



**INSTITUTO BRASILEIRO
DO CONCRETO**

REUNIÃO DO IBRACON EM 1981

São Paulo, 06 a 10 de julho

COLÓQUIO SOBRE CONCRETO MASSA

SUGESTÕES PARA ESTABELECIMENTO DE ROTINA PARA CONTROLE DE
CONCRETO

M20

Eng^o José Augusto Braga(*)

Eng^o Francisco Rodrigues Andriolo(**)

Francisco Rodrigues Andriolo
Eng.^o Civil

(*) Divisão de Manutenção e Controle Industrial - ITAIPU BINANCIONAL

(**) Departamento de Tecnologia dos Materiais e Técnicas das
Construções - THEMAG Engenharia Ltda.

SUGESTÕES PARA ESTABELECIMENTO DE
ROTINA PARA CONTROLE DE CONCRETO

ENGº JOSÉ AUGUSTO BRAGA (*)

ENGº FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO(**)

RESUMO

Este trabalho elaborado em continuação ao relato - "Controle da Resistência do Concreto em Barragens" - IBRACON - Maio 1980 - fornece informações adicionais, sobre o controle de qualidade do concreto.

Com base nas informações, aqui fornecidas, é sugerido uma rotina para controle de concreto com intuito de promover discussão sobre o assunto a partir da qual se possa estabelecer uma "Rotina e Critérios para Controle de Concretos em Barragens".

(*) - Divisão de Manutenção e Controle Industrial - ITAIPU BINACIONAL

(**) - Departamento de Tecnologia dos Materiais e Técnicas das Construções - THEMAG ENGENHARIA LTDA

1

OBJETIVO

Este trabalho apresenta uma sêrie de informações obtidas durante a construção da obra de Itaipu e que poderão auxiliar no estabelecimento de uma rotina para controle de concreto principalmente os de baixo consumo de aglomerante e que podem ser afetados por um número de variáveis.

Procurou-se evidenciar o controle sobre o concreto-massa, pois além de ser susceptível a um maior número de variáveis, as rotinas de inspeção e controle abordam com maior profundidade os concretos de características estruturais.

Os planos de controle aqui descritos foram implantados em Itaipu, a partir de adaptação dos esquemas de controle utilizados anteriormente, na construção da obra de Ilha Solteira - CESP.

2

INFORMAÇÕES BÁSICAS

2.1

Critério Utilizado

O critério utilizado para a determinação das Resistências de controle (ou dosagem) nas obras de Ilha Solteira e Itaipu, já citado em (1) pode ser traduzido pela expressão ilustrada na Figura 1.

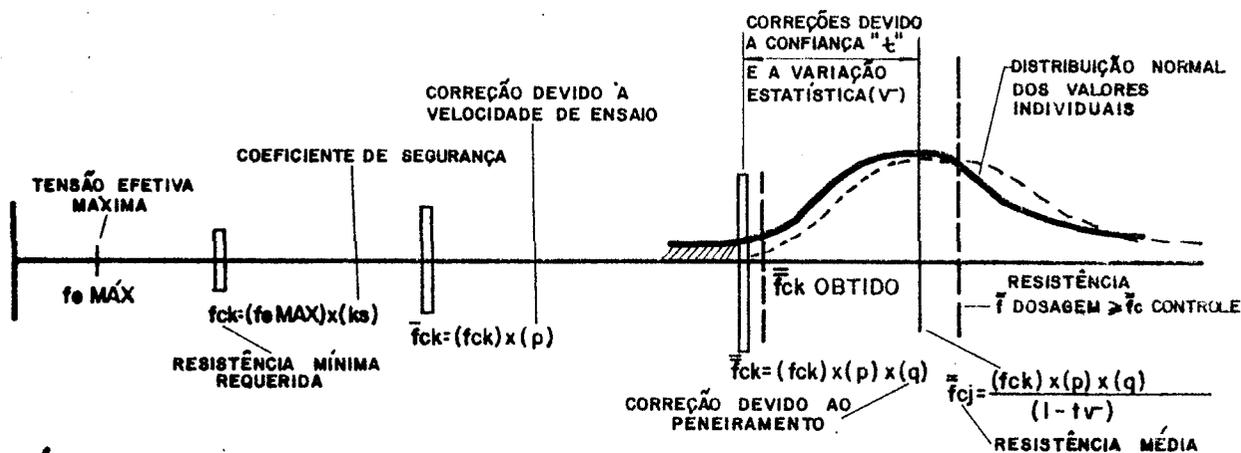


FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO DO CRITÉRIO PARA DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DE CONTROLE

Sendo:

f_{ck} = Resistência mínima (kgf/cm^2) requerida de R% das amostras contituídas por espécimes cilíndricos moldados com concreto integral curados "in situ" e ensaiados na idade "K" sob carregamento contínuo máximo;

$f_{em\acute{a}x}$ = Tensão efetiva máxima, calculada para região da estrutura (kgf/cm^2);

K_s = Coeficiente de segurança que considera: variações de carregamento, variação da probabilidade, de ocorrência de eventos desfavoráveis, erros de hipóteses e deficiências localizadas;

\bar{f}_{cj} = Resistência média (kgf/cm^2) das amostras constituídas por corpos de prova cilíndricos $\varnothing 15 \times 30$ cm moldados com concreto peneirado (passante pela malha de 38mm) curados em câmara úmida e ensaiados na idade "J" = "K" dias sob carregamento rápido;

δ = Coeficiente de variação (%) do universo sob controle;

q = Fator tamanho do agregado, sendo o quociente do valor de compressão axial simples dos corpos de prova moldados com concreto peneirado, pelo valor de compressão axial simples dos corpos de prova moldados com concreto integral.

p = Fator de velocidade de carregamento, que expressa a correlação de variação da resistência obtida em função da velocidade de carregamento utilizada no ensaio.

Os fatores "p" e "q" são determinados por ensaios.

Para o concreto massa da obra de Itaipu inicialmente, (ver 1) foram admitidos os seguintes parâmetros:

$$P_{152} = 1,14$$

$$q_{152} = 1,18$$

$$\delta = 15\%$$

$$t = 0,84 \text{ para universo maior que } 30 \text{ amostras}$$

Com esses valores, um concreto-massa com $f_{ck} = 140 \text{ kgf/cm}^2$ à idade de 365 dias contendo agregados de diâmetro máximo ($\emptyset \text{ max}$) 152 mm, implica em se obter uma Resistência Média (\bar{f}_{cj}) de controle não inferior a 216 kgf/cm^2 , através de espécimes cilíndricos $\emptyset 15 \times 30 \text{ cm}$.

2.2

Plano de Controle:

Como já citado, o Plano de Controle Estabelecido para Itaipu baseou-se nos controles efetuados durante a construção da Obra de Ilha Solteira.

Esse plano, no transcorrer da construção da obra de Itaipu, sofreu adaptações decorrentes das observações efetuadas e confiança adquirida.

O quadro da Figura II mostra um resumo do Plano de Controle, sendo que por "Controle de Uniformidade" subentende-se os ensaios efetuados no local de produção, (ver 1) sobre o concreto fresco, e por "Controle de Qualidade" os ensaios sobre corpos de prova de concreto endurecido.

3

EXEMPLOS:

Como exemplos serão citados os controles sobre as misturas correspondentes as classes A-140f e A-100f utilizadas em Itaipu para atender, respectivamente a

FIGURA 11 - PLANOS DE CONTROLE DE CONCRETO UTILIZADOS EM ITAIPU.

PERÍODO	OPERAÇÃO	TIPO DE CONTROLE			
		UNIFORMIDADE	QUALIDADE		
DE X/1977 A XII/1978	Amostragem	a cada 30 minutos	- cada 200 m ³ de concreto, (por mistura) amostra para moldagem de espécimes Ø15x30cm		
			- a cada 500m ³ de concreto, (por mistura) amostra para moldagem de espécimes com concreto integral		
	Número de espécimes		- 7 cilindros Ø15x30cm, sendo 2 para ensaios a cada idade auxiliar e 3 à idade indicada para o "fck"		
			- 2 cilindros com concreto integral para ensaios à idade indicada para o "fck".		
	Ensaaios	- Temperatura - Trabalhabilidade - Incorporação de ar - peso específico		- Ruptura axial simples aos cilindros Ø15x30cm	
				IDADE DO "fck" (DIAS)	IDADE DOS ENSAIOS
				3	3 7 28 90 180 365
				7	(X) X X X X X
				28- Amostras ímpares	X X (X)
				28- Amostras pares	X (X) X
90- Amostras ímpares				X (X) X	
90- Amostras pares				X (X) X	
180- Amostras ímpares				X (X) X	
180- Amostras pares				X (X) X	
365- Amostras ímpares	X X X				
365- Amostras pares	X X X				

}

FIGURA 11 - PLANOS DE CONTROLE DE CONCRETO UTILIZADOS EM ITAIPU. (Cont.)

DE 1/1979 A 1/1981	Amostragem	a cada 15 minutos	- a cada 500m ³ de concreto com ϕ máx > 38mm (por mistura) e 300m ³ de concreto com ϕ máx < 38mm amostra para moldagem de espécimes ϕ 15x30cm - a cada 20000m ³ de concreto (por mistura), amostra para moldagem de espécimes com concreto integral - 6 cilindros ϕ 15x30cm, sendo 2 para cada idade até se completar 150 amostra após o que passou-se para 4 cilindros - 2 cilindros com concreto integral para ensaios à idade indicada para o "fck"																																																																																																					
	Número de espécimes		- Ruptura axial simples dos cilindros ϕ 25 a 30cm a:																																																																																																					
	Ensaíos	- Temperatura - Trabalhabilidade - Incorporação de ar - peso específico																																																																																																						
			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDADE DO fck (DIAS)</th> <th colspan="5">IDADE DOS ENSAIOS (DIAS)</th> </tr> <tr> <th>3</th> <th>7</th> <th>28</th> <th>90</th> <th>180</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>28- Amostras ímpares</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>28- Amostras pares</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>90- Amostras ímpares</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>90- Amostras pares</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>180- Amostras ímpares</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>180- Amostras pares</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>365- 1ª Amostra *</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>365- 2ª Amostra **</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>365- 3ª Amostra *</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>365- 4ª Amostra</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>90- após 150 amostras</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>180- após 150 amostras</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>365- após 150 amostras</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>	IDADE DO fck (DIAS)	IDADE DOS ENSAIOS (DIAS)					3	7	28	90	180	3	X	X	X			7		X	X			28- Amostras ímpares	X	X	X			28- Amostras pares			X	X	X	90- Amostras ímpares			X	X	X	90- Amostras pares				X	X	180- Amostras ímpares					X	180- Amostras pares				X	X	365- 1ª Amostra *		X			X	365- 2ª Amostra **			X		X	365- 3ª Amostra *				X	X	365- 4ª Amostra		X			X	90- após 150 amostras		X			X	180- após 150 amostras		X			X	365- após 150 amostras		X			X
IDADE DO fck (DIAS)	IDADE DOS ENSAIOS (DIAS)																																																																																																							
	3	7	28	90	180																																																																																																			
3	X	X	X																																																																																																					
7		X	X																																																																																																					
28- Amostras ímpares	X	X	X																																																																																																					
28- Amostras pares			X	X	X																																																																																																			
90- Amostras ímpares			X	X	X																																																																																																			
90- Amostras pares				X	X																																																																																																			
180- Amostras ímpares					X																																																																																																			
180- Amostras pares				X	X																																																																																																			
365- 1ª Amostra *		X			X																																																																																																			
365- 2ª Amostra **			X		X																																																																																																			
365- 3ª Amostra *				X	X																																																																																																			
365- 4ª Amostra		X			X																																																																																																			
90- após 150 amostras		X			X																																																																																																			
180- após 150 amostras		X			X																																																																																																			
365- após 150 amostras		X			X																																																																																																			
		* último par a 2 anos ** último par a 5 anos																																																																																																						

CEROS - RESUMO DO CONTROLE ESTATISTICO

16/02/81

TRACO 152-D02 FCR = 180/360	A/C 0.510 AR(%) 6.0+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 6.0	SLUMP(CM) 4.0+-0.5 AREIA NAT. 375 TEMPERATURA(C) 4.4	4.0+-0.5 ART. 146 CIMENTO 130 FLY-ASH 38 AGUA 94	38 BRITA 1 363 BRITA 2 366 BRITA 3 459 BRITA 4 642	AD-RET. 0.00 VOLUME APLICADO(M**3) 2.697,0	AD-RET. 0.00 BRITA 3 459 BRITA 4 642
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3)	94	5	153	239	320	325
VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	25.8	72	20.6	123	11.2	14.4
TRACO 152-D03 FCR = 180/360	A/C 0.520 AR(%) 7.5+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 7.6	SLUMP(CM) 3.5+-0.5 AREIA NAT. 164 TEMPERATURA(C) 3.7	3.5+-0.5 ART. 382 CIMENTO 139 FLY-ASH 16 AGUA 85	16 BRITA 1 400 BRITA 2 329 BRITA 3 465 BRITA 4 643	AD-RET. 0.00 VOLUME APLICADO(M**3) 2.14.178,5	AD-RET. 0.00 BRITA 3 465 BRITA 4 643
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3)	115	301	197	56	247	270
VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	19.4	96	15.2	171	15.1	12.8
TRACO 152-F01 FCR = 140/360	A/C 0.600 AR(%) 6.0+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 5.7	SLUMP(CM) 4.0+-0.5 AREIA NAT. 154 TEMPERATURA(C) 4.1	4.0+-0.5 ART. 394 CIMENTO 109 FLY-ASH 31 AGUA 93	31 BRITA 1 363 BRITA 2 366 BRITA 3 459 BRITA 4 642	AD-RET. 0.00 VOLUME APLICADO(M**3) 202.079,5	AD-RET. 0.00 BRITA 3 459 BRITA 4 642
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3)	64	376	150	369	217	254
VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	25.7	50	23.0	121	17.8	14.7
TRACO 152-F02 FCR = 140/360	A/C 0.600 AR(%) 7.0+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 7.2	SLUMP(CM) 4.0+-0.5 AREIA NAT. 368 TEMPERATURA(C) 4.1	4.0+-0.5 ART. 266 CIMENTO 104 FLY-ASH 30 AGUA 89	30 BRITA 1 364 BRITA 2 365 BRITA 3 465 BRITA 4 641	AD-RET. 0.00 VOLUME APLICADO(M**3) 282.638,5	AD-RET. 0.00 BRITA 3 465 BRITA 4 641
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3)	69	428	137	423	209	235
VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	20.3	57	17.8	117	15.8	11.7
TRACO 152-F03 FCR = 180/360	A/C 0.570 AR(%) 7.5+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 7.7	SLUMP(CM) 3.5+-0.5 AREIA NAT. 168 TEMPERATURA(C) 3.7	3.5+-0.5 ART. 291 CIMENTO 126 FLY-ASH 15 AGUA 84	15 BRITA 1 400 BRITA 2 329 BRITA 3 455 BRITA 4 643	AD-RET. 0.00 VOLUME APLICADO(M**3) 602.363,0	AD-RET. 0.00 BRITA 3 455 BRITA 4 643
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3)	77	1087	164	106	204	235
VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	22.4	62	22.7	133	16.3	14.7
TRACO 152-F04 FCR = 140/360	A/C 0.650 AR(%) 6.0+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 6.0	SLUMP(CM) 4.0+-0.5 AREIA NAT. 402 TEMPERATURA(C) 4.0	4.0+-0.5 ART. 156 CIMENTO 100 FLY-ASH 29 AGUA 94	29 BRITA 1 363 BRITA 2 366 BRITA 3 459 BRITA 4 642	AD-RET. 0.00 VOLUME APLICADO(M**3) 81.651,0	AD-RET. 0.00 BRITA 3 459 BRITA 4 642
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3)	59	133	111	132	193	250
VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	24.0	47	25.3	87	22.5	16.5

***** PARA OS DADOS DE CONSUMO DOS TRACOS, A UNIDADE CONSIDERADA E KG/M**3 *****

FIGURA TV - TABELA DE VALORES

16/02/81

CER05 - RESUMO DO CONTROLE ESTATISTICO

TRACO 152-F02 FCK = 140/360	A/C 0.610 AR(%) 7.5+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 7.5	SLUMP(CM) 3.5+-0.5 AREIA NAT. 400 SLUMP(CM) 3.7 TEMPERATURA(C) 6.2	3.5+-0.5 ART. 171 TEMPERATURA(C) 6.2	14 AGUA 86 BRITA 2 329 VOLUME APLICADO(M**3) 40.788,0 SUBST. 152 G-01	AD-INC. 0.000 BRITA 3 465 VOLUME APLICADO(M**3) 40.788,0	AD-RET. 0.000 BRITA 4 643
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3) VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	3 DIAS 7 DIAS 28 DIAS 93 - 65 157 - 17 .69 1.17 21.5 - 76 14.2 - 138	90 DIAS 180 DIAS 215 - 38 215 - 63 1.60 1.60 12.3 - 192			360 DIAS 720 DIAS 360 DIAS 720 DIAS	1800 DIAS
TRACO 152-F03 FCK = 140/360	A/C 0.650 AR(%) 7.5+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 7.9	SLUMP(CM) 3.5+-0.5 AREIA NAT. 196 SLUMP(CM) 3.5 TEMPERATURA(C) 7.9	3.5+-0.5 ART. 457 TEMPERATURA(C) 7.9	0 AGUA 83 BRITA 2 329 VOLUME APLICADO(M**3) 2.435,0	AD-INC. VAR BRITA 3 465 VOLUME APLICADO(M**3) 2.435,0	AD-RET. 0.000 BRITA 4 643
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3) VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	3 DIAS 7 DIAS 28 DIAS 96 - 6 160 - 12 .75 1.25 25.4 - 74 23.3 - 128	90 DIAS 180 DIAS 180 - 8 1.41 1.41 19.2 - 150			360 DIAS 720 DIAS 360 DIAS 720 DIAS	1800 DIAS
TRACO 152-G01 FCK = 140/360	A/C 0.670 AR(%) 7.5+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 7.6	SLUMP(CM) 3.5+-0.5 AREIA NAT. 174 SLUMP(CM) 3.7 TEMPERATURA(C) 6.3	3.5+-0.5 ART. 405 TEMPERATURA(C) 6.3	13 AGUA 85 BRITA 2 329 VOLUME APLICADO(M**3) 1.334.882,5 SUBST. 152 I-01	AD-INC. VAR BRITA 3 465 VOLUME APLICADO(M**3) 1.334.882,5	AD-RET. 0.000 BRITA 4 643
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3) VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	3 DIAS 7 DIAS 28 DIAS 71 - 2611 .59 1.08 24.1 - 57 20.2 - 108	90 DIAS 180 DIAS 175 - 2432 1.44 1.44 17.6 - 153			360 DIAS 720 DIAS 360 DIAS 720 DIAS	1800 DIAS
TRACO 152-H01 FCK = 100/360	A/C 0.720 AR(%) 6.0+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 6.2	SLUMP(CM) 4.0+-0.5 AREIA NAT. 418 SLUMP(CM) 4.2 TEMPERATURA(C) 5.5	4.0+-0.5 ART. 163 TEMPERATURA(C) 5.5	26 AGUA 94 BRITA 2 366 VOLUME APLICADO(M**3) 5.019,0	AD-INC. 0.000 BRITA 3 459 VOLUME APLICADO(M**3) 5.019,0	AD-RET. 0.000 BRITA 4 642
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3) VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	3 DIAS 7 DIAS 28 DIAS 62 - 9 113 - 8 .53 .96 22.7 - 49 27.9 - 85	90 DIAS 180 DIAS 194 - 9 197 - 7 1.66 1.68 21.2 - 158 18.2 - 165			360 DIAS 720 DIAS 360 DIAS 720 DIAS	1800 DIAS
TRACO 152-H02 FCK = 100/360	A/C 0.720 AR(%) 6.0+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 6.5	SLUMP(CM) 4.0+-0.5 AREIA NAT. 429 SLUMP(CM) 4.4 TEMPERATURA(C) 6.5	4.0+-0.5 ART. 167 TEMPERATURA(C) 6.5	0 AGUA 90 BRITA 2 366 VOLUME APLICADO(M**3) 2.266,0	AD-INC. VAR BRITA 3 459 VOLUME APLICADO(M**3) 2.266,0	AD-RET. 0.000 BRITA 4 642
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3) VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	3 DIAS 7 DIAS 28 DIAS 130 - 1 108 - 1 1.04 .83 - 130 - 108	90 DIAS 180 DIAS 282 - 1 186 - 1 2.25 1.49 - 282 - 186			360 DIAS 720 DIAS 360 DIAS 720 DIAS	1800 DIAS
TRACO 152-H03 FCK = 100/360	A/C 0.720 AR(%) 6.0+-0.5 AD-PLAST 0.00 OBTIDO - AR(%) 7.2	SLUMP(CM) 4.0+-0.5 AREIA NAT. 409 SLUMP(CM) 4.9 TEMPERATURA(C) 5.0	4.0+-0.5 ART. 159 TEMPERATURA(C) 5.0	18 AGUA 97 BRITA 2 366 VOLUME APLICADO(M**3) 1.902,0 SUBST. 152 L-01	AD-INC. 0.000 BRITA 3 459 VOLUME APLICADO(M**3) 1.902,0	AD-RET. 0.000 BRITA 4 642
FCJ (KG/CM**2) - NUM. AMOSTRAS RENDIMENTO(KG/CM**2/KG/M**3) VARIACAO(%) - FCK (KG/CM**2)	3 DIAS 7 DIAS 28 DIAS 71 - 1 108 - 1 .56 .85 - 71 - 108	90 DIAS 180 DIAS 189 - 1 221 - 1 1.50 1.75 - 189 - 221			360 DIAS 720 DIAS 360 DIAS 720 DIAS	1800 DIAS

***** PARA OS DADOS DE CONSUMO DOS TRACOS, A UNIDADE CONSI ADA E KG/M**3 *****

FIGURA V - TABELA DE VALORES

CEROS - RESUMO DO CONTROLE ESTATISTICO

16/02/81

TRACO 152-L01	A/C 0.930	AR(%) 7.5+-0.5	SLUMP(CM) 3.5+-	0.5	CIMFNTO 78	FLY-ASH 9	AGUA 85	AD. INC. VAR	AD. RET.	0.30	
FCK = 100/360	AD. PLAST 0.00	AREIA NAT. 183	AREIA ART. 427	BRITA 1	400	BRITA 2	329	BRITA 3	465	BRITA 4	643
	OBTIDO - AR(%) 8.0	SLUMP(CM) 3.7	TEMPERATURA(C) 6.2	DENSIDADE(T/M**3) 2.364	VOLUME APLICADO(M**3) 148.565,0	SUBST. 152 D-01		720 DIAS	1800 DIAS		
FCJ (KG/CH**2) - NUM. AMOSTRAS	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS	720 DIAS	1800 DIAS			
RENDIMENTO(KG/CH**2)/KG/M**3)	44	158	78	59	112	157	119	57	129	172	
VARIACAO(%) - FCK (KG/CH**2)	31.8	32	17.9	66	26.6	87	22.1	97	17.3	110	

***** PARA OS DADOS DE CONSUMO DOS TRACOS, A UNIDADE CONSIDERADA E KG/M**3 *****

$f_{ck} \geq 140 \text{ kgf/cm}^2$ e $f_{ck} \geq 100 \text{ kgf/cm}^2$ à idade de 1 (um) ano, sendo concretos contendo agregados de $\emptyset_{\text{max}} 152 \text{ mm}$

A tabela da Figura III fornece a sequência de utilização e modificação dos "traços" utilizados para atender aos requisitos. As tabelas IV, V e VI fornecem os valores de controles e a composição das misturas usadas.

Após haver decorrido um período de 3,5 anos de construção da obra de Itaipu, o volume de concreto até então aplicado era da ordem de $6,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ distribuídos, de acordo com as tabelas VII e VIII.

\emptyset_{max} do agregado (mm)	Volume aplicado ($\times 10^3$) (m^3)	(%) Percentual Aplicado
19	502,4	7,9
38	1527,1	23,9
76	1432,0	22,4
152	2921,4	45,8
TOTAL	6382,9	100,00

† FIGURA VII - Volumes de Concretos Aplicados em Correspondência ao \emptyset_{max} do Agregado

As misturas correspondentes às classes com $f_{ck} 140/365$ e $f_{ck} 100/365$ com $\emptyset_{\text{max}} 152 \text{ mm}$, correspondem a aproximadamente 1/3 do volume total até então lançado.

4

ANÁLISES E COMENTÁRIOS SOBRE OS VALORES DO CONTROLE DE QUALIDADE

4.1

Coeficientes de Variação:

FIGURA III - SEQUENCIA DE UTILIZAÇÃO DAS MISTURAS

FCK/IDADE kgf/cm ² /DIAS	NOMENCLATURA	AGLOMERANTE kg/cm ³		DATA DA EMIÇÃO DA MISTURA	VOLUME PRODUZIDO (m ³)	NÚMERO DE AMOSTRAS A CADA CENTRAL DE PRODUÇÃO						TOTAL	
		CIMENTO	MATERIAL POZOLÁ- NICO			C1	C2	C3	C4	C5	C6		
140/365	152-B-01	174	50	21/IX/77	240,00	-	3	-	-	-	-	-	3
140/365	152-E-01	109	31	12/X/77	202079,5	28	503	246	-	-	-	-	776
140/365	152-F-01	100	29	26/IV/78	81651,0	128	71	68	-	-	-	-	267
140/365	152-E-02	104	30	08/IX/78	282638,5	286	278	353	-	-	-	-	917
140/365	152-F-02	120	14	14/IX/78	40780	42	39	45	-	-	-	4	129
140/365	152-G-01	108	13	23/XI/78	1334852,5	632	678	608	512	169	408	3007	
140/365	152-I-01	86	15	04/II/81	89467,5	35	33	26	34	44	3	175	
100/365	152-H-01	91	26	08/VI/78	5019,5	3	12	2	-	-	-	17	
100/365	152-L-01	78	9	27/XI/78	122565	60	49	67	31	68	-	275	
100/365	152-P-01	65	8	04/II/81	-	-	-	-	-	-	-	-	

* DATAS DE ENTRADA DE OPERAÇÃO

FIGURA III - SEQUÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DAS MISTURAS (Cont.)

FCK/IDADE kgf/cm ² /DIAS	NOMENCLATURA	VOLUME POR AMOSTRA (m ³ /amostra)	SUBSTITUIÇÃO PELA MISTURA	DATA DA SUBSTITUIÇÃO	MOTIVO DA SUBSTITUIÇÃO
140/365	152-B-01	80	152-E-01	12/X/77	Primeiros lançamentos de concretos : empregou-se concreto com teor de arga massa acima do ideal.
140/365	152-E-01	260	152-F-01	26/IV/78	Ajuste de traço
140/365	152-F-01	305	152-E-02	08/IX/78	Necessidade do aumento do consumo devido queda da Finura Blaine da cinza-volante
140/365	152-E-02	307	152-F-02	14/IX/78	Alteração do percentual de reposição de cinza volante de 30% para 15% (em volume sólido) com base na queda de finura e demonstrado por estudos.
140/365	152-F-02	316	152-G-01	23/XI/78	Novos valores para p e q, obtidos em laboratório
140/365	152-G-01	444	152-1-01	04/11/81	Mudança dos fatores de correção da resistência do integral a partir do pe-neirado usando somente fator de forma q-conforme citado no item 4.9
140/365	152-1-01	511	152-1-02	28/IV/81	-
100/365	152-H-01	295	152-1-01	23/XI/78	Alteração dos fatores p e q e percentual de reposição do material pozolânico
100/365	152-L-01	540	152-P-01	04/IV/81	Mudança dos fatores de correção da resistência do integral a partir do pe-neirado usando somente fator de forma q-conforme citado no item 4.9.
100/365	152-P-01	-	-	-	-

CLASSE fck/ IDADE (DIAS)	Ø MAX DO AGRE- GADO (mm)	VOLUME APLI- CADO m ³	(%) PERCENTUAL APLICADO EM RE- LAÇÃO AO TOTAL
140/365	152	2 x 10 ⁶	31
100/365	152	0,15 x 10 ⁶	2

★ FIGURA VIII - Volumes Correspondentes às Classes
A-140f e A-100f

As variações dos resultados dos ensaios de Resistência do concreto podem ser delineadas a partir de duas diferentes origens:

- variações nos métodos de ensaio, e
- variações nas propriedades dos ingredientes e na mistura do concreto

Utilizando-se a análise da variancia é possível calcular as variações atribuídas a cada uma das origens.

4.1.1 Dentro do Universo (δ)

As variações (coeficientes de variação dentro do universo) dentro do universo expressam, percentualmente, a dispersão dos valores individuais para com a média.

Para avaliação da dimensão do coeficiente de variação dentro do universo (δ) foram tomadas as misturas mais utilizadas, ou seja (ver Figura III) - 152-E-01, 152-E-02 152-G-01 (fck=140 kgf/cm² aos 365 dias) e 152-L-01 (fck=100 kgf/cm² aos 365 dias).

MISTURA	fck/IDADE (kgf/cm ²) (DIAS)	% (δ) COEFICIENTE DE VARIAÇÃO NO UNIVERSO NA IDADE DE (DIAS)				
		7	28	90	180	365
152-E-01	140/365	26,7	23,0	17,8	19,1	14,7 7
152-E-02	140/365	20,3	17,8	15,8	13,6	11,7
152-G-01	140/365	24,1	20,2	18,0	17,6	17,3
152-L-01	100/365	31,8	17,9	26,6	22,1	17,3

* Valor Diferente do citado em (1) devido a maior Número de Amostras

FIGURA IX - Valores de Coeficientes de Variação Dentro do Universo

Observa-se que houve um decréscimo dos valores de "δ" para com o aumento da idade de ensaio. Os valores à idade de 7 dias se situaram entre 20 e 32%, e à idade de 1 ano os valores estiveram entre 12 e 17%, para concretos com consumos entre 134 kg/m³ de aglomerante (104 kg/m³ de cimento e 30 kg/m³ de cinza volante) e 87 kg/m³ (respectivamente 78 + 9 Kg/m³).

Notou-se também uma tendência de aumento de "δ" para com o decréscimo do consumo de aglomerante.

4.1.2 Dentro do Ensaio (δ_1):

É a variação na Resistência do Concreto dentro de uma amostra e é obtida pelo cálculo da variação de um grupo de espécimes moldados a partir de uma amostra coletada de uma certa betonada.

Para a comparação e avaliação dos coeficientes de variação dentro do ensaio (δ_1) foram tomados os valores obtidos para as misturas 152-E-01 e 152-G-01.

As amostras da mistura 152-E-01 foram constituídas de 7 (sete) espécimes cilíndricos $\emptyset 15 \times 30$ cm, para que se pudesse avaliar " δ_1 " na idade de 365 dias.

Com os valores dos 3 espécimes ensaiados à idade de 365 dias foram feitas determinações nas 180 primeiras amostras encontrando os resultados mostrados na Figura X.

IDENTIFICAÇÃO DA MISTURA	AMOSTRAS	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DENTRO DO ENSAIO - δ_1 - %			
		$\delta_1(1,2)$	$\delta_1(1,3)$	$\delta_1(2,3)$	$\delta_1(1,2,3)$
152-E-01	DE 1 A 30	3,5	3,4	3,2	3,2
	DE 31 a 60	3,2	3,8	3,5	3,5
	DE 61 a 90	3,3	3,2	3,4	3,3
	DE 91 a 120	3,7	2,8	4,7	3,3
	DE 121 a 150	2,7	3,2	3,6	3,1
	DE 151 a 180	3,6	3,0	4,3	3,6
	DE 1 a 180	3,3	3,2	3,6	3,4
$\delta_1(1,2)$ - Coeficiente de variação dentro do ensaio tomando-se os espécimes 1º e 2º de cada amostra $\delta_1(1,3)$ - Idem, 1º e 3º $\delta_1(2,3)$ - Idem, 2º e 3º $\delta_1(1,2,3)$ - Idem tomando-se os 3 corpos de prova de cada amostra.					

FIGURA X - Coeficiente de Variação Dentro do Ensaio

Para a mistura 152-G-01 determinou-se o " δ_1 " com base em pares de valores à idade do ensaio (ver plano de ensaios da Figura 11). O valor obtido para o " δ_1 " da mistura 152-G-01 nos ensaios de ruptura por compressão axial simples à idade de 365 dias foi de 4,1%

Observa-se, pelos valores da Figura X, que não houve diferença significativa em se considerando, no controle efetuado, as amostras representadas por 2 (dois) ou

3 (tres) espécimes à determinada idade. Nota-se, também, que não houve uma variação sensível nos " δ_1 ", para com as idades como mostra a Figura XI.

MISTURA	fck/IDADE (kgf/cm ²) (DIAS)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DENTRO DO ENSAIO (δ_1) - %				
		7	28	90	180	365
152-E-01	140/365	4,3	4,6	4,4	4,1	3,6
152-G-01	140/365	4,1	4,7	3,8	4,3	4,1

† FIGURA XI - Coeficientes de Variação Dentro do Ensaio em Diferentes Idades

4.1.3 De Betonada para Betonada (δ_2)

Essas variações refletem as diferenças na Resistência que possam ser atribuídas às variações nas características e propriedades dos ingredientes; proporcionamento, mistura e amostragem; variações no ensaio que não sejam englobadas pelas variações dentro do ensaio. São determinadas pela expressão:

$$\delta_2 = \sqrt{\delta^2 - \delta_1^2}$$

Com base nos valores das Figuras IX e XI foram obtidos os valores da Figura XII.

MISTURA	fck/IDADE (kgf/cm ²) (DIAS)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO BETONADA PARA BETONADA - δ_2 - %				
		7	28	90	180	365
152-E-01	140/365	26,3	22,5	17,3	18,7	14,2
152-G-01	140/365	20,1	19,6	17,6	17,1	16,8

† FIGURA XII - Coeficientes de Variação Betonada para Betonada, em Diferentes Idades

Observa-se que os valores que " δ_2 " são os responsáveis pelas dimensões dos valores de " δ ".

4.2 Trabalhabilidade

Os valores dos ensaios de Trabalhabilidade, pelo abatimento do tronco de cone, podem informar sobre o grau de uniformidade das misturas produzidas.

Foram consideradas as misturas 152-E-01, 152-G-01 e 152-L-01, citadas na Figura XIII, como exemplos.

Para uma melhor avaliação do controle efetuado, os valores foram agrupados com base nos locais de execução de ensaios de controle, visto que em Itaipu os concretos foram produzidos em 6 centrais de concreto e as misturas consideradas levam, ainda, em consideração o período de uso e controle.

Observa-se que os valores de trabalhabilidade apresentaram-se praticamente com os mesmos valores médios, quando comparados nos diferentes locais de produção. Nota-se, também, que os valores médios estiveram dentro dos intervalos nominais pré-estabelecidos.

4.3 Incorporação de Ar:

A incorporação de ar, foi medida nas amostras das misturas citadas em 4.2, através de ensaios sobre a fração peneirada (passante pela malha de 38mm) de concreto fresco.

Os valores obtidos mostraram, de mesma forma que a trabalhabilidade, uma uniformidade de incorporação de ar indicando que os concretos foram produzidos dentro de uma homogeneidade desejada.

4.4 Temperatura:

A temperatura especificada para a produção dos concretos citados em 4.2 é não maior que 7°C, exceto para as

MISTURA	f _{ck} /IDADE (kgf/cm ²) (DIAS)	CENTRAL DE PRODUÇÃO	NÚMERO DE AMOSTRAS	PROPRIEDADES		
				TRABALHABI LIDADE (CM)	INCORPORA ÇÃO DE AR (%)	TEMPE RATURA (°C)
152-E-01	140/365	-	VALORES NOMINAIS	4,0 ± 0,5	6,0 ± 0,5	≤ 7,0
		2	473	4,1	5,7	6,0
		3	245	4,1	5,7	5,9
		-	VALORES GLOBAIS	4,1	5,7	6,3
152-G-01	140/365	-	VALORES NOMINAIS	3,5 ± 0,5	7,5 ± 0,5	≤ 7,0
		1	632	3,7	7,6	6,2
		2	677	3,7	7,6	6,1
		3	609	3,7	7,6	6,0
		4	512	3,7	7,6	6,6
		5	-	POUCOS	VALORES	
		6	408	3,7	7,5	7,3
		-	VALORES GLOBAIS	3,7	7,6	6,3
152-L-01	100/365	-	VALORES NOMINAIS	3,5 ± 0,5	7,5 ± 0,5	≤ 7,0
		1	60	3,7	7,9	6,7
		2	49	3,7	8,0	5,6
		3	67	3,6	8,0	6,2
		-	VALORES GLOBAIS	3,7	8,0	6,2

† FIGURA XIII - Valores do Controle de Uniformidade sobre a Mistura Fresca

estruturas da barragem lateral direita, de Itaipu, acima da elevação 200, onde a temperatura poderia situar-se entre 7 e 10°C

A Figura XIII mostra que os valores foram perfeitamente atendidos, visto que as centrais 4,5 e 6 produziram concretos para as referidas estruturas (barragem lateral direita - acima da elevação 200), com tempera

turas inferiores a 10°C.

4.5 Peso Específico

Embora o controle de uniformidade faça verificação do Peso Específico, essa propriedade não é aqui analisada, pois os valores obtidos não possuem parâmetros significativos para comparação, pois devem ser avaliados em relação a composição e ingredientes das misturas.

4.6 Variação do Fator Água/Aglomerante

A variação do fator água/cimento (equivalente) é também um indicador da uniformidade da mistura.

A verificação da variação do fator Δ/ceq é feita com base nos ajustes efetuados na água de mistura, após as correções das umidades e absorção dos materiais componentes.

Os valores apresentados na Figura XIV referem-se às misturas 152-E-01, 152-G-01 e 152-L-01.

MISTURA	fck/IDADE (kgf/cm ²) (DIAS)	NÚMERO DE AMOSTRAS	VARIAÇÃO (+)			VARIAÇÃO (-)		
			"ACRÉSCIMO" DE ÁGUA			"CORTE" DE ÁGUA		
			QUANTIDADE DE VALORES	MÉDIA		QUANTIDADE DE VALORES	MÉDIA	
kg/m ³	Δ/ceq	kg/m ³		Δ/ceq				
152-E-01	140/365	432	69	3	0,018	363	5	0,030
152-G-01	140/365	389	40	2	0,015	349	2	0,019
152-L-01	140/365	95	6	1	0,011	89	3	0,030

✓ FIGURA XIV - Variações do Fator Água/Aglomerante

Considera-se (ver 2 e 3) que as misturas com variações no fator Δ/ceq ao redor de ($\pm 0,02$) não necessitam de um re-proporcionamento, tolerando-se os ajustes.

MISTURA	f _{ck} PREVISTO IDADE (kgf/cm ²) (DIAS)	VALORES OBTIDOS			= f _{cj} - NECESSÁRIO kgf/cm ²	VALORES OBTIDOS			= f _{cj} OBTIDO kgf/cm ²	= f _{cj} OBTIDO = f _{cj} NECESSÁ- RIO		
		p	q	t		δ	p	q			t	δ
152-E-01	140/365	1,14	1,18	0,84	15	216	*	*	*	14,7	254	1,17
152-G-01	140/365	1,05	1,05	0,84	18	188	1,05	1,08	0,84	17,3	192	1,02

* USADOS NO PERÍODO ANTERIOR À DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE "p" e "q"

FIGURA XV - COMPARAÇÃO DOS VALORES PREVISTOS E OBTIDOS

4.7 Fatores "p" e "q"

Os ensaios efetuados e comentados em (1) mostraram os reais valores a serem utilizados:

p_{152} = fator velocidade de carregamento = 1,05

p_{152} = fator tamanho do agregado = 1,08

Dessa maneira, os valores obtidos são mostrados na Figura XV.

Observa-se que, com o apoio do controle sobre a mistura reproporcionada (152-G-01), obteve-se a Resistência Média "fcj" obtido 2% superior ao "fcj" necessário para atender ao fck requerido pelos parâmetros estabelecidos, mostrando que o controle foi, efetuado com adequação do rigor.

4.8 Evolução da Resistência com a Idade e a Influência do Coeficiente de Variação

Pelos valores fornecidos nas tabelas IV, V, VI obtém-se o quadro da Figura XVI.

Pelo quadro a Figura XVI observa-se que, se considerando como referência a idade 90 dias, a evolução da resistência média fcj (sem correção de "p" e "q") a 365 dias ficou entre 10 e 17%, ao passo que a resistência mínima (obtida) fck (sem correção do "p" e "q") evoluiu entre 11 e 26%, mostrando que às idades maiores os valores de resistência mínima (sem correção dos fatores "p" e "q") fck apresentam uma evolução maior devido à redução do "δ" coeficiente de variação.

4.9 Alteração do Critério de Determinação das Resistências

Em Janeiro/1981, durante sua visita à obra de Itaipu, o Prof. Roy W. Carlson, com base no criterioso controle, e na confiança obtida pelos valores, sugeriu (5)

MISTURA	fck/IDADE (kgf/cm ²) (DIAS)	PARÂMETRO	IDADE (DIAS)				
			7	28	90	180	365
152-E-01	140/365	fcj (*) kgf/cm ²	64	150	217	240	254
		δ (%)	26,7	23,0	17,8	19,1	14,7
		fck (*) kgf/cm ²	50	121	184	201	222
		Evolução do fcj (%)	29	69	100	111	117
		Evolução do fck (%)	27	66	100	109	121
152-G-01	140/365	fcj (*)	71	131	175	179	192
		δ (%)	24,1	20,2	18,0	17,6	17,3
		fck (*)	57	108	148	153	164
		Evolução do fcj (%)	41	75	100	102	110
		Evolução do fck (%)	39	73	100	103	111
152-L-01	100/365	fcj (*)	44	78	112	119	129
		δ %	31,8	17,9	26,6	22,1	17,3
		fck (*)	32	66	87	97	110
		Evolução do fcj (%)	39	70	100	106	115
		Evolução do fck (%)	36	76	100	111	126
fck e fcj (*) Não considerados os Parâmetros "p" e "q" (ver item 2.1)							

FIGURA XVI - EVOLUÇÕES DA RESISTÊNCIA COM A IDADE

que: "... para o concreto massa, pode ser feita a correção, aproximada, pelo fator tamanho do agregado" ou seja:

$$\bar{f}_{cj} = (q) \times (fck), \text{ desprezando-se a correção do fator}$$

"p" de velocidade de carregamento, e do fator $1/(1-t\delta)^4$.

É importante salientar que essa sugestão aplica-se somente a concretos-massa.

5

SUGESTÕES

Com base nas informações apresentadas neste trabalho, bem como aqueles fornecidos no trabalho (1) "Controle de Resistência do Concreto em Barragens" - IBRACON - Maio 1980, apresenta-se o esquema de controle da Figura XVIII para que o mesmo possa ser debatido com intuito de se estabelecer uma "Rotina e Critérios para Controle de Concretos em Barragens".

AMOSTRA NORMAL

PERÍODO	OPERAÇÃO	UNIFORMIDADE	TIPO DE CONTROLE	
			QUALIDADE	
Inicial - Correspondente a aproximadamente 15 a 20% do volume da Obra	Amostragem	a cada 15 minutos	- a cada 200m ³ de concreto, por mistura (traço), amostra para moldagem de espécimes 15x30cm - AMOSTRA NORMAL	
	Número de espécimes		- a cada 5000m ³ de concreto, por mistura (traço) amostra para moldagem de espécimes com concreto integral. - AMOSTRA GLOBAL	
Ensaios	Número de espécimes	- Temperatura - Trabalhabilidade - Incorporação de ar - Peso específico - Avaliação do fator A/Ceq	- Ruptura axial simples dos cilindros 15x30cm à: - NO DIA DE ENTREGA	
			IDADE DO "fck" (DIAS)	3 7 28 90 180 365
			3	(X) X X
			7	X (X) X
			28 - Amostras ímpares	X X (X)
			28 - Amostras pares	X (X) X
			90 - Amostras ímpares	X (X) X
			90 - Amostras pares	X (X) X
			180 - Amostras ímpares	X (X) X
			180 - Amostras pares	X (X) X
Análise	Amostragem	* a determinar	365 - Amostras ímpares	X (X) X
			365 - Amostras pares	X (X) X
COMPLEMENTAR AMOSTRA NORMAL	Amostragem	* a determinar	* a determinar	
	Número de espécimes	* a determinar	* a determinar	
	Ensaios	* a determinar	* a determinar	

- TEMPO DE PESADA DE ARGAMASSAS.

X = CAPACIDADE NOMINAL DO SISTEMA DE PRODUÇÃO
Y = VOLUME DE UMA AMOSTRA TÍPICA

FIGURA XVIII - SUGESTÕES PARA ROTINA DE CONTROLE

6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1 - "Controle de Resistência do Concreto em Barragens"
IBRACON - Maio 1980
- 2 - "Handbook of Heavy Construction" - John A. Havers
and Frank W. Stubbs
- 3 - "Concrete Construction Handbook" - Joseph J. Wad-
dell
- 4 - Especificações Técnicas - Aproveitamento Hidroelē
trico de Itaipu
- 5 - Report on Meeting of Penel of Civil Consultants
Janeiro 1981
- 6 - RC-06/79 - Análise dos Parâmetros de Resistência
dos Concretos Massa das Estruturas Principais de
Itaipu - Itaipu Binacional
- 7 - RC-01/79 - Manual para Controle e Inspeção dos Ma
teriais para (e do) Concreto - Usina de Itaipu -
Revisão do RC-14/77 - Itaipu Binacional
- 8 - Controle para a Uniformidade na Produção de Con
creto-Massa - Eng^{os} José Augusto Braga e Abílio -
Mancuelo - Itaipu Binacional
- 9 - Controle de Qualidade do Concreto em Construções
de Barragens - Eng^o Francisco Rodrigues Andriolo,
Itaipu Binacional