

USOS E ABUSOS DO PÓ DE PEDRA EM DIVERSOS TIPOS DE CONCRETO

Palestrante Convidado

*Eng^o. Francisco Rodrigues Andriolo
(Andriolo Ito Engenharia Ltda)*



Local: Instituto de Engenharia – São Paulo
Av. Dr. Dante Pazzanese, 120 Vila Mariana, São Paulo - CEP 04012-180

Data: 06 de Abril de 2005
Hora: De 15:00 às 16:00



INDICE

PALAVRAS CHAVE E ENTENDIMENTOS

RESUMO

1- APRESENTAÇÃO

2- ASPECTOS NORMATIVOS E CONCEITOS

3- DESENVOLVIMENTO NO BRASIL

4- ASPECTOS DO CONHECIMENTO DO PÓ DE PEDRA

5- USOS EM CONCRETOS

6- ABUSOS E ADVERTÊNCIAS

7- PRODUÇÃO E POSSÍVEIS MELHORIAS

8- COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES

9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PALAVRAS CHAVE E ENTENDIMENTOS

Pó de Pedra: Material Fino, com partículas de diâmetro inferior a 0,075mm, obtida pela britagem de rocha;

Finos de Britagem: Pó de Pedra, entendido como material pulverulento, obtido pela britagem, genericamente sem material argiloso;

Pulverulento: Conceitualmente tem seu entendimento como sendo as partículas inferiores a 0,075mm, mas de aspecto argiloso. Ao se referir aos produtos de britagem refere-se ao Pó de Pedra. Neste aspecto deve-se tomar cuidado para não entender-se como material, tradicionalmente, considerado argiloso;

Material Pulverizado/ Agregado Pulverizado: Nada mais é do que um Pó de Pedra, obtido em Laboratório, e designado, particularmente, por alguns autores

RESUMO

Mostra-se que há a possibilidade de incorporação dos Finos (material inferior a 0,075mm) de britagem, quando da produção de areia britada através de equipamentos adequados e cuidados técnicos compatíveis.

O uso do Pó de Pedra é uma prática que se estabeleceu no Brasil a partir dos anos 80, com base em estudos técnicos realizados em Itaipu, evidenciando vantagens, técnicas e econômicas.



Obtida como sub-produto - Sem equipamento adequado



Obtida intencionalmente – com equipamento do tipo VFC



Obtida intencionalmente – com equipamento do tipo de Impacto

Areias Artificiais obtidas pela Britagem de Basalto Britado

1- APRESENTAÇÃO

De maneira geral, há algumas décadas, o uso de Areia Artificial obtida pela britagem de rochas sempre se constituiu em uma “dor de cabeça” para os Construtores, Projetistas, Proprietários e os Profissionais de Tecnologia de Concreto, que para seu uso e dosagem do concreto, como também para o adequado controle.

Essa “dor de cabeça”, hoje se sabe, se instalou, muito mais pelas condições de conhecimento, disponibilidade de equipamentos associados à indisponibilidade de Areia Natural, e também pelas indisciplinas (desrespeitos) ambientais.

A utilização dos moinhos de barra, equipamentos disponíveis à época, era um certo “gargalo” na produção, desmotivando o seu uso.

O surgimento de máquinas do tipo Very Fine Crusher ou Hidrofine, ou equivalentes, seguido pelos de impacto, permitiram conhecer mais sobre a possibilidade do emprego de Areias Artificiais, obtidas pela britagem de rocha.

O “analgésico” para a “dor de cabeça” começou a viabilizar uma melhor “digestão” do seu emprego.

O uso de Areia Artificial ou Britada, tem aumentado significativamente, quer seja pela necessidades de restrições e convívios ambientais, como também pela disponibilidade técnica. Entretanto, e aqui devem ser feitas algumas advertências, devido abusos por parte de alguns Profissionais (??) no emprego da Areia Britada. Isso quase que sempre, decorrente de falta de conhecimento e/ou cuidados.

A compatibilização do índices físicos das areias britadas com as Normas Técnicas (Especificações, Práticas, Recomendações), decorre muito mais da falta de gerenciamento do conhecimento técnico no manuseio efetivo das Normas.

Tentar-se-á abordar alguns desses aspectos no transcorrer do texto.

2- ASPECTOS NORMATIVOS E CONCEITOS

De modo geral as Normas Técnicas de Construção, com raríssimas exceções de alguns poucos Países, são cópias das Normas Americanas. Cópias essas, que em muitos casos, são feitas sem uma correta “digestão” dos conceitos e a adequada “nacionalização” das condições de aplicação. Há aqui um grande e importante cenário para desenvolvimento.

No aspecto das especificações para agregados far-se-á referência básica à ASTM- C- 33 ^[01], que se trancreve parcialmente, sendo que os **grifos** são deste autor:

“ Designation: C 33 – 01- Standard Specification for- Concrete Aggregates

1. Scope *

1.1 *This specification defines the requirements for grading and quality of fine and coarse aggregate (other than lightweight or heavyweight aggregate) for use in concrete.*

1.2 *This specification is for use by a contractor, concrete supplier, or other purchaser as part of the purchase document describing the material to be furnished.*

NOTE 1—*This specification is regarded as adequate to ensure satisfactory materials for most concrete. It is recognized that, for certain work or in certain regions, it may be either more or less restrictive than needed. For example, where aesthetics are important, more restrictive limits may be considered regarding impurities that would stain the concrete surface. The specifier should ascertain that aggregates specified are or can be made available in the area of the work, with regard to grading, physical, or chemical properties, or combination thereof.*

1.3 *This specification is also for use in project specifications to define the quality of aggregate, the nominal maximum size of the aggregate, and other specific grading requirements. Those responsible for selecting the proportions for the concrete mixture shall have the responsibility of determining the proportions of fine and coarse aggregate and the addition of blending aggregate sizes if required or approved.*

1.4 *The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.*

1.5 *The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this standard.*

TABLE 1 Limits for Deleterious Substances in Fine Aggregate for Concrete

Item	Mass Percent of Total Sample, max
Clay lumps and friable particles	3.0
Material finer than 75- μ m (No. 200) sieve:	
Concrete subject to abrasion	3.0 ^A
All other concrete	5.0 ^A
Coal and lignite:	
Where surface appearance of concrete is of importance	0.5
All other concrete	1.0

^A In the case of manufactured sand, if the material finer than the 75- μ m (No. 200) sieve consists of the dust of fracture, essentially free of clay or shale, these limits are permitted to be increased to 5 and 7 %, respectively.

NOTE 2—**Concrete with fine aggregate gradings near the minimums for percent passing the 300 μ m (No.50) and 150 μ m (No.100) sometimes have difficulties with workability, pumping or excessive bleeding. The addition of entrained air, additional cement, or the addition of an approved mineral admixture to supply the deficient fines, are methods used to alleviate such difficulties.**

6.2 The fine aggregate shall have not more than 45 % passing any sieve and retained on the next consecutive sieve of those shown in 6.1, and its fineness modulus shall be not less than 2.3 nor more than 3.1.

6.3 Fine aggregate failing to meet these grading requirements shall meet the requirements of this section provided that the supplier can demonstrate to the purchaser or specifier that concrete of the class specified, made with fine aggregate under consideration, will have relevant properties at least equal to those of concrete made with the same ingredients, with the exception that the reference fine aggregate shall be selected from a source having an acceptable performance record in similar concrete construction.

NOTE 3—Fine aggregate that conforms to the grading requirements of a specification, prepared by another organization such as a state transportation agency, which is in general use in the area, should be considered as having a satisfactory service record with regard to those concrete properties affected by grading.

NOTE 4—Relevant properties are those properties of the concrete which are important to the particular application being considered. STP 169C6 provides a discussion of important concrete properties.

6.4 For continuing shipments of fine aggregate from a given source, the fineness modulus shall not vary more than 0.20 from the base fineness modulus. **The base fineness modulus shall be that value that is typical of the source. The purchaser or specifier has the authority to approve a change in the base fineness modulus.**

NOTE 5—The base fineness modulus should be determined from previous tests, or if no previous tests exist, from the average of the fineness modulus values for the first ten samples (or all preceding samples if less than ten) on the order. The proportioning of a concrete mixture may be dependent on the base fineness modulus of the fine aggregate to be used. Therefore, when it appears that the base fineness modulus is considerably different from the value used in the concrete mixture, a suitable adjustment in the mixture may be necessary.

7. Deleterious Substances

7.1 The amount of deleterious substances in fine aggregate shall not exceed the limits prescribed in Table 1.

7.2 Organic Impurities:

7.2.1 Fine aggregate shall be free of injurious amounts of organic impurities. Except as herein provided, aggregates subjected to the test for organic impurities and producing a color darker than the standard shall be rejected.

7.2.2 Use of a fine aggregate failing in the test is not prohibited, provided that the discoloration is due principally to the presence of small quantities of coal, lignite, or similar discrete particles.

7.2.3 Use of a fine aggregate failing in the test is not prohibited, provided that, when tested for the effect of organic impurities on strength of mortar, the relative strength at 7 days, calculated in accordance with Test Method C 87, is not less than 95 %.

7.3 Fine aggregate for use in concrete that will be subject to wetting, extended exposure to humid atmosphere, or contact with moist ground shall not contain any materials that are deleteriously reactive with the alkalis in the cement in an amount sufficient to cause excessive expansion of mortar or concrete, except that if such materials are present in injurious amounts, use of the fine aggregate is not prohibited when used with a cement containing less than 0.60 % alkalis calculated as sodium oxide equivalent ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$) or with the addition of a material that has been shown to prevent harmful expansion due to the alkali-aggregate reaction. (See Appendix XI.)

8. Soundness

8.1 Except as provided in 8.2 and 8.3, fine aggregate subjected to five cycles of the soundness test shall have a weighted average loss not greater than 10 % when sodium sulfate is used or 15 % when magnesium sulfate is used.

8.2 Fine aggregate failing to meet the requirements of 8.1 shall be regarded as meeting the requirements of this section provided that the supplier demonstrates to the purchaser or specifier that concrete of comparable properties, made from similar aggregate from the same source, has given satisfactory service when exposed to weathering similar to that to be encountered.

8.3 *Fine aggregate not having a demonstrable service record and failing to meet the requirements of 8.1 shall be regarded as meeting the requirements of this section provided that the supplier demonstrates to the purchaser or specifier it gives satisfactory results in concrete subjected to freezing and thawing tests (see Test Method C 666)...*”

Do texto, é importante tomar em consideração o item 6.3 (do texto acima), conceituando e viabilizando o emprego de agregado miúdo que não se enquadre nas especificações se, entretanto, não for danoso ou prejudicial ao concreto, comparativamente dosado com materiais que atendam às mesmas especificações.

Essa conceituação e entendimento é de extrema valia para a Construção Civil, principalmente em um País de dimensões Continentais como o Brasil.

Ou seja: **BASTA PROVAR QUE PODE SER USADO!**

Por outro lado ao referir-se à NBR-ABNT- 7211 ^[02], pode-se observar:

1 Objetivo

1.1 Esta Norma fixa as características exigíveis na recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos, de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes do britamento de rochas e destinados à produção de concretos.

1.2 As prescrições específicas desta Norma referem-se aos agregados sobre os quais o consumidor dispõe de histórico de desempenho em concretos de qualidade similar e em condições de exposição equivalentes às do concreto previsto.

1.3 Para os agregados sobre os quais não existem antecedentes de desempenho ou que vão ser utilizados pela primeira vez, ou para as regiões em que não seja economicamente possível a obtenção de agregados que preencham as condições desta Norma, o consumidor poderá utilizá-los desde que se comprove, mediante parecer baseado em estudo experimental, que com os agregados disponíveis pode-se produzir concreto de qualidade satisfatória.

5.1.3.1 As quantidades de substâncias nocivas não devem exceder os limites máximos em porcentagem da massa do material:

- a) torrões de argila, determinados de acordo com a NBR 7218.....1,5;
- b) materiais carbonosos, determinados de acordo com ASTM C 123:
 - em concreto cuja aparência é importante 0,5;
 - nos demais concretos 1,0;
- c) material pulverulento, determinado de acordo com a NBR 7219:
 - em concreto submetido a desgaste superficial 3,0;
 - nos demais concretos 5,0.

Nota: Estes limites podem ser aumentados para 5% e 7% em massa, respectivamente, quando o material que passa pela peneira ABNT-0,075 mm for constituído totalmente de grãos gerados durante o britamento de rocha.

Ou seja a Especificação induz a uma condição econômica de obtenção do material, e não técnica. Mas na opinião deste autor o uso deve ser analisado sob **TODOS** os aspectos.

No Brasil, felizmente, a maioria dos Profissionais das Empresas Concessionárias de Energia (CESP, FURNAS, COPEL, ELETRONORTE, etc...) sempre buscaram entender a conceituação dessas Normas e decorrentemente viabilizar o uso de uma gama maior de materiais. Essa viabilização é mencionada à frente.

Porém, se de maneira “tecnicamente burocrática” estabelecer-se sentado atrás da mesa, apenas lendo (e, se lendo!) as Normas, nada será desenvolvido!

É interessante mencionar que a África do Sul é um dos Países que tem maior número de equipamentos (britadores) para produzir areia britada, e coincidentemente, desde meados dos anos 70 tem incorporado atualizações nas especificações de agregados referente aos uso de Rock Flour (Pó de Pedra) ^[03]

3- DESENVOLVIMENTO NO BRASIL

Na região sudeste - sul do Brasil, os recursos de areia natural tornam-se gradativamente 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 (13.000.000m³ de concreto), Salto Santiago (480.000m³), Salto Osório (472.000m³), Foz do Areia (600.000m³), São Simão (1.600.000m³), entre outras, empregaram grande quantidade de areia artificial na produção dos concretos.

No transcorrer da construção da barragem de Itaipu (1975-1982), notou-se que em cada uma das linhas de britagem (1.800t/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 Britada. 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 ^[04], e que se transcreve parcialmente a seguir.

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 ^[05].

Nessa oportunidade, eram notadas as melhorias físicas das propriedades, porem sem se caracterizar fisico-quimicamente a ação dos finos do “Pó de Pedra” (“Rock Flour”).

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 ^[06;07] com intuito de se caracterizar a Atividade do Pó de Pedra, na fixação do Hidróxido de Calcio, 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 ^[06 a 10], bem como a utilização do “Pó de Pedra” no RCC, na construção de Capanda ^[06 e 07].

3.5 Pó de Pedra

A utilização do pó de pedra, sub-produto da britagem, como "filler", no concreto rolado, foi sugerido para uso na obra de Urugua-I, sendo que os estudos efetuados [23] [24] mostram vantagens, que se comprovam durante a construção da barragem [25]. Durante a construção de Saco de Nova Olinda, também se utilizou do pó de pedra.

Essa opção técnica esta sendo utilizada, também, no concreto rolado na obra da Barragem de Sakaigawa, no Japão [3].

A utilização de finos não coesivos de britagem se mostrou de tal forma vantajosa para o concreto rolado, que motivou o Laboratório de Concreto de Itaipu, a avaliar o emprego do pó de pedra como "filler", em concreto massa convencional, para melhoria de algumas propriedades [26], como evidenciam as Figuras 7 e 8.

MATERIAIS E PROPRIEDADES COM MISTURA FRESCA		QUANTIDADES (Kg/m ³)					
		MISTURA 152 - D04			MISTURA 152 - G02		
		NOMINAL	C/ AREIA LAVADA	C/ AREIA SEM LAVAR	NOMINAL	C/ AREIA LAVADA	C/ AREIA SEM LAVAR
CIMENTO		137	137	137	102	102	102
FLY-ASH		14	14	14	12	12	12
ÁGUA		84	84	84	84	84	84
ADITIVO	INCORPORADOR DE ÁGUA	VAR	0,393	0,997	VAR	0,194	0,274
	PLASTIFICANTE	-	-	0,906	-	-	0,684
AREIA	NATURAL	162	162	162	204	204	204
	ARTIFICIAL	378	378	378	379	379	379
B1 - $\phi_{max} = 19$ mm		400	400	400	400	400	400
B2 - $\phi_{max} = 38$ mm		329	329	329	329	329	329
B3 - $\phi_{max} = 76$ mm		465	465	465	465	465	465
B4 - $\phi_{max} = 152$ mm		643	643	643	643	643	643
A/CEQ		0,53	0,53	0,53	0,70	0,70	0,70
SLUMP (cm)		3,5 ± 0,5	4,0	3,6	3,5 ± 0,5	4,0	4,1
AR INCORPORADO (%)		7,5 ± 0,5	8,0	7,2	7,5 ± 0,5	7,7	7,9
DENSIDADE (MIST. PENEIRADA) (Kg/m ³)		-	2373	2423	-	2403	2380

PERMEABILIDADE (K - cm/s)				
MISTURA	152 M - D04		152 - G02	
	(1)	(2)	(1)	(2)
K (cm/s)	$1,75 \times 10^{-8}$	$1,74 \times 10^{-9}$	$1,10 \times 10^{-8}$	$2,45 \times 10^{-9}$

NOTAS: (1) - Mistura com areia artificial lavada.

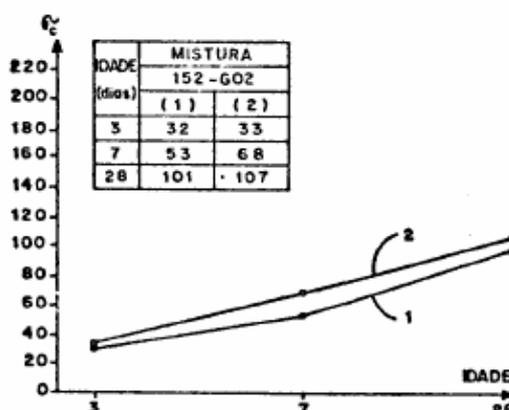
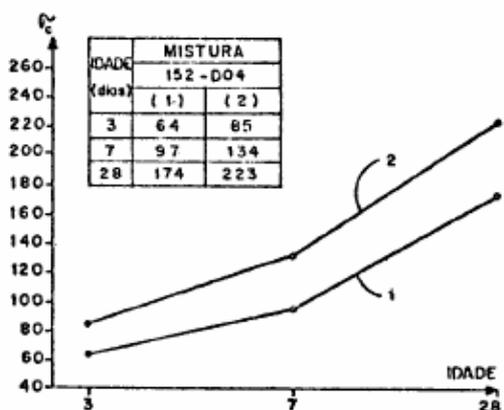
Idade de ensaio: 28 dias

(2) - Mistura com areia artificial sem lavar

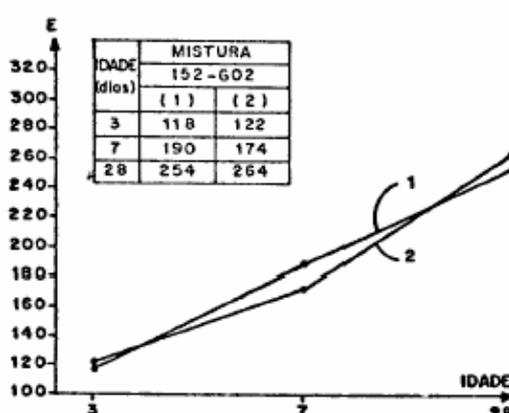
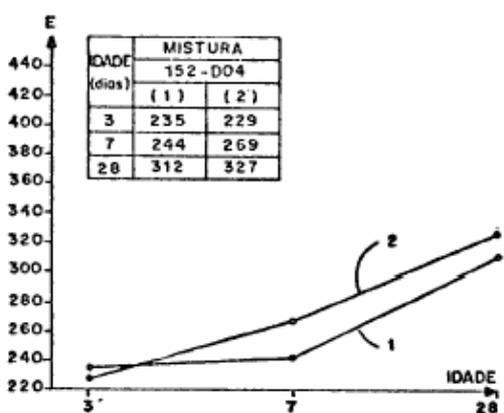
Figura 7 - Uso de pó de pedra em concreto massa e convencional [26]

Estudos realizados em Itaipu entre 1978 e 1982, visando avaliar a influência do Pó de Pedra nos Concretos Massa Convencionais

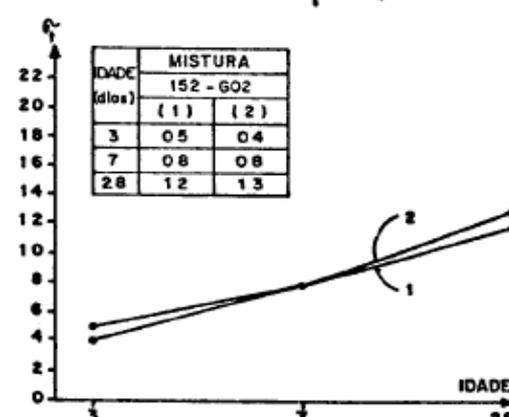
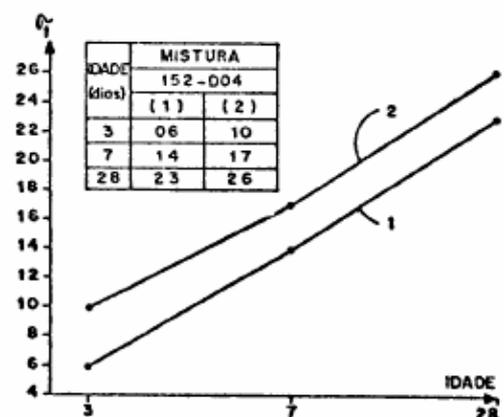
COMPRESSÃO AXIAL (σ_c - kgf/cm²)



MÓDULO DE ELASTICIDADE ($E \times 10^3$ - kgf/cm²)



TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (σ_t - kgf/cm²)



NOTAS: (1) - MISTURA COM AREIA ARTIFICIAL LAVADA.
(2) - MISTURA COM AREIA ARTIFICIAL 5/LAVAR.

Figura 8 - Emprego de pó de pedra, obtido como sub-produto da britagem, em concreto massa convencional [26].

Estudos realizados em Itaipu entre 1978 e 1982, visando avaliar a influência do Pó de Pedra nos Concretos Massa Convencionais

A construção da Barragem da Derivação do Rio Jordão, em RCC, com agregados basálticos, compostos com base em uma curva granulométrica tipo cúbica, para $D_{max}=50\text{mm}$, 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 possibilitou seu emprego sistematicamente.

Decorrente do emprego nessas obras (Urugua-i; Jordão e Salto Caxias) a utilização do Pó de Pedra nessas obras, observa-se um crescente uso em várias obras Brasileiras tais como:

Projeto- Obra	Volume de Concreto (m3)	Período de Construção
Hidrelétrica da Derivação do Jordão	660.000	1994 a 1998
Hidrelétrica de Salto Caxias	1.500.000	1996 a 2000
Hidrelétrica de Ita	500.000	1996 a 2002
Hidrelétrica de Lajeado	1.100.000	1997 a 2002
Hidrelétrica de Itapebi	260.000	1997 a 2002
Hidrelétrica de Manso	200.000	1998 a 2000
Hidrelétrica de Machadinho	375.000	2001 a 2003
Via Expressa Imigrantes –II	320.000	2000 a 2003
Hidrelétrica de Campos Novos	335.000	Em Construção
Hidrelétrica de Barra Grande	300.000	Em Construção
Barragem de Bandeira de Melo	90.000	Em Construção

No exterior, o autor tem participado nos seguintes Projetos onde se utilizou, convenientemente o Pó de Pedra:

Projeto – Obra	País	Volume de Concreto (m3)	Período de Construção
Hidrelétrica de Urugua-i	Argentina	660.000	1987 a 1989
Hidrelétrica de Capanda	Angola	1.280.000	1989 a 2003
Túnel de Adução Pehuenche (*)	Chile	125.000	1986 a 1989
Barragem de Mujib	Jordânia	720.000	1999 a 2002
Hidrelétrica de Miel – I	Colombia	1.800.000	1994 a 2000
Porto de Sines- Restauração e Ampliação	Portugal	600.000	2000 a 2003
Hidrelétrica de Deriner	Turquia	3.500.000	Em Construção
Barragem de Al Wehdah	Jordânia*Síria	1.500.000	Em Construção

A literatura técnica dos últimos Congressos ^[11] mostram que o emprego de Pó de Pedra no Concreto Compactado com Rolo, começa a ganhar mais adeptos e estabelecer cultura técnica em Países como a China, Japão, Marrocos.

4- ASPECTOS DO CONHECIMENTO DO PÓ DE PEDRA

4.1- Generalidades

É evidente que os Pós de Pedras poderão ter comportamento distinto nos concretos, a depender da Finura que o equipamento de Britagem possibilita a produção, das Características Mineralógicas da Rocha, bem como da disponibilidade do Hidróxidos, e grandemente do Hidróxido de Cálcio nos Cimentos empregados.

De modo geral a Finura Blaine dos Pós de Pedra obtidos nos equipamentos atuais de produção de areia britada se situa entre $2.000\text{cm}^2/\text{g}$ e $2.500\text{cm}^2/\text{g}$, que se assemelha a de um cimento “grosso”. A Figura 4.01 a seguir ilustra as curvas granulométricas de Pó de Pedra obtido pela Britagem de Basalto durante a construção da Obra da Hidrelétrica da Derivação do Rio Jordão [12]

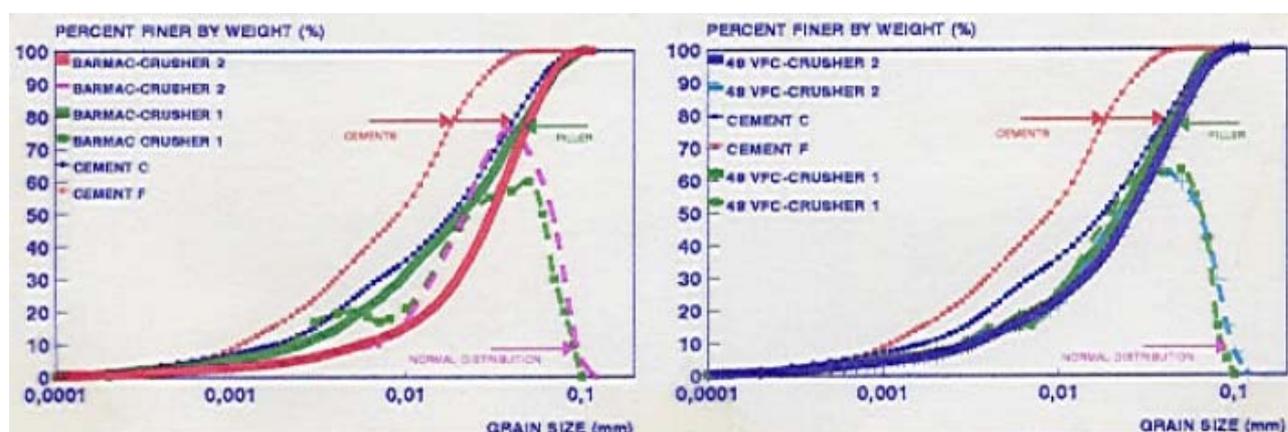


Figura 4.01 –Curvas granulométricas de Pós de Pedras de Basalto- Obra Rio Jordão- Paraná [12]

Essas condições- Finuras (do Cimento e do Pó de Pedra)- Características Mineralógicas- teor de Sílica- Disponibilidade dos Hidróxidos de Cálcio do Cimento, levam a comportamentos e atividades distintas entre os dois materiais: Cimento e Pó de Pedra.

A menos que se tenha a intenção de produzir os Pó de Pedra com uma Finura maior que o sistema de processamento de agregados normalmente pode obter, (isso significa passar o produto várias vezes pela máquina, e ter um cuidado adicional no manuseio) é prudente que os ensaios de verificação do desempenho do Pó de Pedra sejam realizados com a Finura tal e qual produzido.

Um conjunto de ensaios pode, e deve, ser efetuado para conhecer o desempenho de cada um dos Pós de Pedras produzidos.

4.2- Granulometria

Os benefícios do uso de finos (material inferior a 0,075mm), nas misturas de concreto, quanto ao aspecto granulométrico, 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”^[13]

4.3- Forma

A avaliação da Forma dos finos das areias pode ser efetuada microscopicamente, como exemplificam as Figuras 4.02 e 03 que mostram fragmentos dos finos produzidos por dois tipos de Britadores -**48 Very Fine Crusher e Barmac**, na obra da Derivação do Rio Jordão. Das fotomicrografias com um aumento de 200 vezes, destaca-se que o Britador Barmac produziu fragmentos de formas equidimensionais, e homogêneos, ao passo que o Britador 48 VFC, produziu fragmentos mais alongados e uma granulação seriada.

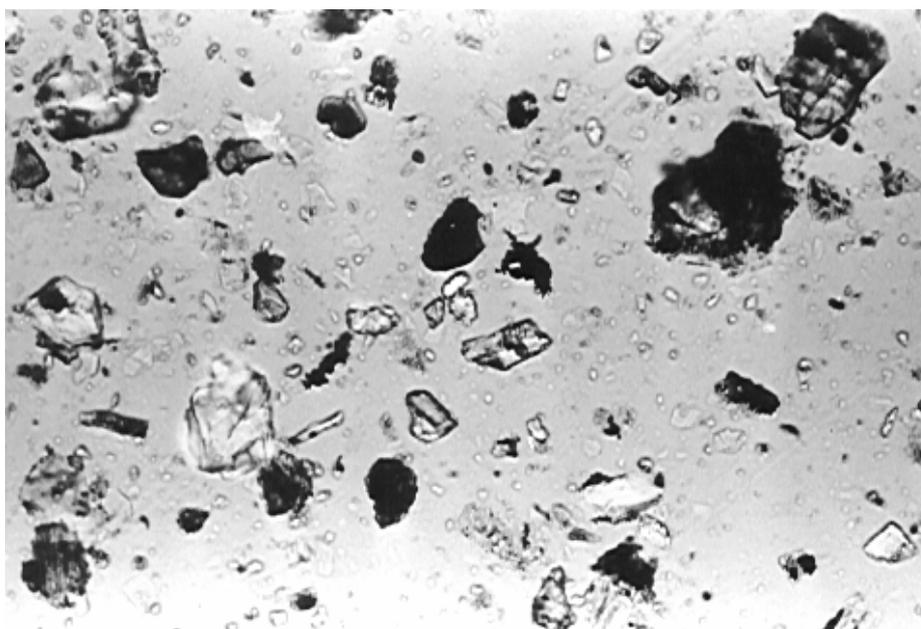


Figura 4.02- Fotomicrografia do Pó de Pedra produzido pelo Barmac -aumento 200x-

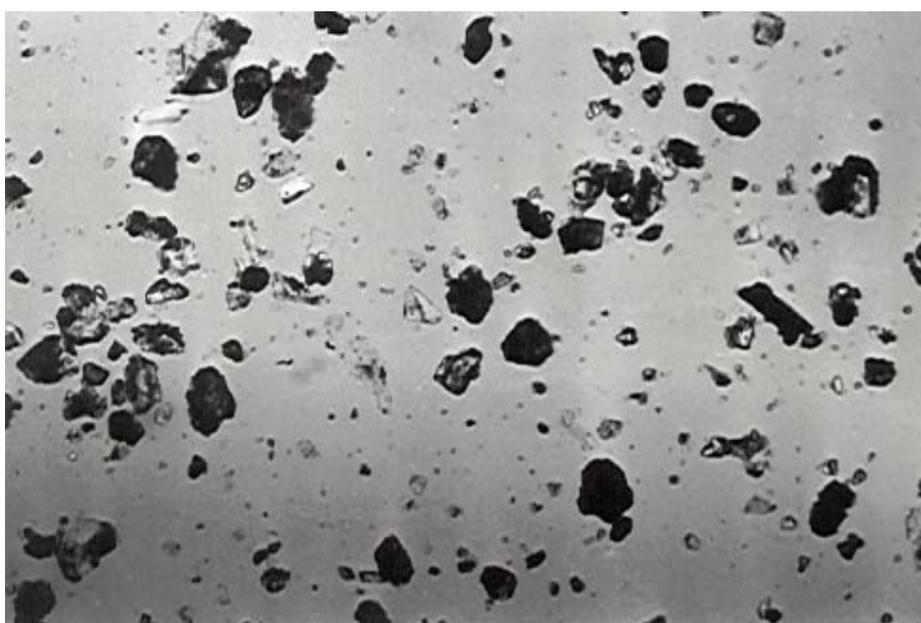


Figura 4.03- Fotomicrografia do Pó de Pedra produzido pelo 48VFC - aumento 200x

4.4- Resistência à Compressão

A resistência à compressão dos concretos pode (atenção para o pode!) ser melhorada com a inclusão do “Pó de Pedra”. A melhoria resistente decorre de certa ação pozolânica que o “Pó de Pedra” pode apresentar 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,*”^[13]

4.5- Fixação do 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*”.^[17]

O ensaio para a avaliação do hidróxido de cálcio tem sido executado (no meio dos Barrageiros) segundo a metodologia ex- soviética TOCT-25094, adaptado segundo orientação do Dr. Albert D. Ossipov. O ensaio consiste na determinação do Ca(OH)₂ fixado em 20 g de material triturado, inferior a 0,075mm, de uma solução saturada de Ca(OH)₂, sob temperatura de 40 oC, durante um período de 28 dias. Após atitulação obtém-se a quantidade de Ca(OH)₂ fixado pelos finos do agregado. É recomendado que se tenha uma fixação mínima de 30mg, de Ca(OH)₂ para cada 100g do material fino.

4.6- Índice de Atividade Pozolânica com Cimento

O Índice de Atividade Pozolânica do Pó de Pedra, com Cimento, é determinado pelo ensaio feito com base no método ASTM- C- 311 (Há metodologia análoga na NBR-ABNT), verificando a ação pozolânica do material. É uma maneira de avaliar o desempenho do Pó de Pedra quanto ao eventual ganho de resistência.

4.7- Índice de Atividade Pozolânica com Cal

O Índice de Atividade Pozolânica, do Pó de Pedra, com Cal, pode ser determinado, também, com base no método ASTM- C- 311, com a mesma conceituação anterior. Entretanto essa avaliação tem caído em desuso, pois a Especificação ASTM –C-618 não faz mais referência a Atividade com a Cal.

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” ...*^[13]

...” *When the reactive mineral is powdered, it can be used in a wide range of proportions without causing expansion. This was demonstrate by Vivian^[17] 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^[18], Stanton^[19] and others “....*^[16]

A redução da expansão pelo uso dos finos dos agregados pode ser determinada através da aplicação do método ASTM- C- 441 e ASTM-C- 1260, sendo verificado como um material pozolânico.

4.8.2- Reatividade Potencial- Método Acelerado

As determinações da reatividade potencial entre os álcalis do cimento e os finos podem ser feitas através de ensaios acelerados, pelo método ASTM-C-1260, usando como comparação o vidro Pirex (ASTM-C-441).



5- USOS EM CONCRETOS

5.1- Generalidades

Neste item apresenta-se um conjunto de aspectos relacionados ao uso de areia artificial como finos (pó de pedra) nos concretos

Das informações precedentes pode-se mencionar que o emprego do Pó de Pedra **pode** ter influências benéficas nas seguintes propriedades dos concretos:

- + Concreto Fresco:
 - o Trabalhabilidade;
 - o “Coevisidade”;
 - o Exsudação;
- + Concreto Endurecido:
 - o Resistências à Compressão e Tração;
 - o Impermeabilidade;
 - o Sanidade à Reações do Tipo Álcalis Agregado;
 - o Estabilidade Volumétrica

De maneira geral um teor elevado de Pó de Pedra (Finos) é mais útil em concretos “pobres”(baixo teor de aglomerante, do que em concretos “ricos”(alto teor de aglomerante). Em concretos de media resistência o aumento dos finos torna o concreto mais “gordo”.

5.2- Comportamento por Tipo de Concreto

Tipo do Concreto	Elementos de Referência	Comentários
Concreto Armado	Consumo de aglomerante superior a 300kg/m ³	O uso do Pó de Pedra torna o concreto muito “gordo”, dificultando o controle da trabalhabilidade. Nesse caso seu uso deve ser avaliado sobre outros aspectos, como impermeabilidade e atividades pozolânicas.
Concreto Pré-moldado	Consumo de aglomerante superior a 300kg/m ³	O uso do Pó de Pedra torna o concreto muito “gordo”, dificultando o controle da trabalhabilidade. Nesse caso seu uso deve ser avaliado sobre outros aspectos, como impermeabilidade e atividades pozolânicas.
Concreto Protendido	Consumo de aglomerante superior a 300kg/m ³	O uso do Pó de Pedra torna o concreto muito “gordo”, dificultando o controle da trabalhabilidade. Nesse caso seu uso deve ser avaliado sobre outros aspectos, como impermeabilidade e atividades pozolânicas.
Concreto Auto-adensável	Exsudação	Uso recomendável pois reduz a exsudação
Concreto Submerso	Desagregação	Uso recomendável e benéfico
Concreto Bombeável	Teor de Material Inferior a 0,3mm	Uso recomendável, nas ocasiões em que elevadas resistências não são requeridas
Concreto Projetado	Reflexão	Uso recomendável pois torna a mistura mais coesa, e com menor reflexão
Concreto Massa Convencional	Teor de aglomerante inferior a 200kg/m ³	Uso altamente recomendável pois possibilita melhoria de um grande elenco de propriedades (Trabalhabilidade; Coesividade; Exsudação; Resistências; Estabilidade Volumétrica; Impermeabilidade)
Concreto Compactado a Rolo	Granulometria e demais itens do Concreto Massa	Além de possibilitar melhorias análogas ao do Concreto Massa Convencional, proporciona um fechamento granulométrico reduzindo substancialmente a possibilidade de segregação

Não resta dúvida que além dos eventuais benefícios técnicos os Profissionais devem avaliar também os aspectos de custo, de uso de um material que pode ser aproveitado e a respectiva redução do impacto ambiental.

6- ABUSOS E ADVERTÊNCIAS

Como se vê no quadro do item precedente, alguns tipos de concreto podem apresentar aspectos desfavoráveis, quando do uso do Pó de Pedra.

O uso, ou abuso, da adição do Pó de Pedra passa a ser um inconveniente.

Alguns aspectos que **podem** ser considerados como abusivos:

- ✚ O uso de quantidades excessivas do Pó de Pedra pode acarretar o requerimento de uma maior quantidade de água e conseqüentemente a vulnerabilidade à Retração por Secagem;
 - ✚ O uso do Método do Módulo de Finura para as dosagens dos concretos pode ser camuflada pelo Teor de Finos, pois estes não entram na contabilidade do Módulo de Finura, falseando a interpretação;
 - ✚ Muitos Profissionais (??) confundem o Pó de Pedra com o “Pulverulento” tradicionalmente conhecido, e/ou com teores de argila, “forçando” o uso desses materiais;
 - ✚ Desconhecimento dos Profissionais (??) quanto a adequada utilização dos equipamentos de Britagem. Algumas vezes julgam que as areias britadas obtidas a partir das máquinas convencionais (primário ou secundário) com grãos lamelares/alongados, tem a mesma qualidade das areias produzidas por máquinas adequadas. Ou, também, não usar adequadamente um equipamento próprio para a produção de areia; isto é, não dando a alimentação correta, ou a rotação do incorreta do rotor.
-
-

7- PRODUÇÃO E POSSÍVEIS MELHORIAS

A produção de areias britadas a partir dos anos 70 passou a ser feita com máquinas mais adequadas, com níveis de produção favoráveis, com forma aproximadamente cúbica.



Figura 7.01- Rebritador 48 V.F.C



Figura 7.02- Rebritador Barmac



Figura 7.03- Rebitadores Duo-Pactor Merlin

Existe, ainda, uma melhoria que pode ser viabilizada, que é ao se ter uma rocha com características mineralógicas favoráveis, incrementar a Finura para uso do Pó de Pedra, como um material efetivamente Pozolânico.

8- COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES

- ✚ A Forma das partículas de areia é de extrema relevancia;
- ✚ O Pó de Pedra, das areias britadas, **pode** ser usado de maneira conveniente, com vantagens;
- ✚ Há a possibilidade de se reduzir e/ou eliminar a necessidade de lavagem das areias britadas, desde que produzidas a partir de rocha limpa;
- ✚ Há necessidade de se tomar cuidados com o sistema de produção adotado;
- ✚ Há possibilidades de redução de custos;
- ✚ Há vantagens nos aspectos de inserção ao meio ambiente

É extremamente recomendável que o emprego do Pó de Pedra seja precedido por um estudo visando o conhecimento de seu desempenho.

9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01]- ASTM –C- 33- Standard Specification for Concrete Aggregates ;
- [02]- ABNT-NBR- 7211- Agregados para Concreto;
- [03]- **Fulton's- Concrete Technology-** PCI- South Africa- 1994
- [04]- *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
- [05]- *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
- [06]- *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
- [07]- *Andriolo, F.R.; Schmidt, M.T.-* **“The Capanda RCC Dam in Angola”**- International Water Power & Dam Construction - February 1992
- [08]- *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
- [09]- *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
- [10]- *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
- [11] *Andriolo, F.R.-* **“Materials and RCC Quality Requirements”**- Special Lecture on IV Symposium on RCC Dam- Madrid – Spain- November- 2003
- [12] - *Andriolo, F.R- Krempel, A.F. -* **“The Use of Basaltic Crushed Powder (Filler) in the RCC”**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander- Spain – Outubro-1995;
- [13]- *Lea, Frederick M-* **“The Chemistry of Cement and Concrete”**- Third Edition - 1970
- [14]- *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
- [15]- *Andriolo, F.R.-* **“RCC Properties”**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander - Spain -1995
- [16]- *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 -Chicago - June-1955
- [17]- *Vivian, H.E. -* **“Studies in Cement-Aggregate Reaction : Effect on Mortar Expansion of the Particle Size of Reactive Component in the Aggregate”**- XIX Australian Journal of Applied Science -1951
- [18]- *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 Pozzolanic Materials in Mortar and Concretos - ASTM Special Technical publication No. 99-1950
- [19]- *Hanna, W.C.;* - **“Unfavorable Chemical Reactions of aggregates in Concrete and a Suggested Corrective “**- Proceedings ASTM- No.47- 1947