

21/11/84

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

REUNIÃO ANUAL DE 1984

São Paulo, 27 a 31 de agosto

TEMA LIVRE

Considerações sobre o módulo de deformação e permeabilidade do concreto

Engº José Augusto Braga (\*)

Engº Ademar Sonoda (\*)

Engº Francisco Rodrigues Andriolo (\*\*\*)

Engº Luérzio Scanduzzo (\*\*)

(\*) ITAIPU BINACIONAL

(\*\*) THEMAG ENGENHARIA LTDA

19

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

REUNIÃO ANUAL DE 1984  
São Paulo, 27 a 31 de agosto

TEMA LIVRE

Considerações sobre o módulo de deformação e permeabilidade do concreto

Engº José Augusto Braga (\*)

Engº Ademar Sonoda (\*)

Engº Francisco Rodrigues Andriolo (\*\*)

Engº Luércio Scandiuzzi (\*\*)

(\*) ITAIPU BINACIONAL

(\*\*) THEMAG ENGENHARIA LTDA

## RESUMO

Neste trabalho são mostrados e comentados resultados de ensaios de determinação do módulo de deformação instantâneo (elasticidade) do concreto, executados principalmente durante o controle de produção do concreto da Usina Hidroelétrica de Itaipu.

A análise e divulgação desses valores, em conjunto com resultados de estudos e controles de concretos de algumas obras da CESP [1] tem como objetivo básico fornecer subsídios ao meio técnico, relativos aos valores do módulo de deformação do concreto, em função dos principais fatores que podem exercer influência sobre o mesmo.

Com o objetivo de complementar a série de trabalhos que tem sido publicada sobre os concretos de Itaipu, serão fornecidos também resultados de permeabilidade dos concretos daquela obra.

Neste trabalho são mostrados e comentados resultados de ensaios de determinação do módulo de deformação instantâneo (elasticidade) do concreto, executados principalmente durante o controle de produção do concreto da Usina Hidroelétrica de Itaipu.

A análise e divulgação desses valores, em conjunto com resultados de estudos e controles de concretos de algumas obras da CESP [1] tem como objetivo básico fornecer subsídios ao meio técnico, relativos aos valores do módulo de deformação do concreto, em função dos principais fatores que podem exercer influência sobre o mesmo.

Os resultados de ensaios de estudos e controles de produção de concreto das obras de Itaipu, Ilha Solteira e Água Vermelha permitem a análise das variações do módulo de deformação do concreto em função dos seguintes fatores:

- . idade do concreto
- . consumo de aglomerante
- . tipo e quantidade de agregado graúdo
- . ar incorporado ao concreto
- . permanência de carga

O módulo de deformação do concreto é, em geral, determinado através de ensaios de compressão e "admite-se" que o módulo de deformação na tração seja igual ao módulo na compressão. Os resultados dos concretos para as obras de Itaipu [2] e Água Vermelha [1] incluíram ensaios de tração por flexas em vigas não armadas, com medida de deformação na fibra mais tracionada, que permitem também a obtenção de relações entre módulo de deformação do concreto por ensaios de compressão (convencional) e, por tra-

ção.

Um outro fator que deve ser considerado para efeito de uso do valor do módulo de deformação do concreto é a influência de cargas permanentes que será também abordado.

Com o objetivo de complementar a série de trabalhos que tem sido publicada sobre os concretos de Itaipu, serão fornecidos também resultados de permeabilidade dos concretos daquela obra.

## 2 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE O MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

A exemplo de outros materiais de construção o concreto, quando submetido a um carregamento crescente até sua ruptura, apresenta uma curva tensão-deformação do tipo mostrada na Figura 1.

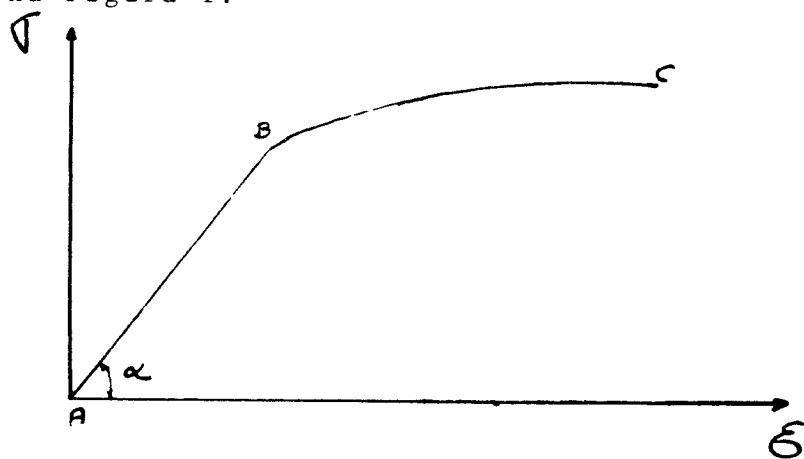


FIGURA 1 - CURVA TÍPICA TENSÃO DEFORMAÇÃO DO CONCRETO

Para efeitos práticos, o trecho A-B da curva ABC tem sido considerado linear e, a tangente do ângulo  $\alpha$ , como sendo o módulo de deformação secante do concreto. Os resultados apresentados neste trabalho referem-se apenas ao módulo secante estático do concreto.

O método de ensaio usado na determinação dos resultados apresentados é baseado no C-469-65 (1975) da ASTM ( Test for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression).

As misturas de concreto com agregados de diâmetros máximos 19 e 38 mm foram moldadas, para ensaios, em corpos de provas cilíndricos de 15 x 30 cm.

As misturas com agregados de diâmetros máximos 76 e 152 mm foram ensaiadas da seguinte maneira:

- Concreto Peneirado: imediatamente após a mistura o concreto foi peneirado em uma malha de 38 mm e o material passante moldado em cilindros de 15 x 30 cm. Este procedimento é adotado para facilitar o controle de produção de grandes volumes de concreto porém, não representa o valor real do módulo de deformação da mistura original.
- Concreto Integral: as misturas com agregados de 76 mm foram moldadas em cilindros de 25 x 50cm e aquelas com agregados 152 mm moldadas em cilindros de 45 x 90cm. A correlação dos resultados obtidos, das misturas moldadas com concreto integral e peneirado, é que permite a execução de grande parte do controle através da moldagem de corpos de provas 15 x 30cm.

### 3 RESULTADOS DE MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

A tabela 1 apresenta um resumo dos resultados de ensaios de módulo de deformação do concreto, obtidos durante o controle da obra de Itaipu. Os resultados médios até a idade de 1 ano, para todas as misturas, foram obtidos com mais de 30 amostras.

As médias aos 2 e 5 anos são obtidas em geral com menos de 10 amostras e portanto sua representatividade, no caso de alguns valores discrepantes, deve ser considerada apenas como de caráter orientativo. Os valores apresentados para os concretos com agregados de diâmetros máximos 76 e 152 mm se referem apenas a concretos peneirados.

Os resultados dos ensaios executados com concretos inte-

TABELA I - RESUMO DO CONTROLE DE NÍVEL DIÁRIO DE INFILTRAÇÃO NA OBRA DE ITAITU

# MAX.	INTEG. (1)	fch kg/cm <sup>2</sup>	PENETR. %	3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS		90 DIAS		180 DIAS		360 DIAS		730 DIAS		1825 DIAS	
				ME EVOL.	CV EVOL.														
150/1	170	7,9	77	0,21	15,1	7,10	14,4	0,20	41,5	10,1	130	0,22	-	-	-	-	-	-	-
150/2	206	10,4	77	0,21	16,2	21,6	35,6	0,22	102	0,5	100	0,24	450	19,2	112	0,4	-	-	-
150/2a	215	11,5	72	0,22	15,3	0,1	0,22	102	0,5	100	0,24	450	19,2	112	0,4	-	-	-	-
150/2b	215	14,8	60	0,17	20,3	9,5	0,20	158	7,2	100	0,21	400	6,0	112	0,22	417	9,8	122	0,21
150/2c	-	-	-	32,6	4,5	91	0,22	364	4,9	100	0,23	440	7,4	112	0,25	430	4,7	111	0,20
150/2d	-	-	-	30,6	10,0	81	0,22	310	7,0	100	0,22	402	3,6	110	0,21	410	6,3	112	0,20
210/100	-	-	-	252	14,4	77	3,21	136	6,3	100	0,22	370	8,3	113	0,21	366	7,4	119	0,20
180/300	-	-	-	235	3,0	77	2,01	126	6,6	100	0,21	350	9,5	107	0,21	350	4,2	107	0,21
140/100	-	-	-	198	10,7	67	3,20	204	8,1	100	0,22	343	5,6	116	0,22	347	4,8	110	0,22
210/21	253	12,4	44	0,20	135	10,4	65	0,21	192	6,0	100	0,22	436	3,6	111	0,21	-	-	-
150/300	-	-	-	11,9	11,4	63	0,25	5,5	4,5	100	0,25	440	7,3	104	0,25	450	3,1	109	0,23
240/100	-	-	-	10,9	13,1	50	0,21	119	7,5	100	0,22	420	5,5	111	0,23	430	5,7	119	0,22
210/210	-	-	-	25,3	5,1	79	0,21	116	10,1	100	0,22	370	7,3	113	0,22	372	5,4	122	0,21
180/300	-	-	-	7,6	11,5	71	0,20	16,1	1,7	100	0,22	384	4,0	111	0,24	391	6,4	116	0,21
140/100	-	-	-	7,9	13,0	70	0,20	15,2	12,2	100	0,21	365	10,3	113	0,20	374	7,1	116	0,20
140/210	-	-	-	20,4	0,7	70	0,21	116	9,6	100	0,24	424	6,2	115	0,24	443	4,9	120	0,24
140/220	-	-	-	20,4	2,4	70	0,21	116	9,6	100	0,24	424	6,2	115	0,24	443	4,9	120	0,24
210/21	170	10,6	63	-	320	7,3	35	-	306	10,1	100	-	416	7,4	106	-	-	-	-
210/100	-	-	-	276	-	70	-	171	10,1	100	-	420	6,1	121	-	437	-	124	-
220/200	-	-	-	312	21,0	85	-	168	6,0	100	-	407	9,5	111	-	410	5,7	117	-
210/210	-	-	-	204	0,7	70	0,21	116	9,6	100	0,24	424	6,2	115	0,24	443	4,9	120	0,24
210/220	-	-	-	279	8,2	77	0,20	359	8,5	100	0,20	396	7,4	110	0,23	387	7,1	116	0,22
180/300	-	-	-	296	9,9	80	0,10	317	10,2	100	0,20	377	11,5	119	0,23	366	10,6	125	0,20
140/100	-	-	-	217	12,2	76	0,17	305	9,7	100	0,21	313	7,5	122	0,22	357	7,2	127	0,20
140/210	-	-	-	217	11,2	70	-	217	11,2	100	-	316	6,9	134	-	316	5,5	141	-
140/220	-	-	-	196	15,0	81	-	217	11,2	100	-	316	5,5	141	-	316	12,7	137	-
152	#	-	-	222	11,2	81	-	176	6,6	100	-	365	8,1	109	-	361	8,1	114	0,21
160/300	-	-	-	267	19,0	81	0,22	330	6,0	100	0,26	353	6,5	103	0,24	356	9,0	108	0,21
140/100	-	-	-	278	16,0	77	7,19	354	13,2	100	0,22	350	0,2	122	0,23	355	7,4	121	0,21
140/210	-	-	-	196	15,0	81	-	217	11,2	100	-	316	6,9	134	-	316	5,5	141	-
140/220	-	-	-	196	15,0	81	-	217	11,2	100	-	316	5,5	141	-	316	12,7	137	-

grais, bem como suas correlações com os resultados obtidos com concretos peneirados, são mostrados na tabela 2.

A tabela está ordenada de tal forma, que os valores são mostrados no sentido decrescente da resistência solicitada e consequentemente, de consumo de aglomerante. Desta forma, nos concretos de  $\varnothing_{\max}$  19mm a mistura de fck 150/3 representa um concreto de resistência característica 150 kgf/cm<sup>2</sup> aos 3 dias.

Da análise da tabela 1 pode-se observar o seguinte comportamento do módulo de deformação do concreto em função de alguns fatores que exercem influência sobre o mesmo:

### 3.1 IDADE DO CONCRETO

Da mesma forma que a resistência à compressão, o módulo de deformação aumenta com a idade porém não obedecendo a mesma velocidade de aumento mas, as curvas de ambas as propriedades, para uma mesma mistura, apresentam um mesmo sentido de orientação. Para análise e comparação entre as duas propriedades, foram calculados os percentuais de evolução do módulo de deformação do concreto em várias idades, com base na idade de 28 dias, e comparados com os resultados de evolução de resistência, dessas mesmas misturas apresentados em [3].

Nota-se que às primeiras idades, 3 e 7 dias, o módulo de deformação do concreto atinge valores médios de 70 e 85% em relação aos 28 dias, enquanto que o percentual de resistência aos 7 dias, em relação aos 28 dias, é ainda em média de apenas 55%.

A partir da idade de 28 dias, até ao redor de 180 dias, o módulo de deformação cresce, relativamente aos valores de 28 dias, ao redor de 20% quando praticamente se estabiliza. No entanto, a resistência à compressão tem percentual de aumento em relação aos 28 dias, às idades mais avançadas (1,2 e 5 anos) que, dependendo do tipo e quantidade de cimento e uso ou não de material pozolânico, po-

θ. MAX (mm)	fck / DIAS (kgf/cm <sup>2</sup> /DIAS)	INTEGRAL		7 DIAS		28 DIAS		90 DIAS		180 DIAS		160 DIAS	
		PENEIRADO		Nº DE AMOSTRAS		E × 10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup>		Nº DE AMOSTRAS		E × 10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup>		Nº DE AMOSTRAS	
		(1)	(#)	(1)	(#)	(1)	(#)	(1)	(#)	(1)	(#)	(1)	(#)
220/90		(1)	-	04	359	1	03	4,54	-	-	-	-	-
280/160		(#)	-	22	368	1	21	4,07	-	-	-	-	-
(76)		(1) / (#)		-		0,97		1,12		-		-	
		(1)	-	07	384	1	05	4,23	0,5	4,36	4,5	4,68	
		(#)	-	64	169	1	51	4,24	51	4,43	146	447	
210/360		(1) / (#)		-		1,04		1,0		0,93		1,05	
		(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	17	426	
		(#)	-	-	-	-	-	-	-	-	48	1	395
180/360		(1) / (#)		-		-		-		-		1,08	
		(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	390
		(#)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140/360		(1) / (#)		-		-		-		-		1,0	
		(1)	01	194	03	322	-	-	0,6	34,6	25	371	
		(#)	27	21,7	.35	282	-	-	27	357	40	371	
(152)		(1) / (#)		0,91		1,14		-		0,97		1,0	
		(1)	-	01	431	1	02	4,38	0,1	4,81	0,4	4,84	
		(#)	-	18	336	18	365	1,2	381	31	391		
160/360		(1) / (#)		-		1,28		1,20		1,26		1,24	
		(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	13	442	
		(#)	-	-	-	-	-	-	-	-	51	379	
140/360		(1) / (#)		-		-		-		-		1,16	
		(1)	03	231	11	377	1	19	4,31	25	442	79	410
		(#)	103	226	108	294	1	125	359	125	355	267	371
		(1) / (#)		1,10		1,28		1,20		1,21		1,10	

TABELA 2 - RELAÇÃO ENTRE MÓDULOS DE DEFORMAÇÃO DE CONCRETOS INTEGRAIS E PENEIRADOS DE ITAIPU

de chegar da ordem de 100%. Para os concretos de Itaipu [3] esses percentuais foram, aos 180 e 360 dias, em média de 50 e 55%, respectivamente.

Esse comportamento de velocidade de crescimento diferenciado se explica fundamentalmente pela influência do agregado nos valores do módulo de deformação do concreto (ver item 3.3).

### 3.2 Consumo de Aglomerante

De maneira geral, o concreto apresenta módulo de deformação crescente, em todas as idades, com o aumento do consumo de aglomerante. Analisando-se no entanto as evoluções percentuais do módulo de deformação em relação à idade de 28 dias, em função do consumo de aglomerante, nota-se que às baixas idades (até 28 dias) os concretos mais ricos têm maior evolução ao passo que a partir de 90 dias a evolução percentual do módulo passa a independe do consumo de aglomerante. Novamente credita-se à influência do agregado no módulo de deformação esse comportamento, nas idades mais avançadas.

### 3.3 Tipo e Quantidade de Agregado

O agregado até certo ponto considerado como inerte, entra na composição do concreto, com volumes sólidos que variam entre 70 e 85% do volume total do concreto. Por outro lado, os módulos de deformação dos agregados em geral são superiores a  $800000 \text{ kgf/cm}^2$  e, dependendo do tipo de rocha da qual se originam, podem atingir valores da ordem de  $2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ .

Estes dois fatores conferem ao agregado importância significativa no módulo de deformação do concreto. Este fato é evidenciado no entanto a idades mais avançadas já que às primeiras idades, a pasta de cimento, por ser líquida dos agregados e por apresentar módulo baixo, exerce grande influência no módulo de deformação da mistura.

Os agregados graúdos dos concretos da obra de Água Verme lha eram compostos de britas obtidas de basalto e seixos rolados de quartzito e calcedonia. Para permitir maleabilidade no manuseio e balanceamento dos estoques durante a fase de construção, foram estudadas algumas misturas de mesma composição básica alternando algumas gamas dos agregados, de brita para seixo e vice-versa.

Os resultados fornecidos abaixo [1] mostram a influência do tipo de agregado no módulo de deformação do concreto, pela substituição apenas da faixa granulométrica entre 38 e 76mm (agregado 3) de brita de basalto (módulo do basalto de  $3 \times 10^5$  a  $1 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup>) por seixo rolado (quartzito com módulo variando de  $1 \times 10^6$  a  $1,3 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup>).

$\varnothing$ máx (mm)	A/Ceg	CONSUMO (Kgf/m <sup>3</sup> )	AGREGADO GRAÚDO	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO(kgf/cm <sup>2</sup> )	
				28 dias	90 dias
152	0,55	132	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub> +B <sub>4</sub>	454000	525000
152	0,55	134	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> +B <sub>3</sub> +B <sub>4</sub>	393000	471000
152	0,85	90	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub> +B <sub>4</sub>	345000	398000
152	0,85	91	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> +B <sub>3</sub> +B <sub>4</sub>	274000	302000

Sendo: C = Seixo rolado (cascalho) de quartzito e calcedonia

B = Brita de basalto

Nota-se que os resultados apresentados confirmam também a influência do consumo de aglomerante (através da variação do fator A/C) no módulo de deformação do concreto.

No que se refere a quantidade de agregados no concreto, o peneiramento dos concretos com  $\varnothing$  máx  $\geq$  76mm, para facilitar o controle, mostra essa influência.

Os valores médios obtidos durante o controle de Ilha Solteira [1] mostraram que, a idade de 3 dias, o módulo

de deformação do concreto peneirado é cerca de 80% do módulo do concreto integral e que esta relação tende a unidade a idades superiores.

Na tabela 2 são mostrados os resultados médios de módulos de deformação integral e peneirado de algumas misturas usadas na obra de Itaipu.

Os resultados de Itaipu mostram também que de maneira geral a relação entre os módulos de deformação integral e peneirado do concreto Ø máx 76mm aproxima-se da unidade às idades superiores a idade de 28 dias.

Para o concreto com agregado 152mm esta relação no entanto está entre 1,20 e 1,30.

Esta diferença é explicável pela diferença de quantidade de agregado que é retirada da mistura quando se peneira um concreto Ø máx 76mm ou 152mm.

Com relação aos concretos de Ilha Solteira, o fato de se usar basicamente seixos rolados como agregados 1(19mm) e 2 (38 mm) este efeito se faz sentir com menor intensidade já que os concretos mesmo peneirados apresentam módulos de deformação muito altos, em função do alto módulo dos agregados. Lembra-se que todo agregado de Itaipu é brita de basalto, inclusive parte da areia que era formada por 70% em peso de basalto britado e 30% de areia natural.

### 3.4 Ar Incorporado no Concreto

A incorporação de ar ao concreto tende a diminuir o módulo de deformação do mesmo. Os resultados abaixo apresentados [1], demonstram este fato.

$\varnothing$ máx (mm)	A/Ceg	CONSUMO (Kgf/m <sup>3</sup> )	AR INCORPORADO (%)	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO(kgf/cm <sup>2</sup> )		
				7 dias	28 dias	90 dias
19	0,50	269	4	410000	442000	510000
19	0,50	286	-	430000	489000	535000
19	0,60	224	4	328000	440000	460000
19	0,60	239	-	370000	487000	530000

### 3.5 Permanência de Carga

O concreto, quando submetido a uma tensão permanente, apresenta uma deformação instantânea que é praticamente proporcional à tensão aplicada, seguida de um deformação lenta já não linear, definida como deformação de fluência.

A relação entre a tensão aplicada e a deformação total denominase módulo de deformação sob carga constante (módulo sustentado) do concreto.

Estudos realizados em Itaipu [4] mostraram que, em média, as correlações dos módulos de deformação sustentado e instantâneo são:

<u>Idade de ensaio</u>	<u>Relação</u>
3 e 7 dias	55 a 60%
28 e 90 dias	60 a 65%
180 e 365 dias	70 a 75%

### 3.6 Módulo de Deformação na Tração

O módulo de deformação do concreto na tração tem sido admitido como sendo igual ao módulo obtido na compressão. No entanto, há informações bibliográficas indicando que o módulo de deformação do concreto na tração é menor que o módulo na compressão. Para um certo tipo de concreto a relação obtida Ect/Ecc foi de 0,81 [5]

A relação média entre os valores de módulo de deformação na tração por flexão de vigas não armadas e dos módulos de compressão, para as mesmas misturas obtidas dos estudos de concretos para a obra de Água Vermelha [1] foi de 0,75 para um coeficiente de variação de 20%.

Para os concretos da obra de Itaipu [2] o valor médio dessa relação foi de 0,82 para um coeficiente de variação de 25%.

#### 4 RESULTADOS DE PERMEABILIDADE

Os resultados de permeabilidade apresentados na Tabela 3 tem por finalidade complementar e concluir as informações sobre esta propriedade, referentes aos concretos aplicados na obra de Itaipu.

Os trabalhos relativos as referências [6] e [7] já divulgaram resultados parciais de estudos de permeabilidade executados em Itaipu e estão resumidos na Figura 2, juntamente com os esquemas dos procedimentos de execução de ensaios (métodos do Bureau of Reclamation e Sueco) bem como resultados de estudos obtidos da referência [8].

Ø máx (mm)	CONSUMO MÉDIO kg/m <sup>3</sup>	IDADE (DIAS)					
		28		90		360	
		Nº DE ENSAIOS	PENETRAÇÃO (cm)	Nº DE ENSAIOS	PENETRAÇÃO (cm)	Nº DE ENSAIOS	PENETRAÇÃO (cm)
76	285	14	6,9	14	7,3	14	5,5
76	200	20	7,1	22	5,9	22	4,7
76	140	20	10,6	22	7,8	22	7,2
152	167	20	5,9	22	6,1	22	6,2
152	117	32	10,2	32	7,7	32	5,7

Tabela 3 - Resumo dos Valores de Permeabilidade por penetração obtidos do controle de produção dos concretos da Obra de Itaipu.

## 5 COMENTÁRIOS

O módulo de deformação do concreto tem sido adotado geralmente em função da resistência à compressão, sem uma análise mais profunda dos vários fatores que podem alterar seu valor. Os resultados apresentados anteriormente demonstram que quando o módulo de deformação é de importância relevante no comportamento de uma estrutura, estimativas podem levar a erros significativos.

Com relação à permeabilidade, apesar da curva determinada de acordo com [8] os resultados dos vários estudos executados em Ilha Solteira [1] e Itaipu [6] e [7] e que estão resumidos na Figura 2 demonstram que mesmo concretos com penetração de 10 cm obtidos pelo método sueco apresentam coeficientes de permeabilidade menores que  $10^{-9}$  cm/s, determinados de acordo com o método do Bureau of Reclamation, e podem portanto serem considerados impermeáveis.

ESQUEMA DO APARELHO DE  
PERMEABILIDADE - SISTEMA  
- BUREAU OF RECLAMATION.  
- SWEDISH STANDARD -  
SPECIFICATION

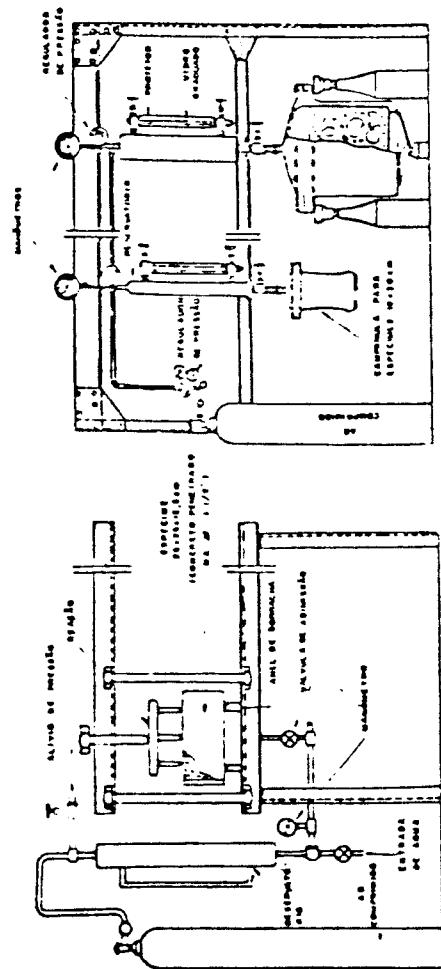
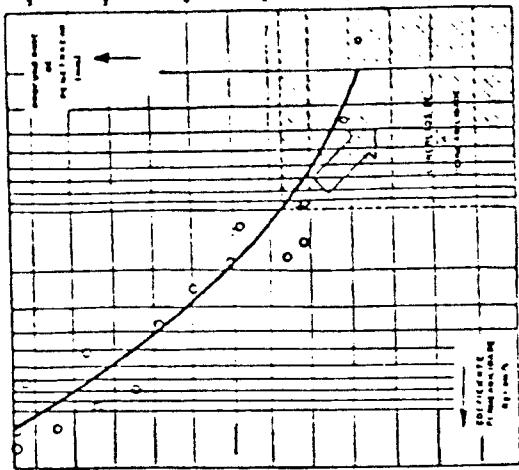
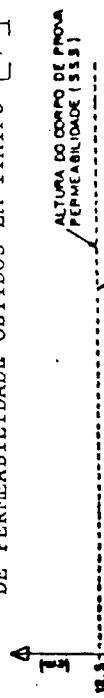


FIGURA 2  
ESQUEMA DO APARELHO DE  
PERMEABILIDADE - SISTEMA  
- BUREAU OF RECLAMATION.  
- SWEDISH STANDARD -  
SPECIFICATION

FIGURA 2  
RELAÇÃO ENTRE PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO  
- E COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE -  
SWEDISH STANDARD - BUREAU OF RECLAMATION.

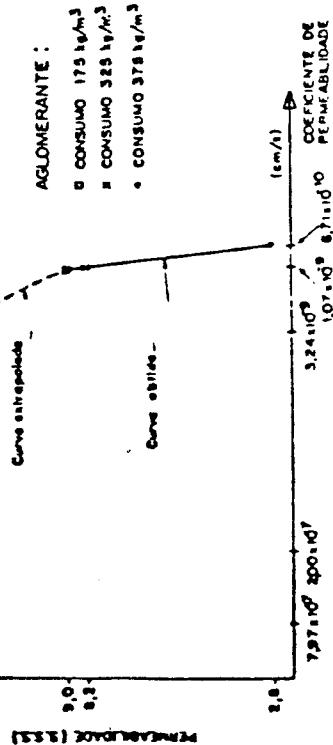


RELAÇÃO ENTRE PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO E COEFICIENTE  
DE PERMEABILIDADE OBTIDOS EM ITAIPU [7]



RESULTADOS DE ENSAIOS DE PERMEABILIDADE DE CONCRETO  
MOLDADOS E EXTRÁIDOS, OBTIDOS NA OBRA DE ITAIPU [6]

MISTURA	LOCAL DE MOLDAGEM	PERMEABILIDADE PENETRAÇÃO K (cm/sec)	PROFOUNDIDADE [cm]	IDADE [dias]
152 E 01	Central de concreto	11.6 x 10^-10	11.5	180
152 E 01	Central de concreto	7.5 x 10^-11	6.4	180
152E01/152E01	Extração de junta	5.3 x 10^-11	6.3	150
152E01/152E01	Extração de junta	5.7 x 10^-11	10.3	150
152E01/152F01	Extração de junta	2.2 x 10^-9	-	180
152E01/152F01	Extração de junta	5.2 x 10^-9	-	180
152E01/152F02	Extração de junta	6.7 x 10^-9	10.4	180



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Andriolo, F.R. e Sgarboza, B.C.  
- CESP - Concretos para a obra da Usina de Água Vermelha
- 2) RC-33/79  
- Itaipu - Resistência à tração de concretos da obra de Itaipu
- 3) Braga, J.A., Sonoda, A., Andriolo, F.R., Scandiuzzi, L.  
- IBRACON 1984 - Informações sobre a evolução das resistências do concreto até a idade de 5 anos
- 4) Rosario, L.C., Braga, J.A., Scandiuzzi, L.  
- IBRACON 1983 - Considerações básicas da fluência do concreto e resultados de ensaios na obra de Itaipu
- 5) Borges, J.F., CEB - 1973  
- Structural Concrete Fundamental
- 6) Andriolo, F.R.,  
- IBRACON 1983 - Concretos em paramentos Hidráulicos
- 7) Braga, J.A., Rosario, L.C., Silva, R.F.,  
- Estudos sobre permeabilidade e absorção de concretos
- 8) Sallstrom  
- Swedish State Power Board