

SEMINÁRIO "CESP CONTA SUA HISTÓRIA"

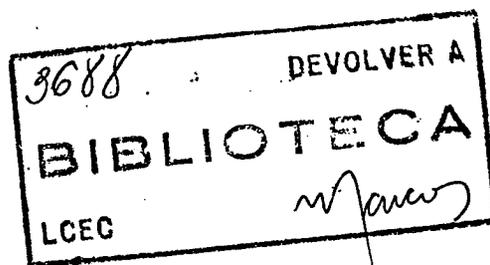
DEZEMBRO DE 1.985

MATERIAL POZOLÂNICO

A importância decisiva da CESP
no seu desenvolvimento e uso.

Bento Carlos SGARBOZA *

Francisco Rodrigues ANDRIOLO **



* Residência de Porto Primavera/Rosana

** Themag Engenharia

MATERIAL POZOLÂNICO

A importância decisiva da CESP no seu desenvolvimento e uso.

Bento Carlos SGARBOZA *
Francisco Rodrigues ANDRIOLO **

* Residência de Porto Primavera/Rosana
**Themag Engenharia

RESUMO

O presente trabalho pretende trazer à memória, principalmente dos técnicos mais novos da CESP, a posição de destaque que a Companhia tem ocupado no cenário de Tecnologia do Concreto no País.

A construção do Complexo Hidroelétrico de Urubupungá impôs o desenvolvimento da Tecnologia do Concreto e de técnicas de produção e construção no concreto, anteriormente não estabelecidas no Brasil.

Esse período, iniciado na década de 60, possibilitou e encorajou aos engenheiros e técnicos da Companhia o aprendizado e o domínio de técnicas que posteriormente foram divulgadas pelo País e nos dias atuais são de uso quase que rotineiro. A sensibilidade de pesquisa e preocupação tecnológica desenvolvida na aquele período formaram uma cultura na Empresa e foram aplicados nos aproveitamentos hidroelétricos posteriores e até nos dias atuais.

Este trabalho aborda especificamente, a tecnologia da fabricação e utilização de materiais pozolânicos nas obras da CESP, enfatizando a notável importância da Companhia no seu desenvolvimento e uso.

ÍNDICE

- 1 - A INFLUÊNCIA DA CESP NO AVANÇO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO NO BRASIL.
- 2 - O MATERIAL POZOLÂNICO E A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO.
- 3 - CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL POZOLÂNICO:
 - 3.1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS
 - 3.2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
- 4 - FABRICAÇÃO DO MATERIAL POZOLÂNICO EM JUPIÁ:
 - 4.1 - CRITÉRIOS PARA PESQUISA E CLASSIFICAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA.
 - 4.2 - FABRICAÇÃO
- 5 - INFLUÊNCIA DO MATERIAL POZOLÂNICO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO
- 6 - APLICAÇÃO DO MATERIAL POZOLÂNICO NAS OBRAS DA CESP
- 7 - NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA PARA MATERIAL POZOLÂNICO
- 8 - COMENTÁRIOS
- 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. - A INFLUÊNCIA DA CESP NO AVANÇO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO NO BRASIL

A construção das Usinas Hidroelétricas - Francisco L. de Souza Dias (Jupiá) e Ilha Solteira, bem como as posteriores, Água Vermelha, Capivara, Nova Avanhandava, Porto Primavera, Rosana, Taquaruçu e Três Irmãos, envolvendo em torno de 10.000.000 m³ de concreto induziu os dirigentes da CESP, à necessidade do desenvolvimento e domínio da Tecnologia do "CONCRETO MASSA".

Decorrente de um programa de aprendizado e pesquisas, várias tecnologias foram absorvidas e desenvolvidas. Assim é que a CESP, com a execução das suas obras, foi responsável pela introdução no Brasil de novidades e tecnologias dentre as quais podem ser citadas:

- Utilização de material pozolânico, para o combate à reação álcali-sílica dos agregados e para benefício das propriedades do concreto (JUPIÁ).
- Instalação de fábrica de material pozolânico e desenvolvimento da técnica de produção (JUPIÁ).
- Utilização de cimento de alta finura fabricado em instalações próprias (JUPIÁ):
- Utilização da técnica da armadura pré-montada (JUPIÁ).
- Utilização de pré-moldados em concreto para peças incorporadas à Barragem (JUPIÁ).
- Utilização de misturas de concreto massa com consumo de aglomerante inferior a 100 kg/m³ (ILHA SOLTEIRA - misturas com 86 kg/m³ e ÁGUA VERMELHA - misturas com 71 kg/m³ de cimento).
- Utilização intensa de emendas de barras de aço, por caldeamento topo a topo (ILHA SOLTEIRA).
- Uso de transporte de concreto por correia (ILHA SOLTEIRA).
- Implantação de laboratório com caráter de pesquisas e controle, com aparelhagem para estudos térmicos do concreto (ILHA SOLTEIRA).
- Produção e lançamento de concreto acima de 100.000 m³ por mês (ILHA SOLTEIRA).
- Instalação intensa e desenvolvimento de técnicas de fabricação de instrumentos de auscultação (ILHA SOLTEIRA).
- Utilização do concreto com agregado pré-colocado (ILHA SOLTEIRA).
- Uso de protensão de grande capacidade de carga - até 1.000 t (ILHA SOLTEIRA).
- Uso de caldas refrigeradas para injeção de protensão (ILHA SOLTEIRA).
- Uso da técnica de injeção a vácuo (ILHA SOLTEIRA).
- Uso do pré-resfriamento do concreto (protótipo JUPIÁ - definitivo ILHA SOLTEIRA).
- Processo de injeção em cabos protendidos utilizando-se o efeito chaminé e injeções complementares e suplementares (ÁGUA VERMELHA).

- Uso de cimento pozolânico com alta finura e alto teor de material pozolânico (PORTO PRIMAVERA/ROSANA).
- Aplicação de basalto desagregável (pesquisa - PORTO PRIMAVERA).
- Apoio nos sistemas de produção, transporte e lançamento de concreto, bem como em detalhes executivos de forma e armação.

Neste trabalho dar-se-á atenção ao uso de materiais pozolânicos no concreto e de sua fabricação em Jupiá.

Não se pode deixar de mencionar a perseverança e dedicação dos Eng^s José Florentino de Castro Sobrinho e Ademar Sonoda e do Técnico Clarindo Brandão no desenvolvimento e aplicação deste material dentro da Companhia.

2 - O MATERIAL POZOLÂNICO E A REAÇÃO ÂLCALI-AGREGADO

Este material foi utilizado pela primeira vez na cidade italiana de POZZUOLI no período do império romano [15]. Atualmente define-se como material pozolânico certos materiais silicosos ou sílico-aluminosos que por si só não possuem características de aglomerantes, porém quando finamente dividido e adicionado ao cimento reage com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, adquirindo propriedades de aglomerantes [1] [2].

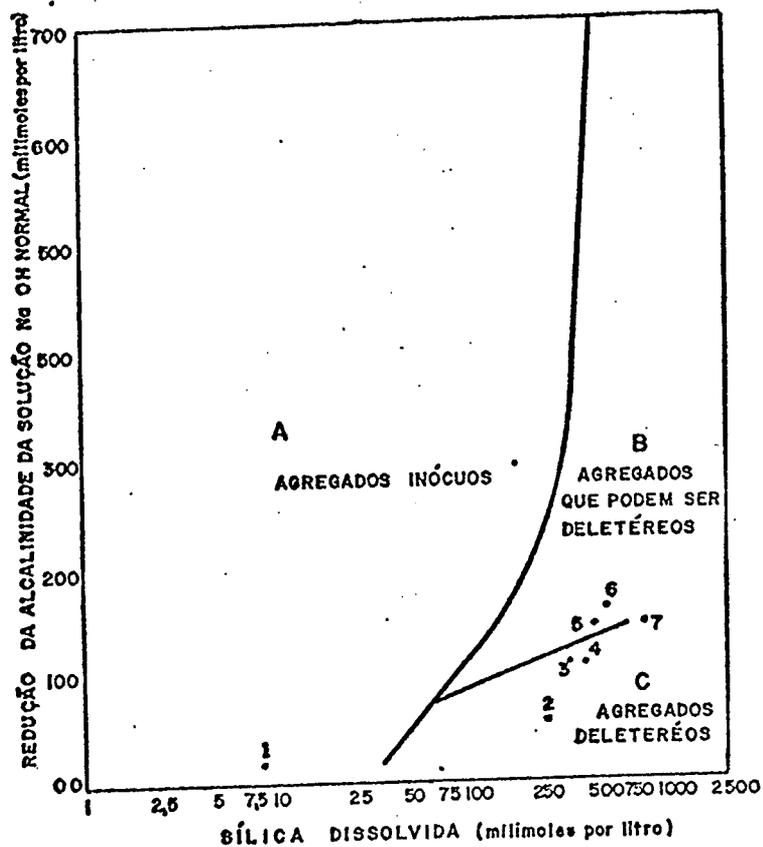
Existem materiais pozolânicos naturais como certas cinzas vulcânicas e terras diatomáceas, e artificiais como o subproduto da queima do carvão em Usinas Termelétricas conhecidas como cinzas volantes, "Fly Ash", e outros que necessitam de calcinação e moagem como as argilas cauliníticas. Atualmente está em início de desenvolvimento no Brasil a utilização de sub-produtos de fábricas de silício e ligas de ferro-silício denominada "micro-sílica" [3].

Na Usina de Jupiá utilizou-se como agregado a areia e cascalho dragados do rio Paraná. Durante os estudos de caracterização deste material verificou-se a existência de calcedônia e opala os quais podem apresentar reações deletérias no concreto. Isto foi confirmado por testes químicos, figura 1 [4], e testes físicos, figura 2 [4], e caracterizou como sendo a reação entre a sílica do agregado com os álcalis, sódio e potássio, existentes no cimento.

Esta reação conhecida como álcali-agregado, foi observada durante a década dos anos 30 e um dos primeiros registros foi feito por T.E. Stanton [5].

Segundo T.C. Powers [6] e H.H. Steinour [6] a reação ocorre com rochas amorfas ou que contêm constituintes amorfos. Estas rochas são caracterizadas por uma descontinuidade na estrutura atômica da sílica. Nestas condições há uma absorção química de água e que posteriormente dependendo da concentração de álcalis, será atacada por este elemento formando um complexo álcali-sílica. Este comple

o poderá ser inibido pelo complexo cal-álcali-silica, porém devido a dificuldade de difusão de cal e de sua própria quantidade, o complexo álcali-silica persiste.



- AGREGADO JUPIÁ
- 1- AREIA NATURAL
- 2- CASCALHO NATURAL (QUARTZITO)
- 3- " 10% CALCEDONIA
- 4- " 20% "
- 5- " 50% "
- 6- " 70% "
- 7- " 100% "

FIGURA 1 - ENSAIO REATIVIDADE POTENCIAL ASTM-C-289 METODO QUÍMICO

INCIDENCIA DE CALCEDONIA NO AGREGADO. %

- Δ 100 ▲ 20
- 50 ● 10
- 30 × 5

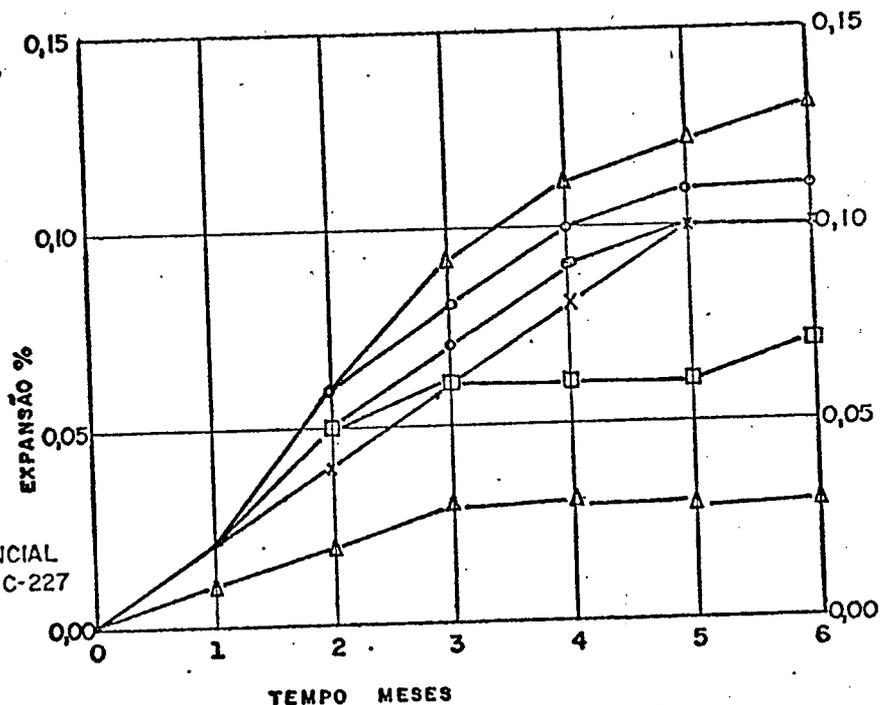


FIGURA 2 - REATIVIDADE POTENCIAL DO AGREGADO-ASTM-C-227 JUPIÁ (4)

Quando este complexo embebe água, pode ocorrer expansões perigosas à estrutura. As causas da expansão podem ser devido a pressão de inchamento ou pressão osmótica (hidráulica), porém as duas são fundamentalmente semelhantes.

Para se evitar a reação a primeira possibilidade é de se utilizar um cimento que não possua álcalis ou que pelo menos esteja dentro de certos limites considerados seguros.

Quando um agregado contém mineral reativo e é utilizada uma quantidade de álcalis mais do que a tolerada, a expansão pode ser prevenida usando uma quantidade apropriada de mineral reativo pulverizado mostrado por Hanna [8] e Stanton [7]. Um exemplo é mostrado na figura 3 [14], a qual apresenta resultados de ensaios para se verificar qual a quantidade mínima de pozolana de JUPIÁ que deveria ser utilizada nos concretos aplicados na soleira do vertedouro de Água Vermelha, de tal forma que a reação álcali-agregado fosse evitada. Neste estudo, como mostrado na figura 3, utilizou-se como agregado o vidro pirex, considerado de alta reatividade e vários cimentos com alto teor de álcalis.

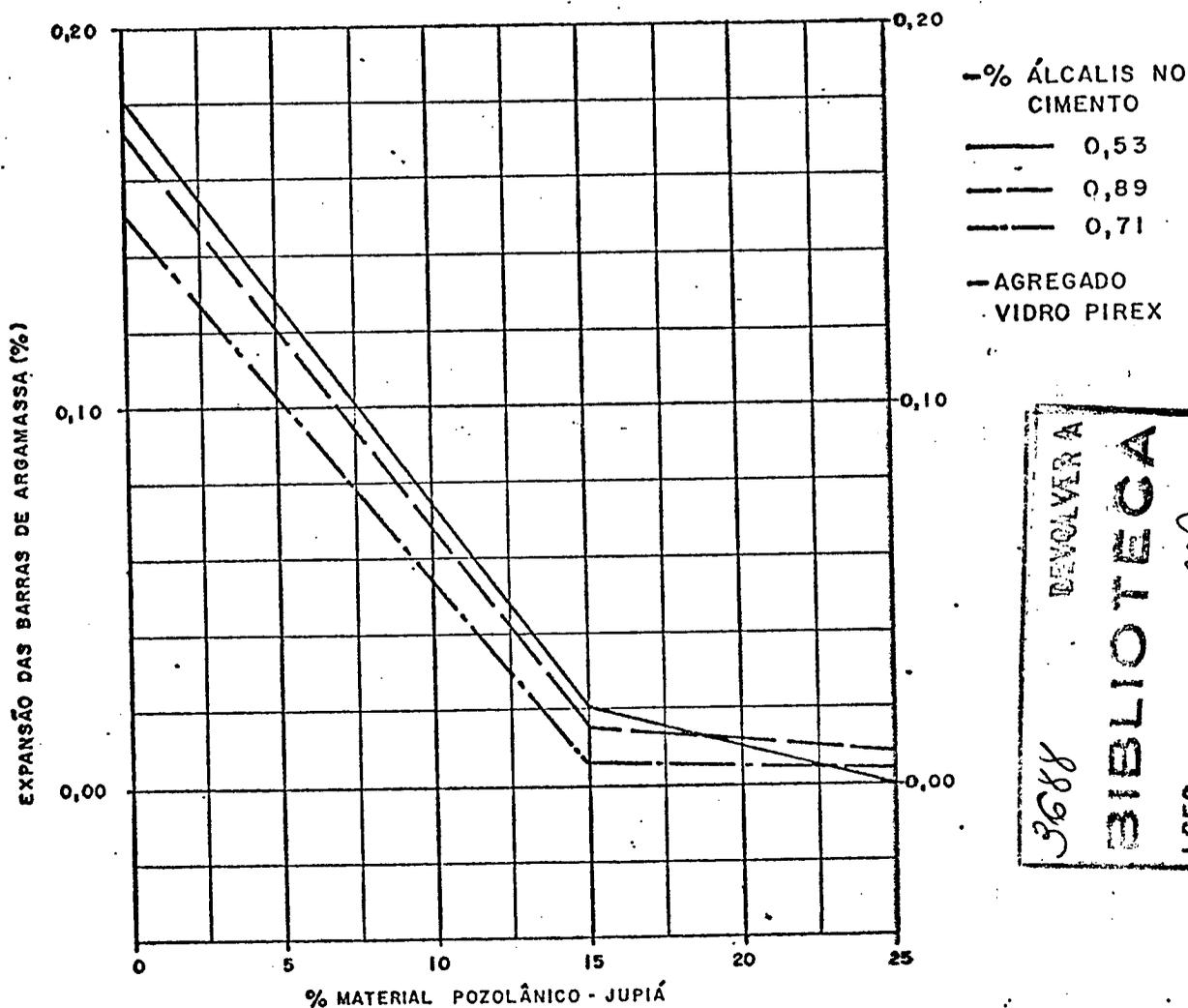
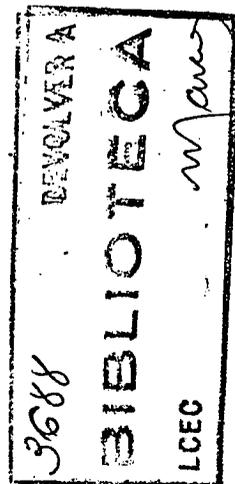


FIGURA 3- ENSAIO PARA DETERMINAR A APTIDÃO DE MATERIAIS POZOLÂNICOS EM EVITAR A REAÇÃO ÁLCALI AGREGADO - POZOLANA JUPIÁ - ASTM C-311 [14]



Por este exemplo pode-se observar a eficiência de materiais pozolânicos em prevenir a reação expansiva entre a sílica do agregado com cimento de alta alcalinidade. Quando se adiciona um mineral reativo pulverizado se está, deste modo, expondo uma área com superfície específica em adição àquela do agregado grão já existente. Para uma dada concentração de álcalis, é reduzida a penetração das partículas de agregado grão. Se a quantidade de partículas finas é adequada a concentração de álcalis será reduzida de tal forma que a reação com agregado grão pode ser realizada dentro de limites seguros [6] .

Na obra de Jupiá inicialmente foi utilizado cimento de baixo álcalis para o combate à reação. Posteriormente devido a dificuldade de se obter cimento de baixo álcalis, resolveu-se utilizar material pozolânico. Inicialmente foi utilizado cinzas volantes. Posteriormente, devido não se dispor de cinzas volantes que atendessem os requisitos especificados e com a descoberta de jazidas de matéria prima para produção de pozolana, nas proximidades do canteiro de obras, resolveu-se montar uma fábrica para beneficiamento deste material.

3 - CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL POZOLÂNICO

A figura 4 mostra os limites característicos do material pozolânico utilizado em algumas das obras da CESP, os quais em resumo representam o seguinte:

3.1 - Características químicas

- Umidade - adotado um máximo de 3%.
- Perda ao fogo - serve como indicativo da performance da calcinação, normalmente estabelecido no máximo de 10 a 12%.
- Teor de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ - A soma destes elementos normalmente é fixada no mínimo de 70%. Observou-se, entretanto, que maiores quantidades são desejáveis, enquanto que teores de Fe_2O_3 acima de 4 a 5% podem trazer problemas de moagem e teores elevados de Al_2O_3 podem induzir expansões.
- Teor de MgO - elevados teores podem acarretar expansões. Normalmente limitado no máximo de 5%.
- Teor de SO_3 - normalmente limitado a 3%.
- Teor de equivalente alcalino em Na_2O - deve ser limitado a fim de não elevar o teor de álcalis no concreto. Normalmente limitado em 1,5%.

3.2 - Características físicas.

- Resíduo retido na peneira - 325. Este índice deve ser analisado em conjunto com a superfície específica para se avaliar a uniformidade da granulometria do material. Normalmente limitado em 12%

REQUISITOS FÍSICOS-QUÍMICOS	LIMITE	UNIDADE	JUPIA'		ILHA SOLTEIRA	ÁGUA VERMELHA	PRIMAVERA, ROSANA
			ARGILA	CINZA VOLANTE			
DIÂMETRO MÉDIO DAS PARTÍCULAS	MÁX.	MICRON	9,0	9,0	9,0	-	9,0
RESÍDUO RETIDO NA PENEIRA 325	MÁX.	%	12,0	-	12	12	-
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA-BLAINE-ARGILA CAULINÍTICA	MÍN.	cm ² /g	-	-	-	6200/9000	6.200
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA-BLAINE-CINZAS VOLANTES	MÍN.	cm ² /g	-	-	-	-	4.000
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA-BLAINE-DIATOMITO	MÍN.	cm ² /g	-	-	-	-	10.000
EXPANSÃO EM AUTO-CLAVE	MÁX.	%	0,5	0,5	0,5	0,8	0,5
REATIVIDADE COM ALCALIS DO CIMENTO:							
- REDUÇÃO DA EXPANSÃO AOS 14 DIAS	MÍN.	%	75	-	75	75	75
- EXPANSÃO DA ARGAMASSA AOS 14 DIAS	MÁX.	%	0,020	0,02	0,02	0,02	0,02
ÍNDICE DE ATIVIDADE COM CIMENTO - 28 DIAS	MÍN.	%	75	85	75	75	75
ÍNDICE DE ATIVIDADE COM CAL - 7 DIAS	MÍN.	kg/cm ²	56	56	63	56	56
ÁGUA REQUERIDA - EM RELAÇÃO AO CONTROLE	MÁX.	%	115	105	115	110	110
RETRAÇÃO POR SECAGEM DE BARRAS DE ARGAMASSA-28 DIAS	MÁX.	%	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
UMIDADE	MÁX.	%	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
PERDA AO FOGO	MÁX.	%	10,0	12,0	10,0	10,0	10,0
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	MÍN.	%	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
ÓXIDO DE MAGNÉSIO MgO	MÁX.	%	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
ANIDRIDO SULFÚRICO - SO ₃	MÁX.	%	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
EQUIVALENTE ALCALINO EM Na ₂ O	MÁX.	%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
VARIACÃO DA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA EM RELAÇÃO A MÉDIA	MÁX.	%	-	-	-	15	-

FIGURA 4 - ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAL POZOLÂNICO

* MÍN/MÁX

- Superfície específica - Esta característica é medida por meios indiretos e o mais comum é o aparelho de Blaine. A atividade pozolânica do material depende diretamente de sua finura. Os limites variam para cada tipo de material, sendo usual que valores acima de 6.200 cm²/g para material pozolânico de argila caulinítica, 4.000 cm²/g para cinzas volantes e 10.000 cm²/g para diatomitos, apresentem atividades satisfatórias.
- Expansão em auto-clave - Este ensaio nos indica a capacidade do material em evitar reações devido ao alto teor de óxido de magnésio. Normalmente adotado 0,5% como máximo.
- Reatividade com álcalis do cimento - Redução da expansão aos 14 dias. Este ensaio nos permite avaliar de forma acelerada a capacidade do material pozolânico em prevenir a reação entre um cimento de alto álcalis e um agregado reativo composto de sílica. Normalmente são aceitos como ativos materiais que reduzem as expansões em 75%, ou mais.
- Reatividade com álcalis do cimento - Expansão da argamassa aos 14 dias. Este ensaio complementa o anterior, onde em lugar de um cimento de alto teor de álcalis é testado o cimento que será utilizado na obra. A expansão máxima recomendada é de 0,02%.
- Índice de atividade com cimento - Este ensaio mede o índice de redução na resistência devido a introdução de material pozolânico na mistura. São considerados ativos materiais que apresentam reduções menores que 25%.
- Índice de atividade com cal - 7 dias - Este índice complementa o anterior em termos de atividade com cal pura. São considerados ativos materiais que apresentam resistência acima de 63 kg/cm².
- Água requerida - Este índice mede a quantidade de água adicional que a introdução de material pozolânico acarreta a uma mistura. Aceita-se adições entre 10 a 15%.
- Retração por secagem - A introdução de material pozolânico pode aumentar a retração por secagem das misturas. Este ensaio fornece um índice que normalmente é limitado em 0,03%.

4 - FABRICAÇÃO DO MATERIAL POZOLÂNICO EM JUPIÁ

A principal fonte de matéria prima era jazidas de argila caulinítica, a qual naturalmente não tinha característica pozolânica, mas que após a calcinação e moagem adquiria uma notável atividade pozolânica. Esporadicamente eram utilizados diatomitos como matéria prima.

4.1 - Critérios para pesquisa e classificação de matéria prima.

Para se classificar uma jazida como promissora como matéria prima para produção de materiais pozolânicos normalmente se utiliza o seguinte critério: Inicialmente é feita uma análise química do material e em seguida são feitos ensaios de peneiramento na peneira nº 270 (0,053 mm). Materiais com mais de 70% da soma dos óxidos de sílica, alumínio e ferro e com mais de 80% passando na peneira nº 270, provavelmente após a calcinação resultará em pozolanas ativas.

Posteriormente a estes testes preliminares deve ser produzido material pozolânico em laboratório para se testar suas características físicas e químicas. A faixa de temperatura para calcinação deve ser definida com base na análise térmica diferencial, figura 5, e a finura ótima deve ser definida através de estudos de finura variável [9] .

Uma tonelada de argila no caminhão fornecerá 0,6 t de pozolana pronta.

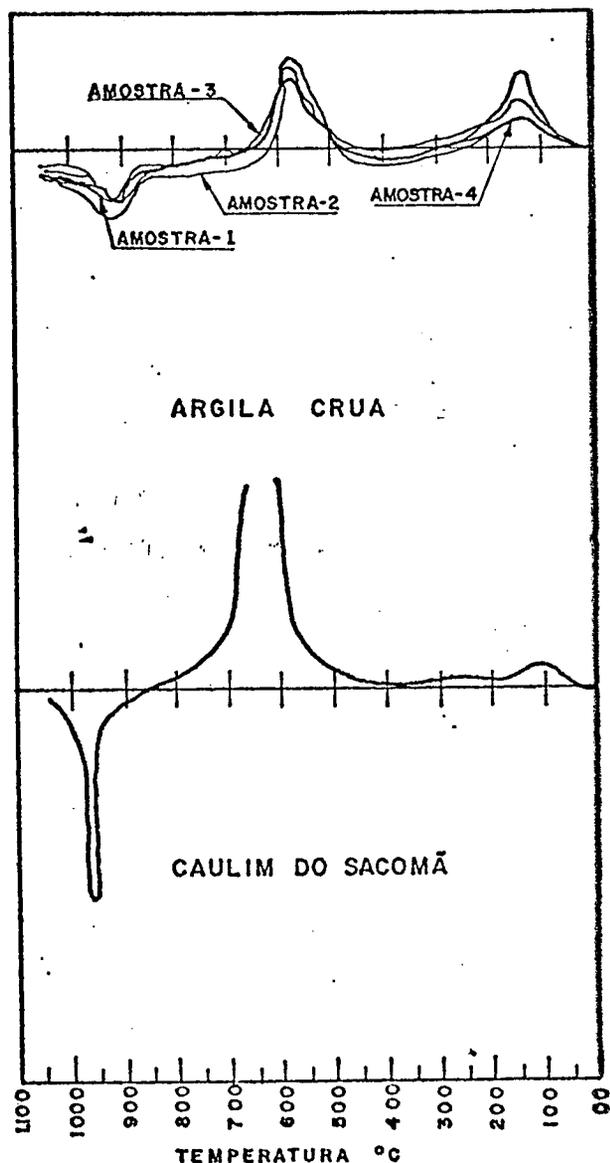


FIGURA 5 - ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL MATERIAL DE JUPIÁ

4.2 - Fabricação

A fábrica de pozolana de Jupiã, foi operada pela CESP desde sua implantação em 1963 até meados de 1973, quando a CESP vendeu-a ao grupo Itaú-Corumbá. A partir dessa época a CESP passou a controlar apenas a qualidade da pozolana produzida para suas obras.

Atualmente esta fábrica, que foi a primeira e única no país, está desativada. Para a produção de material pozolânico, a argila, após sua extração era estocada em pátio próximo a fábrica onde era submetida a uma secagem ao sol e posteriormente recolhida em barracão coberto. A fabricação iniciava-se com a homogeneização e quebra do material através de rolos dentados e laminadores, como mostra a figura 6 [10].

Nestas condições a argila sofria uma segunda secagem através da passagem em uma galeria, sobre uma esteira de aço inoxidável. Essa secagem era feita a uma temperatura de 200 °C conseguida pela circulação dos gases de tiragem do forno através da referida galeria.

Em seguida o material era introduzido no forno para calcinação. O forno era rotativo, tendo 2,5 m de diâmetro e 37 m de comprimento, girando a uma velocidade entre 40 a 45 RPM. A temperatura de calcinação estava em torno de 750 °C, medida no cadinho, e que ocorria na terça parte da saída do forno. O óleo usado era o "Bunker Oil" e o consumo variava de 70 a 90 kg de óleo por tonelada de pozolana.

Após a calcinação o produto era resfriado bruscamente em um resfriador a ar. Esse resfriamento impedia a recristalização do material que reduziria sua eficiência como material pozolânico.

A última fase era a moagem do produto, que era feita por moinho de bolas. Esse moinho era de circuito fechado. Inserido neste circuito havia um separador de grãos, a ar, cuja função era de fazer uma separação granulométrica dos grãos e através do qual se conseguia reter as partículas grossas, encaminhando-as de volta ao moinho, e deixar passar as partículas mais finas, dentro da finura desejada, que eram encaminhadas para o estoque do produto final.

Inicialmente o material era produzido com uma finura em torno de 6.000 m²/g.

Em 1969 através de estudos de finura variável 11, figura 7, verificou-se que este tipo de material apresenta uma finura ótima em torno de 8.500 cm²/g.

Para se conseguir esta elevada finura foi necessário a troca dos separadores a ar, passando a se utilizar o separador tipo Raymond, e para que as produções fossem mantidas de acordo com os níveis de demanda foi necessário a instalação de mais um sistema de moagem, moinho nº 3, que foi montado em abril/1971.

Assim a fábrica possuía dois moinhos:

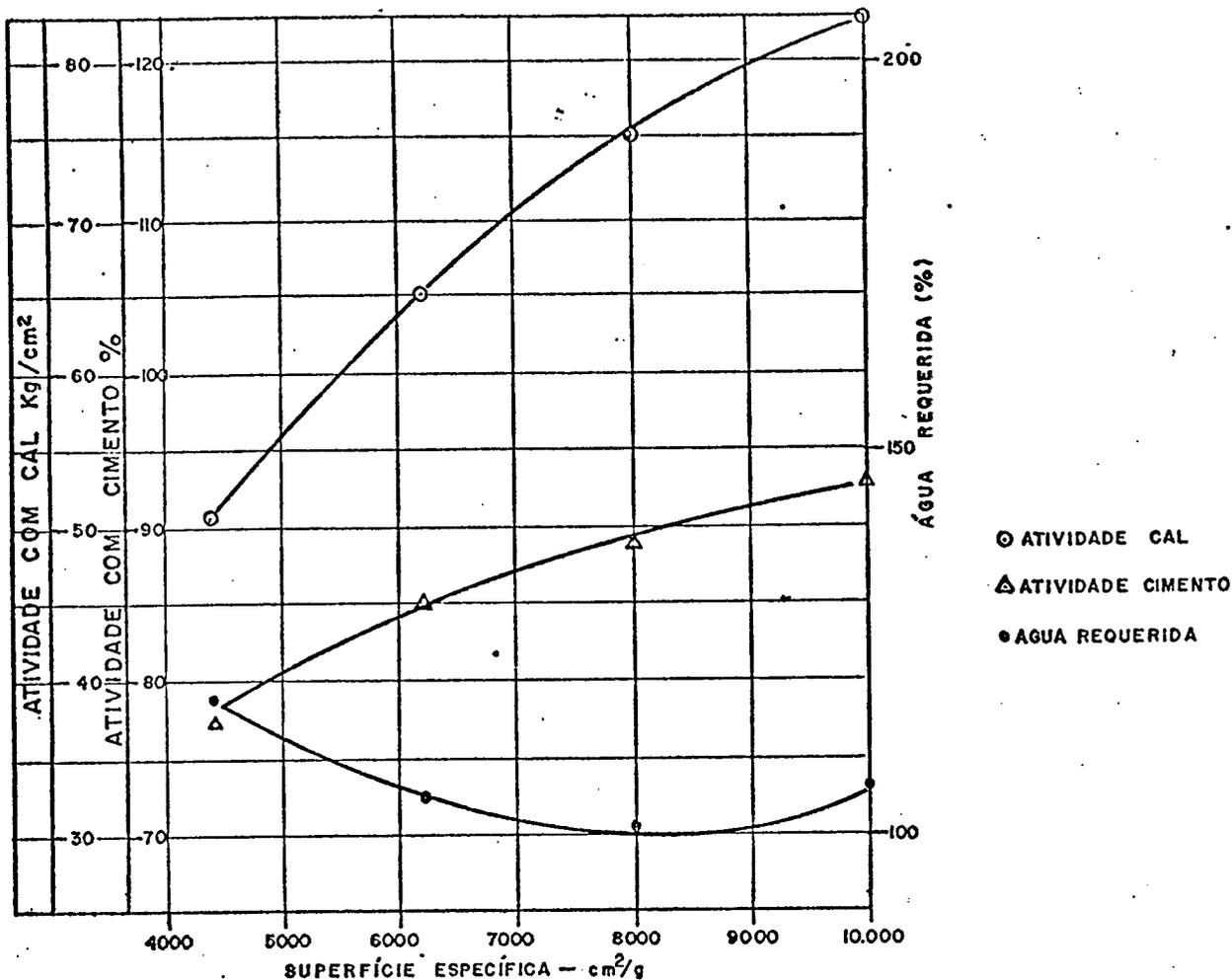


FIGURA 7 — INFLUENCIA DA FINURA NA ATIVIDADE DO MATERIAL POZOLANICO — JUPIÁ (11)

- Um moinho nº 2, exclusivo para moagem de pozzolana, produção entre 7,5 a 10 t/h [10].

- Um moinho nº 3, para moagem de pozzolana ou clinker para cimento, produção ao redor de 17 t/h [10].

Havia um terceiro moinho, nº 1, para moagem apenas de clinker para cimento, com produção ao redor de 20 t/h.

5 - INFLUÊNCIA DO MATERIAL POZOLÂNICO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.

De uma maneira geral a introdução de material prozolânico, de qualidade adequada, no concreto é vantajosa, principalmente no concreto massa.

As principais vantagens são as seguintes:

- Aumenta a resistência do concreto contra ataques químicos de agentes agressivos.

- Reduz expansões causadas pela reação álcali-agregado.

- Reduz expansões causadas pela reação do óxido de magnésio - Mg.O.
- Diminui a exudação, "Bleeding".
- Torna o concreto mais impermeável, e portanto mais durável.
- Reduz a elevação adiabática da temperatura do concreto, o que é de grande interesse para o concreto massa.
- Reduz a velocidade da reação de hidratação do cimento, porém em idade avançada apresentam resistência igual ou até mesmo superior em concreto massa, o que é de interesse em obras de hidrelétricas onde as estruturas são carregadas em idades avançadas.

Economicamente sua aplicação é vantajosa pois normalmente apresenta um custo menor que o cimento. Em Jupiá o custo do material pozolânico era em torno de 40% do custo do cimento.

Tecnicamente são apresentadas algumas desvantagens, destacando-se:

- Dificuldade na incorporação de ar.
- Aumento da quantidade de água para se obter a mesma trabalhabilidade no concreto.
- Aumento da retração por secagem.
- Redução da resistência em idades iniciais.

6 - A APLICAÇÃO DE MATERIAL POZOLÂNICO NAS OBRAS DA CESP.

Durante o período de 1962 a 1979 foi aplicado, nas obras da CESP, material pozolânico proveniente da calcinação e moagem de argilas caulínicas produzidas nas instalações de Jupiá. Excepcionalmente foi utilizado material pozolânico a partir de diatomitos.

A figura 8 mostra as aplicações de material pozolânico a partir de argila caulínica nas obras da CESP

NOME	CONSTRUÇÃO	VOLUME CONCRETO (M ³)	TOTAL DE POZO LANA (TON)	QUANTIDADE DE POZO LANA POR M ³ DE CONCRETO (KG)
JUPIÁ	1962-1969	1.600.000	44.000	27
ILHA SOLTEIRA	1968-1978	3.750.000	148.000	40
CAPIVARA	1970-1975	680.000	12.000	17
ÁGUA VERMELHA	1973-1979	1.560.000	65.000	40

Figura 8 - Material pozolânico - argila caulínica.

Após Água Vermelha as instalações de Jupia foram desativadas e portanto para as obras seguintes outras soluções tiveram que ser adotadas quanto a utilização de material pozolânico.

Entre as obras posteriores: Nova Avanhandava, Três Irmãos, Taquaruçu, Rosana e Porto Primavera, nas duas primeiras utilizou-se ou está em utilização cinzas volantes tal qual ela sai das usinas termelétricas. Para as obras de Taquaruçu, Rosana e Porto Primavera, devido as características potencialmente reativas dos agregados propostos para o uso, as cinzas volantes, único material disponível no mercado, tal qual elas saíam das usinas termelétricas não eram suficientemente ativas para combater a reação álcali-agregado.

Da mesma forma o cimento pozolânico comercial também não apresentava atividade suficiente. Após a análise de várias alternativas técnicas-econômicas, entre as quais citamos: uso de cinza volante com finura compatível, uso de cimento comum de baixo álcalis e uso de cimento pozolânico adequado, optou-se por esta última alternativa.

Novamente a CESP esteve à frente da necessidade de se dar um avanço na tecnologia no Brasil, no caso a fabricação de cimentos pozolânicos adequados ao combate à reação álcali-agregado.

Para tanto a CESP desenvolveu pesquisas, tanto de laboratório, como de fabricação, chegando à conclusão da necessidade de se utilizar, dependendo do teor de álcalis no cimento, de 25 a 35% de material pozolânico no cimento e ter uma finura variando de 4.000 a 5.000 cm^2/g [12]. A figura 9 [12] apresenta os limites estabelecidos para este tipo de cimento.

7 - NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA PARA MATERIAL POZOLÂNICO

Até a presente data não temos na ABNT uma normatização deste material. Atualmente existem comissões de estudos, coordenadas pelo Comitê Brasileiro - CB-18 da ABNT, elaborando e discutindo textos base para normatização de métodos e especificações, entre os quais citamos as referências [13] e [14].

8 - COMENTÁRIOS

É importante observar a preocupação técnica e importância da CESP nesse desenvolvimento tecnológico, desde sua criação até nos dias atuais.

Isto, além de melhorar a qualidade técnica das estruturas de concreto e possíveis reduções de custo de suas obras, tem contribuído decisivamente no estabelecimento de "know-how" brasileiro nesta matéria.

REQUISITOS FÍSICOS - QUÍMICOS		LIMITE	UNIDADE	PORTO PRIMAVERA, ROSANA E TAQUARUÇU	
				FLY-ASH "A" * CONDICAO "A"	FLY-ASH "B" * CONDICAO "B"
TIPO DE MATERIAL POZOLÂNICO					
EQUIVALENTE ALCALINO EM Na ₂ O (NO CLINQUER)		MÁX.	%	0,35	0,65
TEOR DE MATERIAIS POZOLÂNICOS - EM PÊSO		MÍN.	%	25	35
TEOR DE MATERIAIS POZOLÂNICOS + EM PÊSO		MÁX.	%	-	-
FINURA BLAINE		MÍN.	cm ² /g	4.000	5.000
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA FINURA BLAINE		MÁX.	%	10	10
ANIDRIDO SULFÚRICO - SO ₃		MÁX.	%	4,0	4,0
PERDA AO FOGO		MÁX.	%	4,0	4,0
EXPANSÃO EM AUTO-CLAVE		MÁX.	%	0,50	0,50
TEMPO DE INÍCIO DE PEGA		MÍN.	horas	1,0	1,0
TEMPO DE FIM DE PEGA		MÁX.	horas	10,0	10,0
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AOS 3 DIAS		MÍN.	kg/cm ²	80	80
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AOS 7 DIAS		MÍN.	kg/cm ²	150	150
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AOS 28 DIAS		MÍN.	kg/cm ²	250	250
CALOR DE HIDRATAÇÃO AOS 7 DIAS		MÁX.	cal/g	60	60
CALOR DE HIDRATAÇÃO AOS 28 DIAS		MÁX.	cal/g	70	70
RETRAÇÃO POR SECAGEM		MÁX.	%	0,15	0,15
REATIVIDADE COM ÁLCALIS - EXPANSÃO DA ARGAMASSA AOS 14 DIAS		MÁX.	%	0,02	0,02
ÁGUA REQUERIDA - % EM RELAÇÃO AO CONTROLE		MÁX.	%	105	105
FINURA DA PENEIRA		MÁX.	%	20	20

FIGURA 9 - ESPECIFICAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO [12]

* - FLY-ASH PROVENIENTE DE RESÍDUO DE USINA TERMOELÉTRICA OU DE JAZIDAS DE CARVÃO MINERAL.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Indicadas no texto como []

- 1 ASTM ANUAL BOOK OF ASTM STANDARDS.
- 2 HANDBOOK FOR CONCRETE AND CEMENT.
CORPS OF ENGINEERS U.S. ARMY.
- 3 ELKEM MICROSÍLICA - SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA.
SET/84 - SÃO PAULO
- 4 PAULON, V.A. - REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM CONCRETOS - USP - JULHO/77.
- 5 STANTON, T.E. - "INFLUENCE OF CEMENT AND AGREGATE ON CONCRETE EXPANSION", EN
GINEERING NEWS RECORD, V. 124, 1940, pp. 171-173
- 6 POWERS, T.C. AND STEINOUR, H.H. - AN INTERPRETATION OF SOME PUBLISHED RESEAR
CHES ON THE ALKALI-AGREGATE REACTION - PART 1 - "THE CHEMICAL REACTIONS
AND MECHANISM OF EXPANSION" - PART 2 - A HYPOTHESIS CONCERNING SAFE AND
UNSAFE REACTIONS WITH RELATIVE SILICA IN CONCRETE.
- 7 STANTON, T.E. - "STUDIES OF USE OF POZZOLANS FOR COUNTERACTING EXCESSIVE
CONCRETE EXPANSION RESULTING FROM REACTION BETWEEN AGREGATE AND ALKALI IN
CEMENT". SYMPOSIUM ON USE OF POZZOLANIC MATERIALS IN MORTARS AND CONCRETE
- 1950.
- 8 HANNA, W.C. - "UNFAVORABLE CHEMICAL REACTIONS OF AGREGATES IN CONCRETE AND
A SUGGESTED CORRECTIVE", PROCEEDINGS, ASTM - 1947.
- 9 SGARBOZA, B.C. - ESTUDO DE FABRICAÇÃO DE POZOLANAS - RELATÓRIO C-14/71, E OU
TROS - LABORATÓRIO DE ILHA SOLTEIRA - CESP - 1971.
- 10 ANDRIOLO, F.R. - A UTILIZAÇÃO DA POZOLANA NA CONSTRUÇÃO DO CONJUNTO HIDROELE
TRICO DE URUBUPUNGÁ.
- 11 FLORENTINO, J.F.C.S., - CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS SOBRE A FINURA DO CIMENTO
E POZOLANA DE JUPIÁ - RELATÓRIO C-09/69 - LABORATÓRIO ILHA SOLTEIRA - CESP
1969.
- 12 SAAD, M.N. e SGARBOZA, B.C. - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA CIMENTO POZOLÂNICO
CO - CESP - 1982.
- 13 SGARBOZA, B.C. - TEXTO BASE DE MÉTODO - "DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE MATE
RIAS POZOLÂNICOS EM EVITAR A EXPANSÃO DO CONCRETO DEVIDO A REAÇÃO ÁLCA
LI-AGREGADO" - CE-18:1.17 ABNT - 1982.
- 14 SGARBOZA, B.C. - TEXTO BASE DE MÉTODO - "DETERMINAÇÃO DO AUMENTO DA RETRAÇ
ÃO POR SECAGEM DEVIDO A UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS POZOLÂNICOS - CE-18:1.16-
ABNT - 1982.
- 15 CARLSON, R.W., DAVIS, E.R., KELLY, J.W., AND TROXELL, G.E. - PROPERTIES OF
MORTARS AND CONCRETES CONTAINING HIGH-SÍLICA CEMENTS.