	2
COPPERFIELD	AUSTRALIA	138,000	40	80	30	110	2.750	0.42	0.67	38	25				
SHIMAJIGAWA	JAPON	165,000	89	84	36	120	1.348								
CRAISBOURNE	AUSTRALIA		25	70	60	130	5.200	0.67	1.21	33	14				
OLIVETTES	FRANCIA	85,000	36	85	45	130	3.611	0.94	1.05						
TAMASAWA	JAPON	750,000	103	91	39	130	1.262	1.07	1.65						
SAKAIGAWA	JAPON	314,000	115	91	39	130	1.138	0.81	1.64	6.9	7.6				
RIOU	FRANCIA	55,000	25	85	45	130	5.200	0.65	0.92						
SANTA EUGENIA	ESPANA	219,000	82	110	20	130	1.585								
KENEKOU	CHINA	60,000	57	60	80	140	2.456								
UPPERSTILLMATER	E.E.U.U.	1,070,000	90	80	173	253	2.811	0.53	0.96	21	19				

Figura 17 - Parâmetros de rendimentos e coeficientes de variação de aplicações do C.C.R. [22]

APLI- CAÇÃO	TEOR DE AGLOMERANTE (mistura principal)			MASSA ESPECÍFICA ENSAIADA		RENDIMENTOS $\frac{\text{kgf/cm}^2}{\text{kgm}^3}$ A			COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%) A IDADE (DIAS)			REFE- RÊNCIAS
	VALOR NOMINAL Kg/m ³	VALOR OBTIDO Kg/m ³	COEF. DE VARIAÇÃO %	VALOR MÉDIO Kg/m ³	COEF. DE VARIAÇÃO %	7	28	90	7	28	90	
Saco Nova Olinda	70 a 75 (cimen- to pozolânico)	50,4 a 73,4	-	2.331	2,7	0,32 a 0,53	0,44 a 0,69	0,54 0,77	-	-	18	[19] [20] [21]
Serra da Mesa	60 cimento + (140 escória alto forno)	-	-	2.325 a 2.475	1,2 a 1,4	0,71 a 0,74	1,07 a 1,33	-	24,1 a 27,7	17,4 a 25,7	-	[11] [12] [13] [14] [15]
Urugua-I	60 cimento	61,4	5,2	2.632	1,2	0,83 a 0,94	1,07 a 1,24	1,35 a 1,63	13,4	10,4	9,9	[22] [25]

Figura 18 - Dados de controle de qualidade do C.C.R.

OBRA	MISTURAS	CONTEÚDO CIM + POZ (kg/m³)	IDADE (DIAS ANOS)	Nº DE ENSAIOS	COEF. DE VARIAÇÃO (%)			Kg/cm² * kg/m³	VOLUME (m³)			
					MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO					
URUGUAI	PMG 60	60	7	210	18,14	11,05	13,43	0,94	500.000			
			28	162	14,74	7,03	10,38	1,24				
			90	16	---	---	9,96	1,63				
	PMG 90	90	7	19	---	---	11,80	0,83				
			28	11	---	---	9,93	1,07				
			90	6	---	---	12,36	1,35				
TOTAL				424								
ILHASOLEIRA	VÁRIAS	84 A 134	7	1.186	41,40	22,10	28,40	0,81	480.000			
			28	1.186	26,80	14,90	21,30	1,46				
			90	1.186	22,50	14,70	17,90	1,78				
			180	1.291	21,60	15,20	18,70	1,82				
			360	1.186	---	---	17,40	2,11				
			TOTAL				6.040					
ITAIPIU	VÁRIAS	87 A 134	7	4.040	34,70	21,30	26,50	0,49	6.000.000			
			28	1.585	28,40	18,90	23,90	0,94				
			90	3.953	27,50	15,80	20,80	1,39				
			180	1.090	22,30	13,70	18,20	1,58				
			1	2.269	19,30	11,40	16,60	1,64				
			2	127	19,90	12,70	16,30	1,70				
TUCURUI	VÁRIAS	93 A 126	5	127	14,60	12,40	13,50	1,80	1.270.000			
			TOTAL				13.218					
			3	659	28,00	19,30	22,12	0,57				
			7	1.687	25,90	16,70	20,80	0,74				
			28	1.984	23,40	15,60	18,80	1,05				
			90	1.990	18,90	14,30	17,00	1,34				
180	38	---	---	15,40	1,26							
1	172	---	---	16,20	1,20							
TOTAL				6.530								

* RENDIMENTO

Figura 19 - Valores do controle estatístico sobre as resistências do C.C.R. de Urugua-I e de concreto massa de obras de barragens [25].

9. CUSTOS

Ao se citar as características e vantagens do C.C.R. não se pode deixar de apontar o aspecto econômico.

Os valores de "venda", expressos em US\$/m³, como se cita na figura 14 [36], referem-se aos preços pagos pelos clientes, e englobam os serviços, materiais e operações específicas, de cada caso.

De forma geral esses preços mostram-se ao redor de 30% a 40% do preço do concreto massa convencional equivalente.

Deve ser lembrado, ainda, como citado nas referências [25] [30] que a execução da barragem de Urugua-I em concreto rolado possibilitou:

- Redução do preço (global) da obra em 30%,
- Redução do prazo da obra em 11 (onze) meses, quando comparada com a solução original, que era de enrocamento com face de concreto, em uma região onde é abundante e aflorante o basalto denso e são.

10. COMENTÁRIOS

O elenco de informações técnicas fornecidas no XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, associadas a tendência atual e ao desenvolvimento do C.C.R. no âmbito internacional, faz acreditar na suficiência das mesmas para se aceitar o uso dessa técnica, visto que nos locais de fundação competente para receber uma estrutura de concreto, essa alternativa tem se mostrado mais econômica quando comparada com outros tipos de maciços, sem limitação lógica para a altura, visto que as propriedades já possibilitam um domínio sobre o assunto, além do que os controles de qualidade mostram a uniformidade do produto.

O acervo de dados reportados resumem sem dúvidas, que se pode usufruir de uma técnica de construção que engloba: qualidade, segurança, economia e rapidez.

Algumas otimizações no âmbito regional quanto ao uso de materiais, dosagens e propriedades, poderão ser obtidas caso os responsáveis pela administração dos recursos públicos se interessem.

11. RECOMENDAÇÕES

Decorrentes das informações fornecidas neste XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, bem como de outras debatidas em âmbito internacional, os membros da Comissão Relatora se vêem obrigados a apresentar algumas recomendações, citadas a seguir.

É óbvio que um bom empreendimento compreende a interação das várias áreas envolvidas.

Assim é que a execução de uma barragem será otimizada, com o estreito relacionamento de:

- Projetista;
- Ente responsável pelo desembolso;
- Ente fiscalizador;
- Ente pesquisador;
- Construtor.

Mas é de se supor que as atribuições e competências sejam bem definidas e de maneira clara.

Dessa forma deve haver distinção clara nas especificações, sendo que ao se especificar um produto, esta não deve intervir no processo.

Dessa forma as especificações técnicas para o concreto rolado devem englobar:

- os requisitos dos diversos materiais disponíveis para a obra e os parâmetros de estudos ou avaliações.
- os requisitos - propriedades e tolerâncias ou dispersões - dos produtos (classes de concreto) designados ao projeto, por exemplo: massa específica mínima, ou média; resistências mecânicas (compressão, tração, cisalhamento, etc.); permeabilidade, ou sistema de impermeabilização; características térmicas; necessidade ou não de juntas de contração e respectivo espaçamento decorrente dos estudos térmicos; as salvaguardas de projeto para a estrutura; sistema de auscultação da obra.

Por outro lado, as maneiras e os procedimentos para atender esse requisitos devem englobar o estado da arte da tecnologia e as alternativas do construtor.

Para se atingir essa situação é de extrema importância a execução de aterros experimentais através do qual se otimiza:

- o tipo de equipamento;
- o tipo de tratamento de juntas de construção;
- o controle de qualidade.

A fiscalização exercida sobre vários pontos e/ou ações possibilitará atingir a uniformidade adequada, observando que uma estrutura deve ser construída com materiais que proporcionem um máximo rendimento, mínima geração térmica, adequada impermeabilização, de forma segura e econômica.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRIOLO, F.R. - BETIOLI, I. - SCANDIUZZI L. - "Concreto Adensado com Rolo Vibratório" - XIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Rio de Janeiro - Abril - 1980.
- [2] KRAUCH, H.W. - "Rolled Lean Concret at Itaipu Dam" - Proceeding of the International CIRIA Conference - June - 1981.
- [3] ANDRIOLO, F.R. - "Contribuições para o Conhecimento e Desenvolvimento do Concreto Rolado" - 1989.
- [4] MOREIRA, J.E - Relato à Sessão - "Concepções não Convencionais em Projetos e Construções de Barragens e Ensecadeiras" - XVII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Brasília - 1987.
- [5] PLANO 2010 - Relatório Executivo - Plano Nacional de Energia Elétrica - 1987/2010 - Ministério das Minas e Energia - Eletrobrás.
- [6] ANDRADE, W.P. e outros - "Pesquisa com cimento de Escória de Alto Forno" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [7] OLIVEIRA, P.J.R. - SALLES F.M. - SAAD M.N.A. - "Aplicação do Cimento de Alto Forno em Concreto de Grandes Obras" - A CESP conta a sua história - São Paulo - 1985

- [8] ESPER, M.W. - DATTAGIN A.F. - "Propriedades do Cimento Portland de Alto Forno como Aglomerante para Aplicação em Barragens" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [9] OLIVEIRA, P.J.R. - SALLES F.M. - SAAD, M.N.A - "Estudo da Possibilidade do Uso de Cimento Portland de Alto Forno em Obras de Grande Porte" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [10] GONÇALVES, F.F. - FERREIRA, M.C.N.F. - COSTA, G.O - "Emprego de Escória de Alto Forno, nos Estudos de Concreto Compactado a Rolo, Rico em Pasta, para a Barragem de U.H.E. de Bocaina" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [11] ANDRADE, W.P. E outros- "Influência da Finura da Escória de Alto Forno Moída nas Propriedades do Concreto Compactado a Rolo" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [12] ANDRADE, W.P. e outros - "Estudo de Dosagens para Concreto Compactado a Rolo - Obras de Desvio da Usina Serra da Mesa" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [13] ANDRADE, W.P. e outros - "Procedimento de Controle de Qualidade do Concreto Compactado a Rolo das Ensecadeiras Galgáveis para o Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Usina Serra da Mesa" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [14] ANDRADE, W.P. e outros - "Construção e Controle do Concreto Compactado a Rolo para as Ensecadeiras Galgáveis da Usina Serra da Mesa - Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [15] ANDRADE, W.P. - MOURA, F.I. - BARROS, P.A. - "Ensecadeiras Galgáveis em Concreto Compactado a Rolo - Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Usina Serra da Mesa" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [16] ANAIS DA 30ª REUNIÃO ANUAL DO IBRACON - Rio de Janeiro - 1988.
- [17] ANDRIOLO, F.R. - BRAGA, J.A. - GOTTARDO, G. - "O Desenvolvimento e Uso do Concreto (Betão) Adensado com Rolo Vibratório, em Obras Hidráulicas em Países da America do Sul" - Conferência Ibero-Americana sobre Aproveitamentos Hidráulicos - Lisboa - 1987.
- [18] CARVALHO, L.H. - FILHO, S.R. - HOLANDA, F.G. - "Barragem de Acauá - Otimização do Projeto com o emprego do Concreto Compactado - R.C.C." - XVI SNGB - Belo Horizonte - 1985.
- [19] CARVALHO, L.H. - FILHO, S.P.R. - QUIN, J.T. - "Projeto do Maciço da Barragem de Saco de Nova Olinda" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [21] CARVALHO, L.H. - FILHO, S.P.R. - QUIN, J.T. - "Inspeção e Controle da Construção da Barragem Saco de Nova Olinda" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [22] ESPAÇA, M - NESPRAL, C.D. - QUEVEDO, C.A. - "Aproveitamento Hidroelétrico Urugua-I - Tecnologia del H.C.R." - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [23] BALLESTRERO, L.A. - GARRONE, J.R. - "Utilización del H.C.R. en el Aprovechamiento Hidroeléctrico del Arroyo Urugua-I" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [24] ANDRIOLO, F.R. - BRAGA, J.A. - GOLICK, M. - ROSÁRIO, L.C. - ZANELLA, M.R. - "Concreto Rolado - Ensaios Especiais" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [25] ANDRIOLO, F.R. - GOLICK, M. - "Urugua-I (C.C.R) - Controle de Qualidade do Concreto Lançado no Tramo Principal da Barragem" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [26] BRAGA, J.A. - LACERDA, S.S. - DUARTE, J.D.C. - ROSÁRIO, L.C. - "Utilização de Finos - Sub-produto de Britagem nos Concretos Rolado e Convencional" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [27] CARVALHO, J.L.V. - "Evolução do Concreto Compactado à Rolo em Barragens de Gravidade" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [28] BRAGA, J.A - ROSÁRIO, L.C. - SEIPART, L.A - ZALESKI, J.M. - "Concreto Adensado com Rolo Vibratório - Dados sobre uso na Itaipu Binacional com aproximadamente 10 anos de idade" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [29] VIVIAN, M. - "Projeto de Barragens de Concreto Compactado a Rolo" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.

- [30] SEGARRA J.F. - VELEDA, C.A. - Lorenzo, A. - "Proyecto Hidroelectrico Uruguay-I, Presa Principal de H.C.R. - Descripción General" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [31] VELEDA, C.A. - LORENZO, A. - DADI, J.L. - "Proyecto Hidroeléctrico Uruguay-I, Presa Principal de H.C.R. - Consideraciones sobre la Seguridad ante el Deslizamiento" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [32] SEGARRA, J.F. - VELEDA, C.A. - LORENZO, A. - DADI, J. - "Proyecto Hidroeléctrico Uruguay-I - Presa Principal de H.C.R. - Critérios de Diseño" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [33] AVILA, N.V. - "Algumas Considerações a Respeito da Estabilidade das Barragens de Concreto Compactado a Rolo" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [34] FERREIRA, O.V. - INOUE, G. - KUPERMAN, S.C. - MULATINHO, J.B. - VIEIRA, L.P.J. - "Análise Térmica de Estruturas de Concreto Compactado a Rolo" - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [35] BIRINDELLI, L.I.O. - FERREIRA, O.V. - MIYAJI, Y - SCANDIUZZI, L. - "Estudo Térmico das Condições de lançamento e de Definição do Espaçamento de Juntas de contração em Barragens de C.C.R." - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [36] CANHOLI, A.P. - JENSEN, P.D. - KUPERMAN, S.C. - "Alguns Aspectos de Projeto para Barragens em C.C.R." - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [37] "DESIGN OF GRAVITY DAMS" - United States Departament of the Interior - Bureau of Reclamation - 1976.
- [38] BAZAUT, Z.P. - "Pore Pressure Uplift and Failure Analises of Concrete Dams".
- [39] PICCOLI, G.M. - "Subsidios para Implantação de Controle de Qualidade do C.C.R." - XVIII SNGB - Foz do Iguaçu - 1989.
- [40] GUIMARÃES, F.I. - HOLANDA, F. G. - SANTOS S. B. - SILAS, A. S. - " Determinação das Propriedades Mecanicas de Concreto de Cimento Portland, quando da utilização do Seixo Rolado da Região da Grande João Pessoa, utilizados nas Estruturas das Barr. de Gramame e Mamuaba" - XVIII SNGB - Foz de Iguaçu - 1989.