

**FEDERACION IBEROAMERICANA DE HORMIGON PREMEZCLADO  
X CONGRESO IBEROAMERICANO DEL HORMIGÓN PREMEZCLADO**

**Quito - Ecuador  
Mayo 28 al 31 de 1996**

**El Uso de Materiales de Rejecto en el Hormigón**

Francisco Rodrigues Andriolo

Ingeniero Asesor

Andriolo Ito Engenharia S/C Ltda

Rua Cristalândia no. 181 - São Paulo - Brasil - CEP- 05465-000- Tel-++55 11- 260 5613 Fx-++55 11- 260 7069

**RESUMEN**

En esta ponencia se presentan datos de ensayos obtenidos sobre mezclas de Hormigones ( Convencional y Rodillado) dosificadas con la inclusión de cantidades de finos de Polvo de Trituración, tradicionalmente no permitido en Especificaciones Técnicas.

Los datos de laboratorio sobre el comportamiento de ese material han posibilitado la adopción en las mezclas de hormigón

La utilización de mezclas con Polvo de Trituración en lleno de prueba ha posibilitado evaluar con exactitud las ventajas de ese material.

Desde esas indicaciones técnicas se buscó una adecuación de equipos para la obtención de arena triturada con larga cantidad de finos.

Los estudios desarrollados en distintos laboratorios brasileños demuestran las ventajas de ese material en reducir las expansiones decurrientes de la Reacción Alcalis - Sílice.

Se presentan datos de ensayos de sobre barras de mortero con varios contenidos de ese material en combinación con cementos de alto contenido de álcalis.

**ABSTRACT**

In this report the test data is presented which was obtained in the concrete (Conventional and RCC) design mixes with the inclusion of the quantities of Crushed Powder filler. The laboratory data on the behavior of this material makes its adoption in the mixes possible.

The use of mixes with Crushed Powder filler in the test fill makes it possible to accurately evaluate the advantages of this material.

Based on these technical indications, equipment suitable for obtaining crushed sand with a large volume of filler was sought

The data from the study of mixes with the use of Crushed Powder Filler from basaltic rocks are presented. The studies carried out in various Brazilian laboratories, demonstrate the advantages of this material in reducing expansion resulting from the Alkali-Silica Reaction. The test data on the mortar bars are presented with various contents of this material in combination with high alkali cement contents.

## **1- INTRODUÇÃO**

A utilização de granulometria contínua para o RCC, com base em uma curva do tipo cúbica, considera uma apreciável quantidade de finos inferiores a 0,075mm, para a adequada coesividade da mistura.

Esses finos podem ser de diversos tipos: Fly Ash, Escória de Alto Forno, Pozolanas Naturais ou Calcinadas, Silte e também o "Pó de Pedra" sub produto da britagem de rocha, no processo de produção e beneficiamento de agregados.

A utilização desse "Pó de Pedra" - finos inferiores a 0,075mm, na composição do RCC, tem mostrado vantagens consideráveis, quer na melhoria da coesão da mistura em seu estado fresco, na redução da permeabilidade e na melhoria da resistência, bem como na redução das expansões decorrentes das reações com os álcalis do cimento como se vê a seguir.

## **2- DESENVOLVIMENTO**

Na região sudeste - sul do Brasil, os recursos de areia natural tornam-se escassos, junto a bacia do Rio Paraná. Essa situação obriga, via de regra, à produção de areia artificial pela britagem de rochas, normalmente basálticas.

Assim é que barragens como Itaipu (13.000.000m<sup>3</sup> de concreto), Salto Santiago ( 480.000m<sup>3</sup>), Salto Osório ( 472.000m<sup>3</sup>), Foz do Areia ( 600.000m<sup>3</sup>), São Simão ( 1.600.000m<sup>3</sup>), entre outras, empregaram grande quantidade de areia artificial na produção dos concretos.

No transcorrer da construção da barragem de Itaipu, notou-se que em cada uma das linhas de britagem ( 1800t/h cada) havia um rejeito junto a lavagem da areia artificial ( produzida por rebitadores tipo Very Fine Crusher e Hydrofine) de cerca de 10t/h a 15t/h de material. A observação visual desse rejeito não acusava nenhum material coesivo ou, preliminarmente, prejudicial, visto que o rejeito decorria da ação dos tanques classificadores e parafusos

desidratadores, não havendo argila ou outro material no circuito anterior à produção da areia artificial. Por outro lado seguia-se às Especificações Técnicas quanto à limitação máxima de materiais inferiores a 0,075mm, para os concretos convencionais.

Essa situação motivou a avaliação desse rejeito, para a incorporação nos concretos convencionais-CVC e RCC, como descreve a referência [1]. Contemporaneamente, na construção da Barragem de Urugua-i (Argentina), em RCC, a utilização de uma curva granulométrica próxima a do tipo cúbica, para a composição dos agregados ( basálticos), fez necessário a incorporação de uma certa quantidade de finos. Como parte dos estudos das misturas para a obra de Urugua-i, se realizava no Laboratório de Itaipu, sugeriu-se a incorporação do “Pó de Pedra” do basalto à mistura, o que se adotou [2].

Nessa oportunidade, se notavam as melhorias físicas das propriedades, porém sem se caracterizar físico-quimicamente a ação dos finos do “Pó de Pedra”.

No transcorrer dos estudos para a construção da Barragem de Capanda, a **Construtora Norberto Odebrecht** e este assessor, em conjunto com o Laboratório de Itaipu, e o Eng. Albert Ossipov (do Scientific Research Centre Hydroproject Institute de Moscow), aprofundaram estudos [3 e 4] com intuito de se caracterizar a Atividade do Pó de Pedra, na fixação do Hidróxido de Cálcio, liberado na hidratação do cimento. Essa ação assemelha-se a uma Atividade com Cimento e com Cal, normalmente observada na caracterização de Materiais Pozolânicos.

Desses estudos decorreu a implantação da metodologia de Fixação de Cal em Areias, em alguns Laboratórios no Brasil [3, 5 a 7], bem como a utilização do “Pó de Pedra” no RCC, na construção de Capanda [3 e 4].

A construção da Barragem da Derivação do Rio Jordão, em RCC, com agregados basálticos, compostos com base em uma curva granulométrica tipo cúbica, para  $D_{max}=50mm$ , com a minimização do teor de cimento, bem como antevendo a execução da Barragem de Salto Caxias, motivou a COPEL a desenvolver um amplo estudo sobre a aplicação do “Pó de Pedra”, que se descreve à frente.

### **3- EQUIPAMENTOS**

A produção de areia artificial pode ser obtida pela britagem de rochas através do emprego de britadores especiais para finos, tipo “Impactor”, ou “Hydrofine” ou tipo “ VFC-Very Fine Crusher”.

Para a construção da obra da Derivação do Rio Jordão, o Empreiteiro optou pelo emprego de Britadores VFC e Barmac.

### **4- CONCEITUAÇÃO E CARACTERÍSTICAS**

#### **4.1- Características dos Materiais**

- Cimento - De acordo com NBR-ABNT ( normas Brasileiras)
- Fly Ash - Cinzas Volantes disponíveis nas Termoelétricas no Sul do Brasil.
- "Pó de Pedra"
- 

#### 4.2- Granulometria

Os benefícios do uso de finos (material inferior a 0,075mm), nas misturas de RCC ( e também no CVC), quanto ao aspecto granulométrico, usando a curva tipo cúbica, já foi citada [1 a 7], e tem sido recomendada:

*... " The fine material in a crushed stone sand differs from that in natural sand in that it consists largely of stone dust and not clay. A higher content of it can therefore be tolerated and may be advantageous by improving the plasticity of concrete mixes containing angular crushed rock aggregate" ....[8]*

Os Finos ( inferiores a 0,075mm) contidos nas areias obtidas pelos Britadores Barmac e 48 VFC tiveram suas granulometrias determinadas pelo granulômetro de difração laser.

#### 4.3- Finura

As amostras de Filler ensaiadas apresentaram:

<b>Britador</b>	<b>Superfície Específica Blaine (cm<sup>2</sup>/g)</b>
<b>Barmac</b>	<b>1909</b>
<b>48 VFC</b>	<b>2351</b>

**FIGURA 1- FINURA BLAINE DAS AMOSTRAS DE FILLER ( MATERIAL INFERIOR A 0,075mm)**

#### 4.4- Diâmetro Médio

O Diâmetro médio das partículas do "Pó de Pedra" é comparável ao de outros materiais.

#### 4.5- Forma

A avaliação da forma dos finos das areias foi efetuada petrograficamente, com ênfase à morfologia, através de microscopia óptica . Das fotomicrografias com um aumento de 200 vezes, destaca-se que o Britador Barmac produz fragmentos de formas equidimensionais, e homogêneos, ao passo que o Britador 48 VFC, produz fragmentos mais alongados e uma granulação seriada.

#### 4.6- Permeabilidade

A redução da Permeabilidade, do RCC dosado com a adição de "Pó de Pedra" , obtido na britagem , também já foi comentada nas referências [1, 9 a 11].

#### **4.7- Resistência à Compressão**

A resistência à compressão dos concretos -RCC e CVC- é melhorada com a inclusão do "Pó de Pedra" [1,5, 7]. A melhoria resistente decorre da ação pozolânica que o "Pó de Pedra" apresenta na fixação do Hidróxido de Cálcio liberado na hidratação do cimento, devendo ser citado:

..." *The reaction of active forms of silica with lime improves strength,*" .....[8]

##### **4.7.1- Fixação do $\text{Ca(OH)}_2$**

Tem-se que:

*"...Diffusion of ions or molecules through a gel containing a solution may take place in two ways: (1) through the liquid phase in the ordinary way, and (2) by surface diffusion if the soluble material is subject to adsorption by the solid phase. Surface diffusion is what the term implies- a migration of adsorbed ions from one part of the internal surface to another part. The movements takes place in response to a gradient in surface concentration ( a gradient in the degree of saturation of surface) just as ordinary diffusion depends on the gradient in solution concentration. Therefore, the relative amounts of adsorbed lime and adsorbed alkali that reach the reaction site should depend on the relative amounts adsorbed in the outer part of the gel layer" ...[12].*

O ensaio para a avaliação do hidróxido de cálcio é executado segundo a metodologia ex- soviética TOCT-25094, adaptado segundo orientação do Dr. Albert D. Ossipov. O ensaio consiste na determinação do  $\text{Ca(OH)}_2$  fixado em 20 g de material triturado, inferior a 0,075mm, de uma solução saturada de  $\text{Ca(OH)}_2$  , sob temperatura de 40 oC, durante um período de 28 dias. Após atitulação obtem-se a quantidade de  $\text{Ca(OH)}_2$  fixado pelos finos do agregado. É recomendado que se tenha uma fixação mínima de 30mg, de  $\text{Ca(OH)}_2$  para cada 100g do material fino. Os dados obtidos são mostrados na Figura 2.

##### **4.7.2- Índice de Atividade Pozolânica com Cimento**

O Índice de Atividade Pozolânica do Filler, com Cimento, é determinado pelo ensaio feito com base no método ASTM- C- 311, verificando a ação pozolânica do material , como comprova a Figura 3.

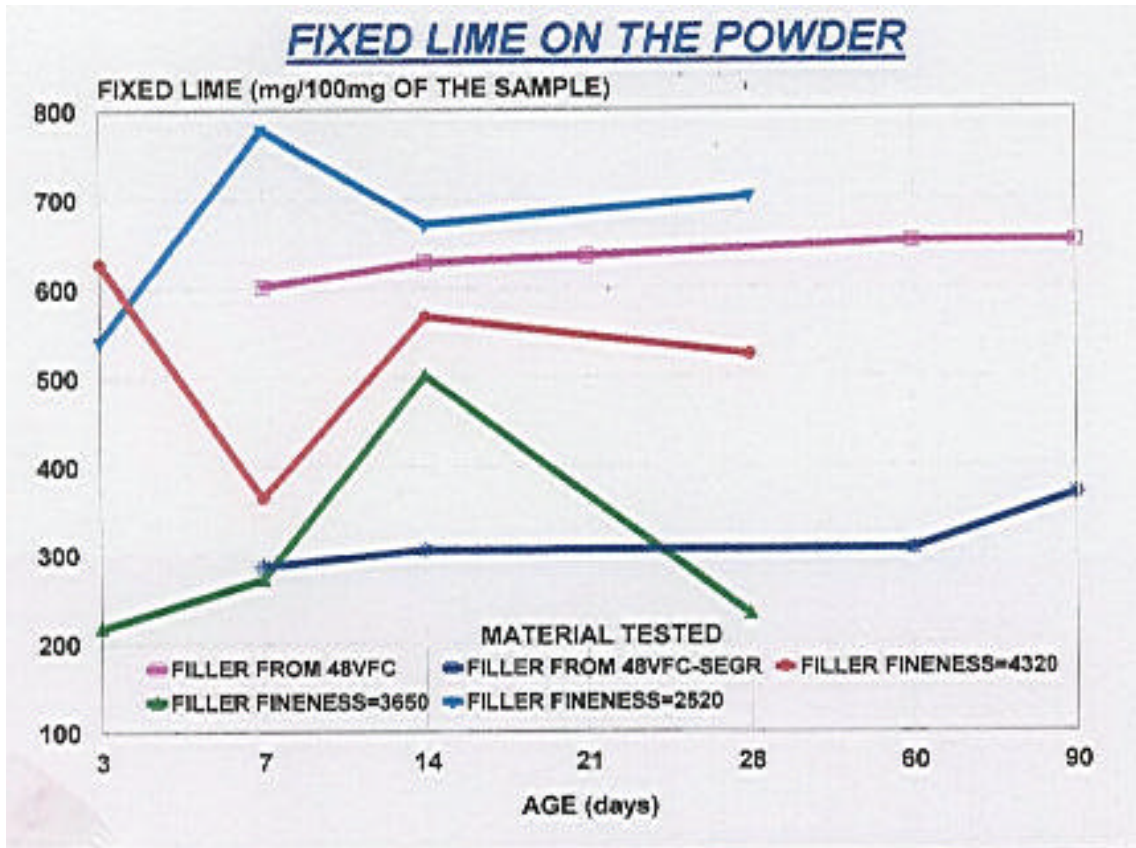


Figura 2- Fixação do Hidróxido de Calcio, nos Finos (Método TOCT-25094-adaptado).

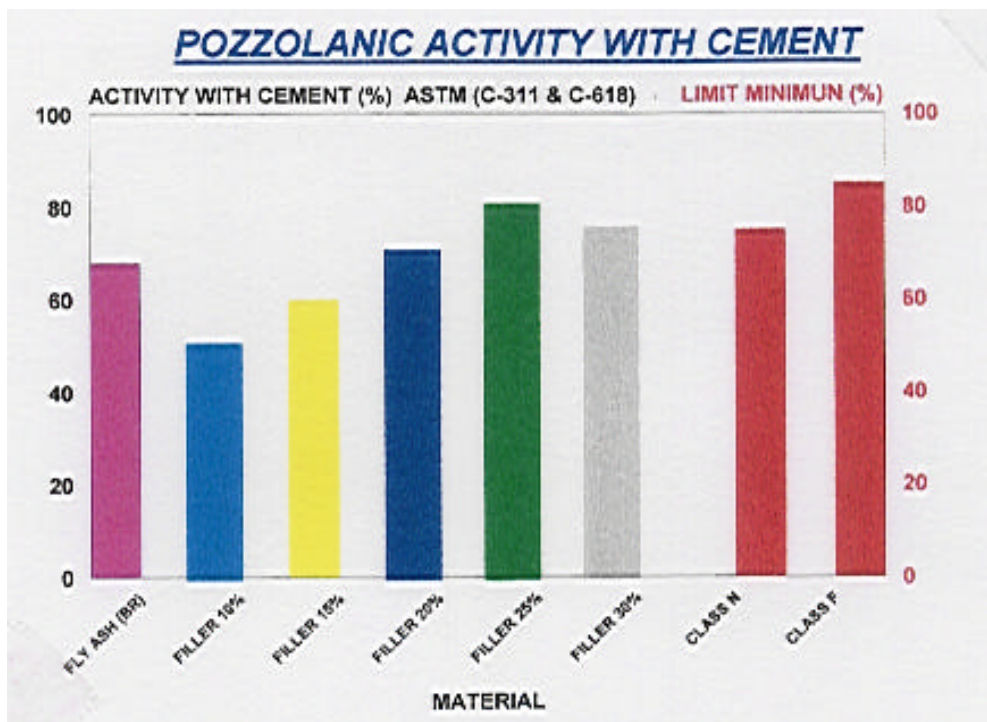


Figura 3 - Atividade Pozolânica dos materiais com o Cimento (ASTM-C-311)

#### 4.7.3- Índice de Atividade Pozolânica com Cal

O Índice de Atividade Pozolânica, do Filler, com Cal, é determinado pelo ensaio feito, também, com base no método ASTM- C- 311, com a mesma conceituação anterior, sendo que os valores são visto na Figura 4

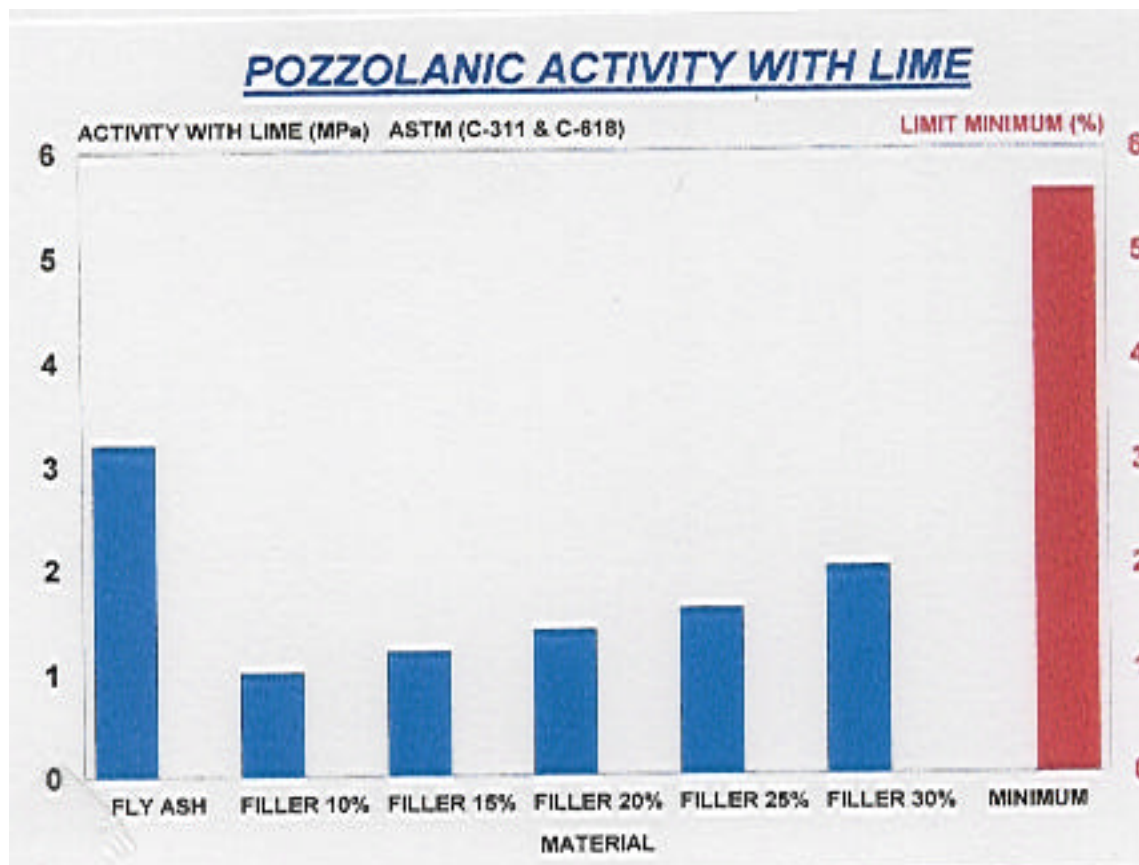


Figura 4- Valores de Atividade com Cal ( ASTM-C- 311)

#### 4.7.4- Hidróxido de Cálcio não Combinado

A determinação do Hidróxido de Cálcio não combinado é feita segundo o item 7- UNCOMBINED CALCIUM HIDROXIDE TEST do método ASTM- C- 500. Esta série de ensaios, com valores até a idade de 180 dias, teve a intenção de pesquisar, através de uma metodologia alternativa, a fixação de  $\text{Ca(OH)}_2$ , disponíveis e não combinados, do cimento.

#### 4.7.5- Índice de Pozolanicidade

A pozzolanicidade é determinada de acordo à metodologia ABNT-NBR-5733 ( Brazil), com base no Ensaio de Fratini

#### 4.8- Reação com os Álcalis do Cimento

#### 4.8.1- Redução da Expansão

Deve-se lembrar:

...." There is in fact a complex relation between the quantity and fineness of the reactive material, the alkali content of cement, and the degree of expansion. Thus, ...., pozzolans which are reactive silicate materials are often a corrective for alkali-aggregate expansion" ....[8]

..." When the reactive mineral is powdered, it can be used in a wide range of proportions without causing expansion. This was demonstrated by Vivian [13] when opal was ground to pass No.300 sieve and used in several proportions, expansion was practically zero for all proportions. the particle size of the reactive mineral is clearly an important factor "...

...When an aggregate contains reactive mineral and is used with an amount of alkali greater than it can tolerate, expansion can be prevented by adding an appropriate amount of pulverized reactive mineral, as has been shown by Hanna [14], Stanton [15] and others " ....[12]

A redução da expansão pelo uso dos finos dos agregados é determinada através da aplicação conjunta do método ASTM- C- 441 e NBRI (citado a seguir), atuando também como um material pozolânico, como se vê na Figura 5.

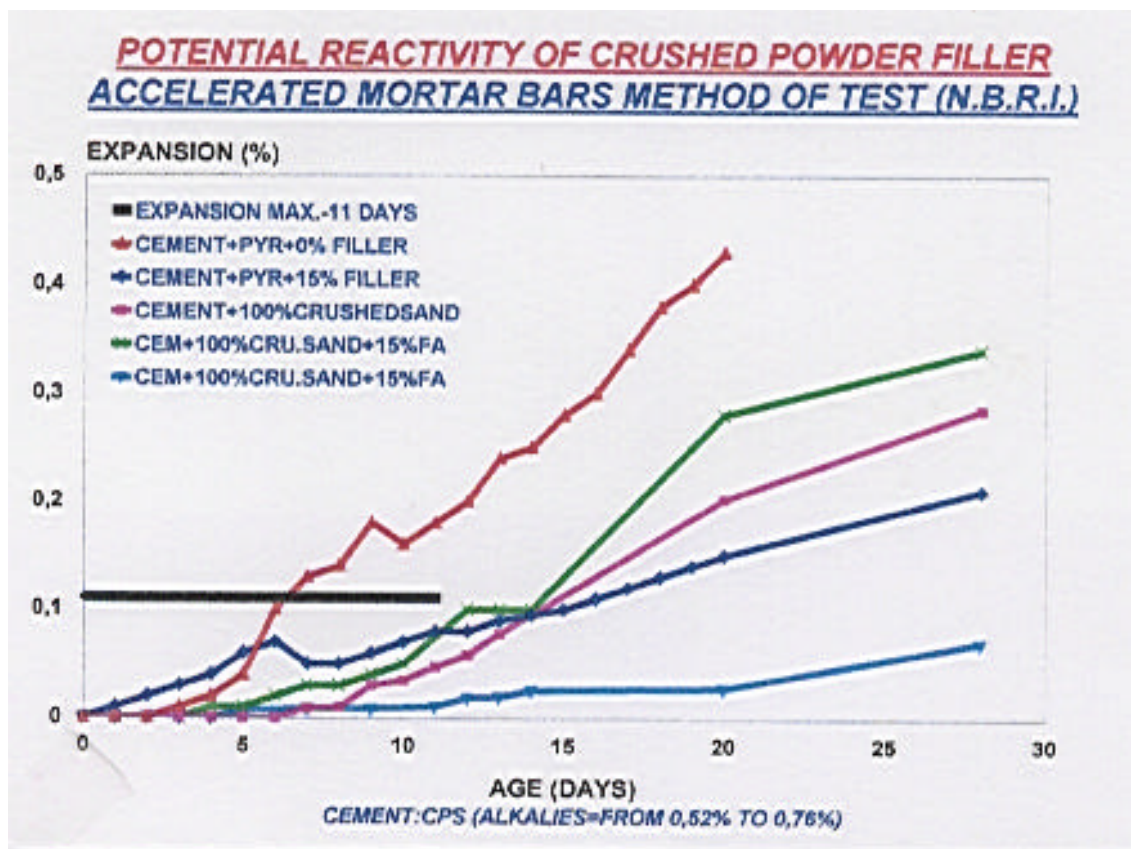


Figura 5- Redução da expansão



#### 4.8.2- Reatividade Potencial- Método Acelerado

As determinações da reatividade potencial entre os álcalis do cimento e os finos foram feitas através de ensaios acelerados, pelo método do National Building Research Institute (NBRI) da África do Sul usando como comparação o vidro Pirex ( ASTM-C-441). Os resultados são mostrados na Figura 5.

#### 4.8.3- Apreciação Petrográfica

As apreciações petrográficas do “Pó de Pedra” obtido pela britagem do Basalto, feitas de acordo com ASTM- C- 295, acusaram:

- Coloração :cinza claro a cinza escuro;
- Composição Mineral:feldspato (plagioclásio) predominante; quartzo, piroxênio, clorita subordinados;

### 5- COMENTÁRIOS

O “Pó de Pedra” produzido a partir de rochas basálticas, e também a partir de outras rochas com determinados teores de sílica, apresentam propriedades de interesse para sua incorporação aos concretos. Os Fillers utilizados neste relato, originariamente obtidos pela britagem do basalto, mostraram:

- Finura semelhante a de um cimento genérico, e pouco inferior a de materias pozolânicos tradicionais, mesmo quando produzido nos sistemas de britagem convencionais, não havendo necessidade de equipamentos diferenciados;
- As curvas granulométricas obtidas com o Filler produzido por máquinas distintas, mostraram diferenças de certa magnitude, caracterizando-se pela maior concentração (70% a 80%) de grãos de dimensão ao redor de 0,040, no material produzido pelo Barmac, com relação a uma concentração de 65% para o material produzido pelo rebitador 48VFC;
- Os diâmetros médios dos Fillers estudados são de magnitude ( ao redor de 0,025mm) pouco maior que os dos cimentos normalmente produzidos ( 0,010mm a 0,015mm);
- A forma dos grãos, analisada sob o microscópio, apresentaram diferenças sensíveis ao microscópio eletrônico, mostrando que os grãos do material produzido pelo BARMAC são mais equidimensionais;
- Os Fillers apresentaram fixação de Hidróxido de Cálcio-pela metodologia Ossipov- demonstrado pelos ensaios de fixação de Calcio, e ASTM-C-500, que caracterizam uma atividade pozolânica;
- Os Índices de Atividade Pozolânica com Cal e com vários Cimentos ( ASTM - C-311 & 618), ratificam a ação pozolânica dos Fillers estudados, e que também é demonstrada pela metodologia Fratini;
- Os Índices de Atividade Pozolânica com vários cimentos mostraram-se crescentes com àidade e com a Finura (Blaine) dos Fillers incorporados;

- Os Fillers ensaiados demonstraram eficiência substancial na redução das expansões decorrentes da Reação Álcalis-Silica, mostrando outra importante ação pozolânica.
- Os dados obtidos pelos ensaios nos concretos -CVC e RCC-, demonstram , através dos Rendimentos ( mix efficiency), que a utilização desse tipo de Filler, que no RCC, bem como e muito mais, nos concretos convencionais, implementa a resistência;
- As melhorias resistentes obtidas com o Filler no CVC, bem como a melhoria observada, na redução da permeabilidade do RCC [1, 2, 3, 4] demonstram a validade do emprego desse material;
- Essas melhorias induzem a rever os parâmetros requeridos nas Especificações Técnicas, dos Concretos Convencionais, no que refere a se permitir o uso de finos, desde que os mesmos não tenham características coesivas ( argilosas), como se tem praticado no RCC.

O conjunto de dados apresentados evidenciam uma substancial característica Pozolânica dos Fillers estudados, o que atesta a validade de seu emprego no RCC, como também em concretos convencionais [1; 5; 7], o que comprova a expectativa teórica citada no texto.

## 6-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]- Braga, J.A.; Rosário, L.C.; Duarte, J.D.C.; Lacerda, S.S.- **“Utilização de Finos-Sub-Produto de Britagem nos Concretos Rolado e Convencional”**- XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Foz do Iguaçu- Brazil-1989
- [2]- Golik, M.A.; Andriolo, F.R.; - **“Urugua-i (CCR) - Controle de Qualidade do Concreto Lançado no Tramo Principal da Barragem”**- XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Foz do Iguaçu- Brazil-1989
- [3]- Andriolo, F.R.; Braga, J.A.; Zanella, M.R.; Zaleski, J.M.- **“Uso do Concreto Rolado; Projeto Capanda - Angola; Ensaio Especiais”**- XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens - Aracaju- Brazil-1991
- [4]- Andriolo, F.R.; Schmidt, M.T.- **“The Capanda RCC Dam in Angola”**- International Water Power & Dam Construction - February 1992
- [5]- Krempel, A.F.; Crevilaro, C.C.; Paulon, V.A.- **“Adição de Pó ao Concreto como Fator Econômico e de Durabilidade”**- 34a. Reunião do Ibracon - Brazil-1992
- [6]- Carmo, J.B.M.; Nascimento, J.F.F.; Fontoura, J.T.F.; Santos, M.C.; Traboulsi, M.A.- **“Aplicação de Concreto Compactado a Rolo com Adições”**- 35a. Reunião do Ibracon - Brazil-1993

- [7]- Oliveira, P.J.; Salles, F.M.; Andriolo, F.R.- **"Crushed Powder Filler- The Use on RCC and the Reduction of Expansion due to the Alkali-Aggregate Reaction"**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander - Spain -1995
- [8]- Lea, Frederick M- **"The Chemistry of Cement and Concrete"**- Third Edition - 1970
- [9]- Oliveira, P.J.; Salles, F.M.; Andriolo, F.R.- **"Studies of Various Types of RCC Mix Designs- Laboratory Test Results"**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander - Spain -1995
- [10]- Tavares, M.; Schmidt, M.T.; Resende,F.; Fontoura, P.T.; Andriolo, F.R.- **"Capanda-Angola Hydroelectric Development- Quality Control of Materials and Conventional and Roller Compacted Concrete"**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander - Spain -1995
- [11]- Andriolo, F.R.-**"RCC Properties"**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander - Spain -1995
- [12]- Power, T.C.; Steinour, H.H.; - **"An interpretation of Published Research on the Alkali-Aggregate Reaction"**- Journal of the American Concrete Institute - Title No. 51-26 -Chigago -June-1955
- [13]- Vivian, H.E.; - **"Studies in Cement-Aggregate Reaction : Effect on Mortar Expansion of the Particle Size of Reactive Component in the Aggregate"**- XIX Autralian Journal of Applied Science -1951
- [14]- Stanton, T,E.- **"Studies of Use of Pozzolans for Counteracting Excessive Concrete Expansion Resulting from Reaction Between Aggregates and Alkalis in Cement"**- Symposium on Use of Pozzolan Materials in Mortar and Concretes - ASTM Special Technical publication No. 99-1950
- [15]- Hanna, W.C.; -**"Unfavorable Chemical Reactions of aggregates in Concrete and a Suggested Corrective "**- Proceedings ASTM- No.47- 1947
- [16]- Holanda, F.G; Krempel, A.F.; Andriolo, F.R.- **"Jordão River Derivation Dam- Quality Control Plan for Materials and Concrete ( RCC and Conventional)"**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander - Spain -1995

**FEDERACION IBEROAMERICANA DE HORMIGON PREMEZCLADO  
X CONGRESO IBEROAMERICANO DEL HORMIGÓN PREMEZCLADO**

**Quito - Ecuador  
Mayo 28 al 31 de 1996**

**The Use of Rejected Materials in Concretes**

Francisco Rodrigues Andriolo

Ingeniero Asesor

Andriolo Ito Engenharia S/C Ltda

Rua Cristalândia no. 181 - São Paulo - Brasil - CEP- 05465-000- Tel-++55 11- 260 5613

Rua Indiana no. 1006 - São Paulo - Brasil - CEP- 04562-002- Tel-++55 11- 542 37 39 Fx-++55 11- 535 5961

**RESUMEN**

En esta ponencia se presentan datos de ensayos obtenidos sobre mezclas de Hormigones ( Convencional y Rodillado) dosificadas con la inclusión de cantidades de finos de Polvo de Trituración, tradicionalmente no permitido en Especificaciones Técnicas.

Los datos de laboratorio sobre el comportamiento de ese material han posibilitado la adopción en las mezclas de hormigón

La utilización de mezclas con Polvo de Trituración en lleno de prueba ha posibilitado evaluar con exactitud las ventajas de ese material.

Desde esas indicaciones técnicas se buscó una adecuación de equipos para la obtención de arena triturada con larga cantidad de finos.

Los estudios desarrollados en distintos laboratorios brasileños demuestran las ventajas de ese material en reducir las expansiones decurrientes de la Reacción Alcalis - Sílice.

Se presentan datos de ensayos de sobre barras de mortero con varios contenidos de ese material en combinación con cementos de alto contenido de álcalis.

**ABSTRACT**

In this report the test data is presented which was obtained in the concrete (Conventional and RCC) design mixes with the inclusion of the quantities of Crushed Powder filler. The laboratory data on the behavior of this material makes its adoption in the mixes possible.

The use of mixes with Crushed Powder filler in the test fill makes it possible to accurately evaluate the advantages of this material.