

IV SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE NORMALIZAÇÃO  
DE CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS

27 E 28 DE NOVEMBRO DE 1986

UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO  
EM CONCRETO MASSA

Francisco Rodrigues Andriolo  
Engenheiro Consultor

## RESUMO

A conveniência e necessidade de adoção de medidas técnicas e econômicas para a utilização de concretos com qualidade adequada, nas grandes obras brasileiras tem exigido, progressivamente, o estudo e o desenvolvimento de materiais para melhor atendimento dos requisitos indicados.

Assim é que a utilização de materiais pozolânicos, nos concretos das obras de hidroelétrica teve um crescimento notável nas duas últimas décadas.

Mais recentemente, a adequação desses materiais, e o respectivo aproveitamento por parte da indústria cimenteira, traduziu-se pela introdução, no mercado, do Cimento Portland Pozolânico.

Este trabalho, apresenta um resumo de estudos efetuados para a aceitação desse tipo de aglomerante em obras de hidroelétricas brasileiras.

ÍNDICE

- 1 - INTRODUÇÃO
- 2 - TIPO DE AGLOMERANTE — CIMENTO POZOLÂNICO
- 3 - ESTUDOS DO CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO
- 4 - ESTABELECIMENTO DAS ESPECIFICAÇÕES DOS CIMENTOS PORTLAND POZOLÂNICOS } OTIMIZAR  
SEMI DETALHAR
- 5 - SITUAÇÃO DE USO DOS CIMENTOS PORTLAND POZOLÂNICOS } IB - 200.000  
CEP - 690.000
- 6 - CONTROLE DE QUALIDADE DOS CIMENTOS PORTLAND POZOLÂNICOS
  - 6.1 - CONTROLE NA FÁBRICA
  - 6.2 - CONTROLE NA OBRA
- 7 - CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS
  - 7.1 - EFICIÊNCIA MECÂNICA — — — — —
  - 7.2 - EVOLUÇÃO UNITÁRIA DE TEMPERATURA — — — — —
- 8 - COMENTÁRIOS — — — — —
- 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS — — — — —

1.229  
1.229  
7.229

— ACQUIS  
— K  
— DURABILIDADE

CUSTOS:

## 1 - INTRODUÇÃO

Após a utilização de material pozolânico nas obras de Jupiã e Ilha Solteira, vários estudos têm sido feitos procurando otimizar a utilização desse tipo de material de construção.

Com a desativação do sistema de produção de pozolana ( a partir de argila calcinada) da região de Jupiã, o material pozolânico disponível na região sul do País ficou sendo, praticamente, as cinzas volantes criundas do carvão vapor utilizados nas usinas termoelétricas. Mais recentemente se tornaram disponíveis outras fontes de materiais pozolânicos, nessa região do país.

Por outro lado a construção de obras, como Itaipu, Porto Primavera , Rosana e Taquaruçu, entre outras, na região Sul - Sudeste do País, impunha preocupações técnicas, quanto a qualidade dos concretos utilizados.

Assim é que nas obras de Porto Primavera e Rosana, a utilização de agregados graúdos, constituídos por seixos rolados de quartzitos, agatas e calcedonias contendo elementos potencialmente reativos com os álcalis dos cimentos, é uma preocupação constante para os técnicos envolvidos.

Ao longo dos anos tem-se demonstrado que materiais pozolânicos são eficientes no combate a esse tipo de reação.

Através das análises dos materiais disponíveis, economicamente, no mercado, verificou-se que nem os materiais pozolânicos nem os cimentos pozolânicos apresentavam-se, por si sô, suficientemente eficazes no combate à reação alcalis-agregado. Havia portanto, a necessidade de medidas adicionais no sistema de beneficiamento desse tipo de aglomerante.

## 2 - TIPO DE AGLOMERANTE

Tendo em vista a disponibilidade, da indústria cimenteira, em produzir cimento pozolânico, as atenções se voltaram para esse tipo de aglomerante, cuja aceitação se deu após análise técnico-econômica.

## 3 - ESTUDOS DO CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO

Para o estabelecimento das características desse tipo de cimento em

compatibilidade com as necessidades de combate à reação álcalis-agregados, vários estudos foram feitos pela Itaipu Binacional (1), (2), (3), (4), (5) e pela CESP (6), (7), (8), (9).

O programa de estudos efetuados pela Itaipu Binacional visava primeiramente estabelecer as condições para a moagem conjunta de clínquer e cinza volante, dando um Cimento Portland Pozolânico, e posteriormente, regulamentar o fornecimento de um Cimento Portland Pozolânico.

O programa de estudos realizado pela CESP constou basicamente de duas partes:

- Ensaio de caracterização do produto fornecido pelas fábricas na linha de produção normal;
- Ensaio de caracterização de cimentos produzidos em laboratório, utilizando como matérias primas, aquelas usadas nas próprias fábricas, e com teores variáveis de material pozolânico.

Foram pesquisados (9) sete fornecedores, sendo que em um o material pozolânico era proveniente de argila caulinitica, outro apresentou tanto argila caulinitica como cinza volante, e os demais cinzas volantes.

As figuras 01 e 02 apresentam a influência do teor de material pozolânico, no combate da expansão causada pela reação álcalis-agregado.

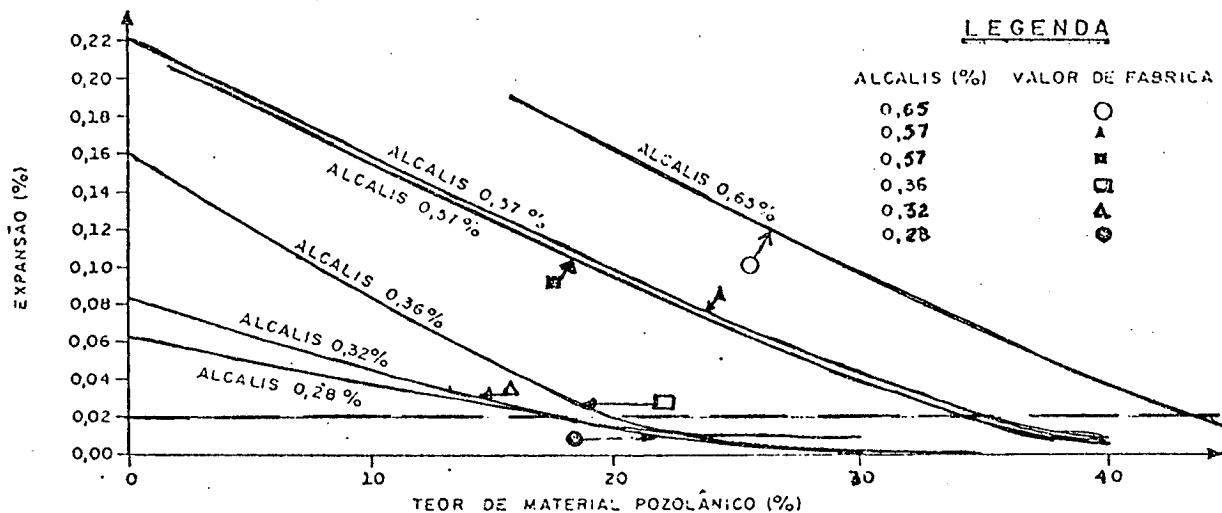


Figura 01 - Cimento Portland Pozolânico com cinzas volantes (9), com teores percentuais em peso.

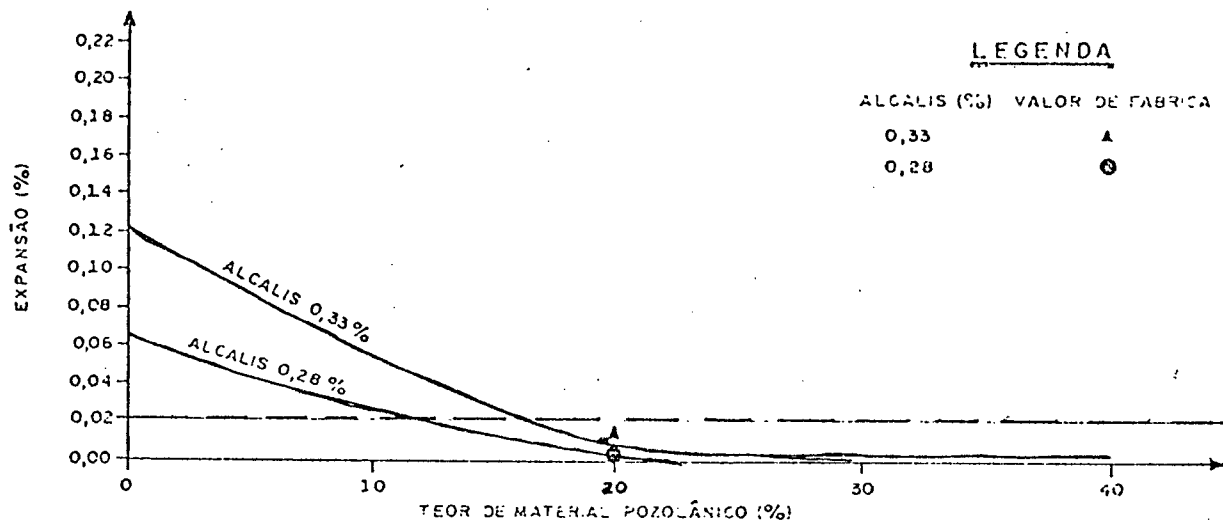


Figura 02 - Cimento Portland Pozzolânico com argila caulínica (9) , com teores percentuais em peso.

A superfície específica (Blaine) dos cimentos pozzolânicos produzidos em laboratório, a partir de cinzas volantes, esteve ao redor de  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ , e no produtos industriais os valores estiveram ao redor de  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$  e  $4.800 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Para os cimentos produzidos em laboratórios com argila caulínica, a superfície específica variou de  $5500 \text{ cm}^2/\text{g}$  a  $7500 \text{ cm}^2/\text{g}$ , aumentando com o teor de material pozzolânico na mistura. No produto industrial os valores estiveram entre  $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$  e  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

A figura 03 mostra a influência do teor de material pozzolânico na expansão causada por diversos teores de álcalis, dos clínqueres. A figura 04, por sua vez mostra a influência da finura na expansão da argamassa, considerando vários teores de cinzas volantes.

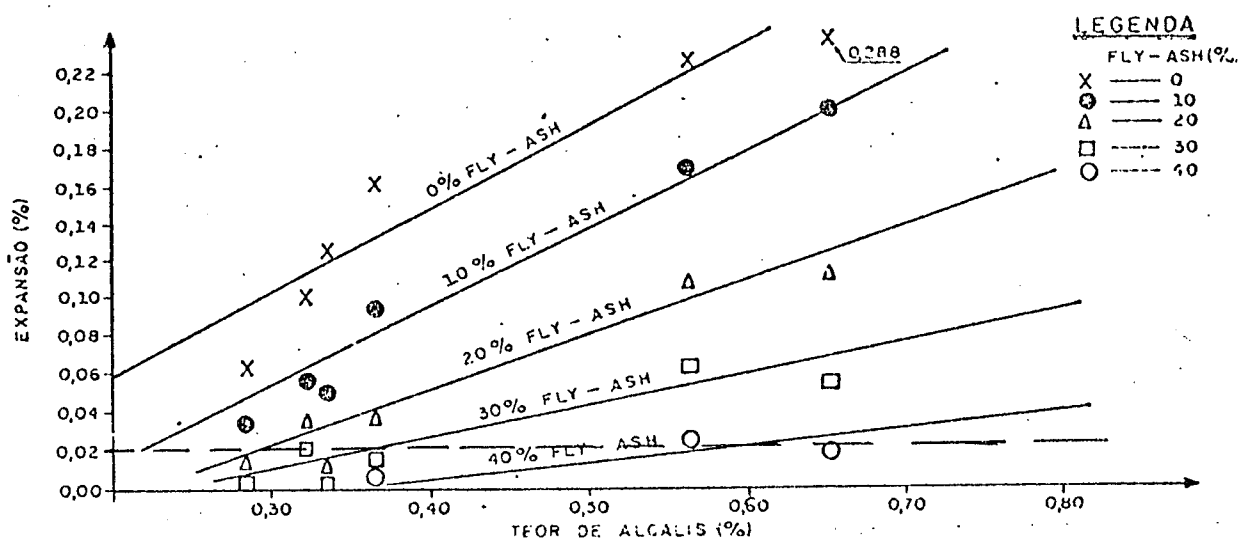


Figura 03 - Influência do teor (em peso) de material pozzolânico na expansão da argamassa causada pelos álcalis dos clínqueres (9).

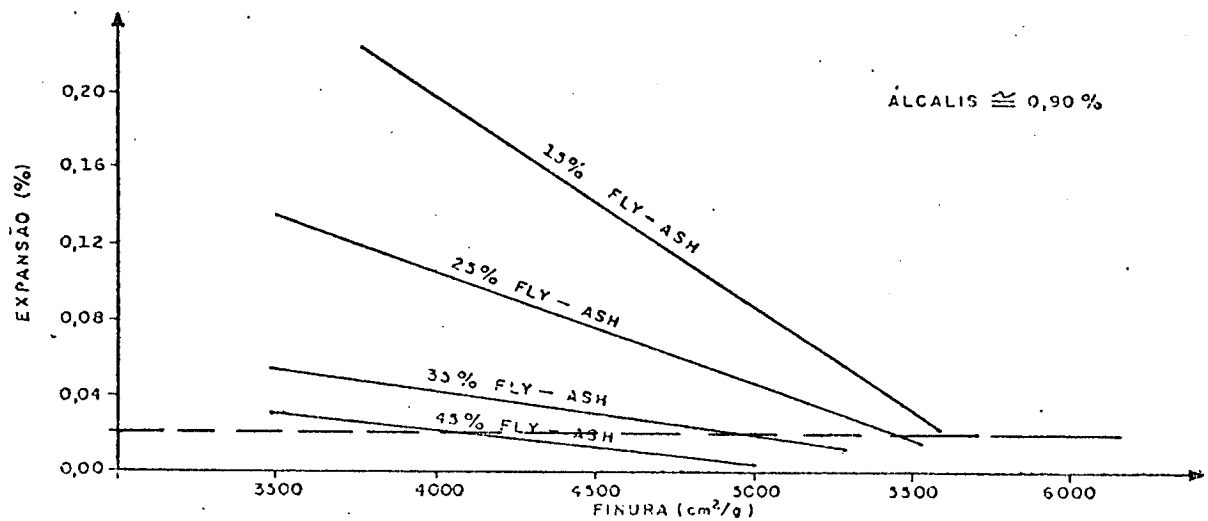


Figura 04 - Influência da finura na expansão da argamassa causada pelos álcalis do clínquer.

#### 4 - ESTABELECIMENTO DAS ESPECIFICAÇÕES DOS CIMENTOS PORTLAND POZOLÂNICOS.

Para o estabelecimento dos valores toleráveis, das características dos cimentos Portland Pozolânicos aplicáveis nas obras, foram tomados em consideração os seguintes fatores:

- Resultados obtidos nas pesquisas;
- Não introduzir alterações nas matérias primas;
- Não introduzir alterações na linha de produção normal;
- Recomendações do ASTM-C-595;
- Recomendações internacionais (10).

Com base nessa conceituação foram estabelecidas as condições das especificações como ilustra a figura 05. Nota-se que para o cimento Portland Pozolânico com cinzas volantes foram estabelecidas as seguintes condições básicas:

- Teor de álcalis, no clínquer;
- Superfície específica (Blaine);
- Teor de material pozolânico.

Isso para atender as condições de combate à reação álcalis-agregado, e não introduzir alterações significativas no sistema de fabricação.

No caso de Cimento Portland Pozolânico, com argila apenas uma condição foi suficiente.

CARACTERÍSTICAS	LIMITE	UNIDADE	VALORES			
			ITAIPU	CESP	CESP	CESP
- Entidade	-	-	ITAIPU	CESP	CESP	CESP
- Referência	-	-	[3]	[9]	[9]	[9]
- Data de Adoção	-	-	1980	1981	1981	1981
- Cimento - Condição	-	-	-	A	B	-
- Tipo de Material Pozolânico	-	-	Natural	Cinza	Cinza	Argila
- Equivalente Alcalino no Clinquer (em Na <sub>2</sub> O)	Max.	%	0,70	0,35	0,65	0,35
- Teor de Material Pozolânico	Max.	%	20	25	35	30
- Finura (Blaine)	Min.	cm <sup>2</sup> /g	3.500	4.000	5.000	5.000
- Coeficiente de Variação na Finura	Max.	%	-	10	10	10
- SO <sub>3</sub>	Max.	%	3,0	4,0	4,0	4,0
- Perda ao Fogo	Max.	%	3,0	4,0	4,0	4,0
- Resíduo Insolúvel	Max.	%	16,0	-	-	-
- Expansão em Auto Clave	Max.	%	0,8	0,5	0,5	0,5
- Tempo de Início de Pega	Max.	H:Min.	0:45	1:00	1:00	1:00
- Tempo de Fim de Pega	Min.	H:Min.	-	10:00	10:00	10:00
- Resistência a Compressão- 3 dias	Min.	Kgf/cm <sup>2</sup>	80	80	80	80
- Resistência a Compressão- 7 dias	Min.	Kgf/cm <sup>2</sup>	150	150	150	150
- Resistência a Compressão-28 dias	Min.	Kgf/cm <sup>2</sup>	250	250	250	250
- Calor de Hidratação - 7 dias	Max.	Cal/g	-	60	60	60
- Calor de Hidratação -28 dias	Max.	Cal/g	-	70	70	70
- Retração por Secagem	Max.	%	-	0,15	0,15	0,15
- Reatividade com os Álcalis - Expansão da Argamassa -14 dias	Max.	%	-	0,02	0,02	0,02
- Água Requerida em Relação ao Controle	Max.	%	-	105	105	105
- Finura - Peneira nº 325	Max.	%	-	20	20	20

Figura 05 - Especificações técnicas para cimentos Portland Pozolânicos, adotadas por Itaipu (3) e pela CESP (9).

## 5 - SITUAÇÃO DE USO DOS CIMENTOS PORTLAND POZOLÂNICOS

Com base nas especificações adotadas, sabe-se que até meados de 1986, foram produzidos os seguintes volumes de concreto, com cimento Portland Pozolânico:

- Itaipu Binacional - 150.000 m<sup>3</sup>
- Obras da CESP - 687.000 m<sup>3</sup>

## 6 - CONTROLE DE QUALIDADE DOS CIMENTOS PORTLAND POZOLÂNICOS

Para o controle do fornecimento dos cimentos tanto a Itaipu Binacional como a CESP, adotam rotinas semelhantes, sendo que além do controle de aplicação na obra, fazem o controle prévio na fabricação do produto, através de equipes fixas.

### 6.1 CONTROLE NA FÁBRICA

Durante a produção do Cimento Portland Pozolânico, as equipes fazem o controle horário, de determinados teores e da finura (Blaine), sendo que através desses parâmetros e com base nas especificações efetua-se a liberação do produto.

Além do controle horário, são formadas amostras para determinações das características físico-químicas do aglomerante.



ENSAIOS FÍSICOS - CIMENTO A

FINURA	DENSIDADE g/cm <sup>3</sup>		ÁGUA DE CONSISTÊNCIA PASTA		INÍCIO DE PEGA hs./min.	EXPANSÃO AUTOCOLANTE (%)	ÁGUA REQUERIDA (%)	EXPANSÃO DA ARGAMASSA (%)	REDUÇÃO DA EXPANSÃO (%)	RETRAÇÃO POR SECAÇÃO (%)	CONSISTÊNCIA A/C	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO					
	APARENTE	ABSOLUTA	GRAMAS	%								TENSÃO Kg/cm <sup>2</sup>					
PENETRAÇÃO (3) RST. 200	PENETRAÇÃO (3) RST. 325	BLAINE cm <sup>2</sup> /g										3	7	28	90	180	
MEDIA 0,5	5,2	5,064	0,88	2,82	142	28,4	0,103	109,0	0,02	88,3	0,100	0,48	200	257	404	502	546
C.V. 31,1	22,9	3,0	2,4	1,7	2,4	2,2	21,0	25,4	1,7	56,8	7,5	8,5	11,6	11,4	10,3	10,6	8,2

ENSAIOS QUÍMICOS - CIMENTO A

ANÁLISE QUÍMICA %											COMPOSTO %				
PERDA AO FOGO	INSOLÚVEIS	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S O <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	EQUIV. ALC. EM Na <sub>2</sub> O	CAL. LIVRE EM CaO	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>1</sub> A	C <sub>4</sub> AF
MEDIA 2,06	31,44	31,54	4,40	12,7	42,7	3,60	1,96	-	-	-	1,13	-	-	-	-
C.V. 8,8	7,6	5,4	6,4	10,3	4,1	11,6	10,9	-	-	-	19,7	-	-	-	-

C.V. = COEFICIENTE DE VARIAÇÃO.

FIGURA 06

VALORES DO CONTROLE NA OBRA - CESP [9], EXECUTADO SOBRE CIMENTO PORTLAND FOSFÁTICO, NA CONDIÇÃO "N"

ENSAIOS FÍSICOS - CIMENTO B

FINURA	DENSIDADE g/cm <sup>3</sup>	ÁGUA DE CONSISTÊNCIA PASTA		INÍCIO DE PEGA hs./min.	EXPANSÃO AUTOCÍVIA (%)	ÁGUA REQUERIDA (%)	EXPANSÃO DA ARGAMASSA (%)	REDUÇÃO DA EXPANSÃO (%)	RETRAÇÃO POR SECAÇÃO (%)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO								
		APARENTE	ABSOLUTA							GRAMAS	§	CONSIST. A/C	TENSÃO Kg/cm <sup>2</sup>					
PERDIDA AO FOGO (%) RTT. 200	PERDIDA 325 (%) RTT.	BLAINE cm/g								3	7	28	90	180				
MÉDIA 2,5	13,6	4,603	0,98	2,98	124	24,9	03:16	-0,022	102,1	0,008	92,1	0,094	0,48	198	262	390	490	518
C.V. 25,3	11,6	3,7	1,1	1,0	1,7	1,7	12,0	50,9	1,72	70,1	6,0	6,8	0,0	7,2	6,8	5,7	6,8	6,6

ENSAIOS QUÍMICOS - CIMENTO B

ANÁLISE QUÍMICA §											COMPOSTO §				
PERDIDA AO FOGO	INSÓLUTO	Si O <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca O	Mg O	S O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	EQUIV. ALC. EN Na <sub>2</sub> O	CAL. LIVRE EN Ca O	C <sub>1</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
MÉDIA 2,34	23,6	28,01	5,61	10,80	49,06	1,52	1,91	-	-	-	0,32	-	-	-	-
C.V. 11,2	6,3	3,22	10,0	6,6	2,6	18,2	6,1	-	-	-	53,8	-	-	-	-

C.V. = COEFICIENTE DE VARIAÇÃO.

FIGURA 07

VALORES DO CONTROLE NA OBRA - CESP [9], EXECUTADO SOBRE CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO, NA CONDIÇÃO "B"

## 6.2 - CONTROLE NA OBRA

Para avaliação final das características dos aglomerantes, são extraídas amostras nos canteiros de obra, compondo-se amostras periódicas que representam períodos de produção dos concretos.

Os resultados do controle dos Cimentos Portland Pozolânicos, utilizados pela CESP (9), são mencionados nas figuras 06 e 07.

Pelos valores obtidos, nota-se o cumprimento às exigências estabelecidas.

## 7 - CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS

Ao se trabalhar com concretos massa, é importante, além de se observar outras propriedades, ater-se ao aspecto de geração de calor pelo aglomerante, bem como pelo consumo de aglomerante. Ou seja, as dosagens são estabelecidas, de tal forma a se extrair do aglomerante, a máxima eficiência mecânica (quociente da resistência, pelo consumo de aglomerante) e a mínima evolução unitária de temperatura (Quociente da evolução adiabática de temperatura, em certa idade, pelo consumo de aglomerante).

O balanço desses dois parâmetros otimiza o concreto massa e minimiza os problemas de origem térmica.

### 7.1 - EFICIÊNCIA MECÂNICA

Os concretos produzidos nas obras da CESP apresentaram as seguintes eficiências mecânicas ( $\text{kgf/cm}^2/\text{kg/m}^3$ ):

Ø MÁX (mm)	EFICIÊNCIA MECÂNICA ( $\text{kgf/cm}^2/\text{kg (AGLOMERANTE)/m}^3$ )				
	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
19	0,70	1,09	1,36	1,51	1,51
38	0,60	0,98	1,26	1,34	1,46
76	0,64	1,08	1,44	1,55	-

Figura 08 - Eficiência mecânica - Obras CESP - (9)

### 7.2 - EVOLUÇÃO UNITÁRIA DE TEMPERATURA

A evolução unitária de temperatura foi obtida, pela divisão da Evolução adiabática da temperatura, em certa idade, pelo respectivo consumo de aglomerante, a partir de 7 (sete) ensaios (9) de elevação adiabática de temperatura, com teores de aglomerante entre  $155 \text{ kg/m}^3$  e  $95 \text{ kg/m}^3$

IDADES (DIAS)	2	3	5	10	15	20	25	28
EVOLUÇÃO UNITÁRIA DE TEMPERATURA ( $^{\circ}\text{C}/\text{kg}/\text{m}^3$ )	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16

Figura 09 - Evolução unitária de temperatura - concretos de obras da CESP - (9), com Cimento Portland Pozolânico

Pelos valores obtidos, pode-se observar que o desenvolvimento da temperatura, é lento, o que minimiza os problemas de tensões térmicas.

## 8 - COMENTÁRIOS

Observa-se, pelo consumo de valores, que o Cimento Portland Pozolânico, adequadamente controlado é uma opção técnica e econômica, disponível no mercado brasileiro.

## 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Relatório RC-09/77 - "Resumo dos Estudos e Dados Sobre Cinza Volante (Fly-Ash), com vistas a sua utilização na obra de Itaipu" - Itaipu Binacional - 1977.
- (2) Relatório RC-11/77 - "Resumo do Estudo Preliminar de Moagem de Aglomerantes" - Itaipu Binacional - 1977
- (3) Relatório RC-33/80 - "Relatório de Visita Técnica à Cia. de Cimento Itambe" - Itaipu Binacional - 1980
- (4) Relatório RC-48/80 - "Estudos de Reavaliação das Cinzas Volantes Influência da Finura, Porcentagem de Reposição e Moagem Conjunta" Itaipu Binacional - 1980
- (5) Andriolo, F.R - Scandiuzzi L. - "Materiais Pozolânicos - Usos e Benefícios" - Ibracon - 1981
- (6) Sgarboza, B.C. - "Alternativa de Fornecimento de Aglomerantes Compatíveis com a Necessidade de Combate à Reação Álcali-Agregado" - Relatório CESP - PP-TC-00/13/RT-0205
- (7) Oliveira, P.J.R. - Sales, F.M. - Saad, M.N.A - Mellios, G.A.- "Estudos de Cimentos Pozolânicos com Vistas a Utilização nas Obras do Pontal do Paranapanema" - Relatório CESP - C-20/82
- (9) Sgarboza, B.C. - Carvalho, P.A - Andrade, J.R.A - " A Influência do Uso de Cimentos Pozolânicos com Alto Teor de Cinzas e Alta Finura em Concretos, Principalmente no Combate a Reação Alcalis-Agregado" - XVI - Seminário Nacional de Grandes Barragens - Belo Horizonte - 1985
- (10) Portland Pozzolan Cement - Discussões com Prof. Roy W. Carlson - CESP.