

|                                                                                              |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>IBRACON | IV Seminário Desenvolvimento<br>Sustentável e a Reciclagem na<br>Construção Civil - Materiais Reciclados e<br>suas Aplicações<br><br>São Paulo 5 e 6 de junho de 2001 | <br>CT- 206<br>MEIO<br>AMBIENTE |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## ADIÇÃO DE FINOS DE PEDREIRA EM MISTURAS DE SOLO- CIMENTO

PISSATO, Edilson (1); SOARES, Lindolfo (2)

- (1) Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Guarulhos-SP. Mestre pelo Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP, Av. Antonio Vita, nº 09 – Parque Renato Maia – Guarulhos, SP. CEP 07114-010. E-mail: [epissato@ig.com.br](mailto:epissato@ig.com.br).
- (2) Professor Titular; Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. E-mail: [lindolfo@usp.br](mailto:lindolfo@usp.br)

**Palavras-chave:** Finos de pedreira, solo-cimento, reciclagem

### RESUMO

No presente trabalho é apresentado o estudo da utilização de finos de pedreira como elemento constituinte na mistura de solo-cimento para correção granulométrica de um solo argiloso, melhorando suas características físicas e oferecendo ainda uma nova alternativa para destinação de tal resíduo de mineração. Foram estudadas misturas com diversas proporções entre finos de pedreira e solo, ambos provenientes de uma mineração localizada na Região Metropolitana de São Paulo. As misturas foi adicionado cimento em proporções variáveis, de forma a obter a quantidade mínima para estabilização do material na forma de solo-cimento, de acordo com a Norma Brasileira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1992).

### 1. INTRODUÇÃO

O esgotamento dos recursos naturais não renováveis tem exigido cada vez mais esforços no desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionem a substituição das matérias primas tradicionalmente utilizadas na construção civil por materiais considerados até então descartáveis, de forma a reduzir custos e diminuir os impactos ambientais causados pela disposição de resíduos.

É o caso dos finos de pedreira, material gerado nos processos de produção de rocha britada e que normalmente não tem destinação, acumulando-se dentro das minerações ou em áreas de despejo industrial, ocupando áreas úteis, provocando impacto visual, poluição do ar e assoreamento das drenagens.

No presente trabalho propõe-se uma nova alternativa no aproveitamento dos finos de pedra utilizando-os como componente em misturas de solo-cimento.

De forma a avaliar o comportamento do solo-cimento executado com adição dos finos de pedra, foram realizados ensaios de compressão simples, ou não confinada, em corpos de prova moldados com misturas entre um solo natural argiloso e várias proporções de finos de pedra, utilizando-se para cada mistura diferentes teores de cimento em massa. Os resultados obtidos foram comparados aos valores de resistência à compressão admitida pela Norma Brasileira (ABNT, 1992).

Para os ensaios foram utilizadas amostras de finos de pedra provenientes da Pedreira Reago S/A, localizada no Município de Guarulhos, Região Metropolitana de São Paulo. O solo utilizado corresponde ao capeamento de uma futura frente de lavra da pedra.

## 2. FINOS DE PEDREIRA

Na Região Metropolitana de São Paulo existem 42 pedreiras em operação, produzindo em média 14,5 milhões de metros cúbicos de rocha britada, dos quais cerca de 5 a 10% correspondem aos finos de pedra (FUJIMURA et al., 1996). Quando não utilizados acumulam-se em pilhas dentro das minerações ou em bota-foras gerando sérios problemas ambientais como: emissão de material particulado no ar provocando poluição atmosférica, carregamento pelas águas pluviais e assoreamento das drenagens, impacto visual, ocupação de áreas que poderiam ter finalidade mais nobre.

Embora apresente denominação bastante variável, neste trabalho adotou-se a definição de finos de pedra mais utilizada na literatura: como sendo o material granulometricamente situado abaixo da fração 4,8 mm derivado dos processos de perfuração, detonação e cominuição de rochas (FUJIMURA et al., op. cit). Os finos de pedra normalmente apresentam forma cúbica, superfícies rugosas e angularidades proeminentes.

Na Tabela 1 é apresentada a classificação mais usual adotada pelas minerações brasileiras para os produtos de britagem de rochas.

Para diminuir os impactos ambientais e proporcionar o aproveitamento econômico dos finos de pedra, várias possibilidades vêm sendo estudadas. Entre elas pode-se citar o uso como agregado miúdo na fabricação de blocos de alvenaria ou em concreto compactado a rolo, aplicado em pavimentos, ou ainda a comercialização como areia artificial, após lavagem da fração mais fina (pó de pedra).

Tabela 1 - Classificação granulométrica dos produtos de britagem de rochas.

| Brita numerada | Tamanho nominal |             |
|----------------|-----------------|-------------|
|                | Mínimo (mm)     | Máximo (mm) |
| Finos de pedra |                 | < 0,075     |
| Pó-de-pedra    |                 |             |
| Pedrisco       | 0,075           | 4,8         |
| Brita 1        | 4,8             | 12,5        |
| Brita 2        | 12,5            | 25          |
| Brita 3        | 25              | 50          |
| Brita 4        | 50              | 76          |
| Brita 5        | 76              | 100         |
| Rachão         | > 100           |             |

Fonte: Manual FAÇO (modificado por MENDES, 1999).

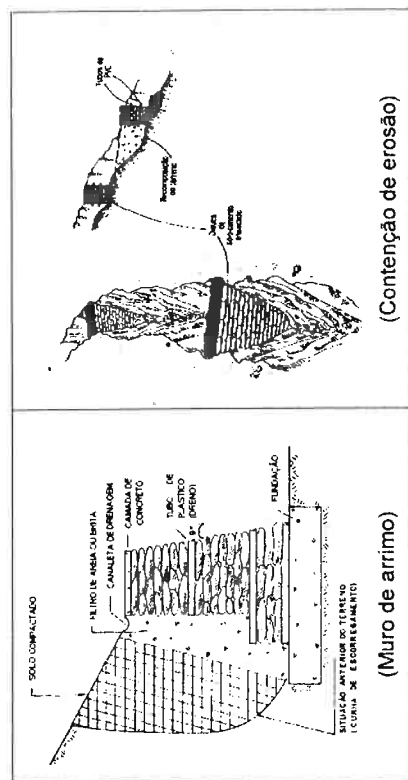
## 3. SOLO-CIMENTO

O solo-cimento tradicional constitui uma mistura compactada de solo, cimento e água que, após a cura e endurecimento, adquire resistência mecânica, flexibilidade, elasticidade e resistência à erosão. Pode assim ser aplicado sob várias formas:

- na pavimentação: como leitos, sub-leitos e camadas de rolamento;
- na habitação: fabricação de tijolos, execução de paredes monolíticas de edificações ou ainda em pisos, contra pisos e fundações;
- em obras de contenção: muros de arrimo para contenção de taludes de corte ou aterro; regularização de margens de córrego e estruturas de contenção de erosão. Neste caso é utilizada a técnica designada como solo-cimento ensacado, que consiste no empilhamento e compactação de sacos de polietileno preenchidos com a mistura de solo-cimento. Na Figura 1 estão ilustradas estruturas típicas de contenção utilizando solo-cimento ensacado.

O solo-cimento pode ainda ser utilizado para revestimento de taludes em solo e taludes de montante de barragens de terra, sendo em tais casos compactado diretamente na superfície em camadas horizontais.

As principais vantagens de utilização do solo-cimento como alternativa construtiva nos casos acima estão na facilidade de execução, não requerendo mão-de-obra especializada, e nos baixos custos envolvidos, proporcionando economia de até 40% em relação às obras utilizando materiais convencionais (ABCP, 1974).



Fonte: Prefeitura Municipal de Juiz de Fora (1985).

Figura 1. Exemplos de estruturas executadas com solo-cimento ensacado.

#### 4. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

##### 4.1. Solo

O solo utilizado na preparação das misturas constitui o capeamento da pedra, e corresponde ao horizonte B superficial. Apresenta constituição predominantemente argilosa, coloração marrom avermelhada, tendo composição e textura típicas de solo laterítico. A análise por difratometria de raios X indicou predominância dos seguintes minerais: quartzo, argilo-minerais do grupo da kaolinita, óxidos hidratados de alumínio e ferro (gibbsita e goethita).

Os resultados dos ensaios de caracterização estão expressos na Tabela 2 enquanto que a Tabela 3 e a Figura 2 mostram os resultados da avaliação granulométrica dos solos.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de caracterização do solo.

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| Massa específica média a 20°C (g/cm³) | 2,658 |
| Teor de umidade (%)                   | 1,708 |
| Limite de liquidez (%)                | 38,9  |
| Limite de plasticidade (%)            | 24,7  |
| Classificação segundo ASTM (1999)     | A6    |

Tabela 3 - Composição granulométrica do solo.

| Fração       | (%) |
|--------------|-----|
| Argila       | 41  |
| Silte        | 5   |
| Areia fina   | 47  |
| Areia grossa | 7   |
| Pedregulhos  | 0   |

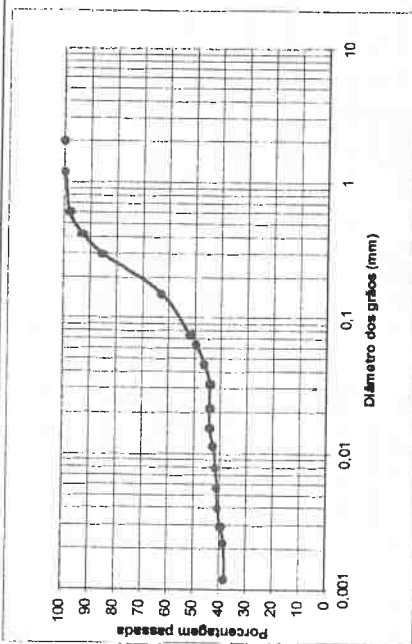


Figura 2. Distribuição granulométrica do solo.

##### 4.2. Finos de pedra

A caracterização da amostra de finos de pedra apresentou a distribuição granulométrica resumida na Tabela 4 e Figura 3. A composição mineralógica, determinada através da difratometria de raios X indicou a existência de quartzo, feldspato potássico (microclínio), plagioclásio e micas.

Tabela 4. Composição granulométrica dos finos de pedra.

| FRAÇÃO            | (%) |
|-------------------|-----|
| Argila            | 0   |
| Silte             | 0   |
| Areia fina        | 37  |
| Areia grossa      | 37  |
| Pedregulho fino   | 24  |
| Pedregulho grosso | 2   |

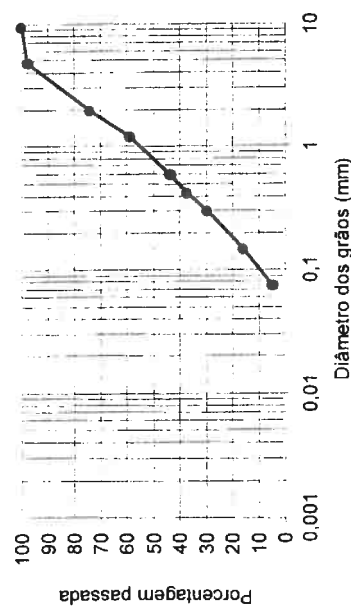


Figura 3. Distribuição granulométrica dos finos de pedra.

## 5. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 5.1. Composição das misturas

Qualquer solo pode ser estabilizado com cimento, porém os solos arenosos são os mais indicados por apresentarem maior facilidade nos processos de desagregação e mistura e requererem menores quantidades de cimento para estabilização em relação aos solos argilosos. A preferência por solos arenosos é confirmada por PINTO (1980), ABCP (1986), e pelo CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO – CEPED (1999). Além disso a experiência brasileira, traduzida na Norma Brasileira de Dosagem de Solo-cimento (ABNT, 1992), recomenda utilização de solos até A4, conforme a classificação da Highway Research Board – HRB (ASTM, 1999).

Contudo, solos argilosos podem ser corrigidos com adição de material granular, de forma que possa atender às especificações técnicas (ABCP, 1984).

Valendo-se desse princípio, foram feitas misturas com solo argiloso e finos de pedra nas proporções indicadas na Tabela 5, sendo então aplicados os procedimentos propostos no método brasileiro para dosagem de solo-cimento (ABNT, 1992).

Tabela 5. Composição das misturas entre solo e finos.

| AMOSTRA | PROPORÇÃO                  |
|---------|----------------------------|
| A       | 50% de finos + 50% de solo |
| B       | 60% de finos + 40% de solo |
| C       | 70% de finos + 30% de solo |

## 5.2. Ensaios de solo-cimento

Os procedimentos para aplicação da norma brasileira para dosagem podem ser assim resumidos:

- ensaios de caracterização das amostras;
- ensaios de compactação do solo-cimento utilizando o teor de cimento em massa indicado na norma, em função da classificação do solo;
- moldagem dos corpos de prova de solo-cimento;
- determinação da resistência à compressão simples aos sete dias de cura.

Segundo os critérios estabelecidos na norma, deve-se adotar como teor mínimo de cimento capaz de estabilizar o solo como solo-cimento, o menor dos teores que forneça resistência média igual ou superior a 2,1 MPa.

Embora a classificação das três amostras corresponda a um solo do tipo A4, indicando utilização de 8 a 10% de cimento em massa, os corpos de prova para realização dos ensaios de compressão simples foram moldados, para cada uma delas, adicionando-se cimento na proporção de 5%, 8%, 10% e 12%. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Figura 4.

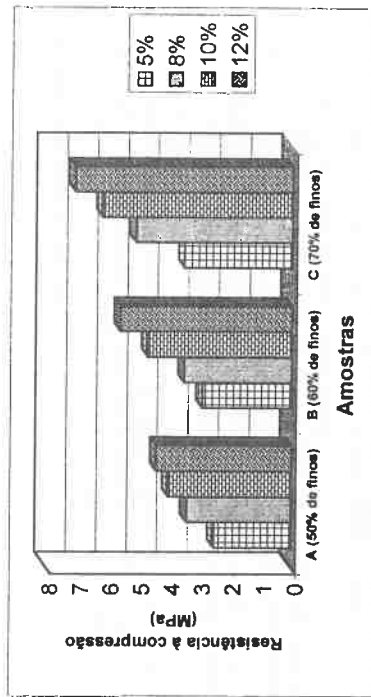


Figura 4. Resistência à compressão simples em relação à proporção de finos de pedra e ao teor de cimento em massa (%).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostram que todos os corpos de prova ensaiados apresentaram resistência à compressão simples superior ao valor mínimo de 2,1 MPa, admitido na Norma Brasileira (ABNT, 1992). Assim as três amostras ensaiadas podem ser estabilizadas com adição de 5% de cimento em massa, teor considerado economicamente viável e que justifica a utilização do solo-cimento.

A quantidade de finos nas misturas teve influência significativa na resistência à compressão simples das amostras, aumentando sensivelmente a resistência e diminuindo a quantidade de cimento mínima para estabilização.

O comportamento do material frente aos ensaios, abre excelentes perspectivas para uma nova alternativa de aproveitamento dos finos de pedra, agregando a eles valor econômico e diminuindo os impactos ambientais associados ao seu descarte. Além disso, a adição dos finos na correção de solos argilosos possibilita o uso da técnica do solo-cimento, em suas várias formas de aplicação, em locais onde não ocorrem solos arenosos, mais indicados para o uso proposto. É o caso da maior parte da Região Metropolitana de São Paulo, onde o uso do solo-cimento foi muito pouco explorado pela escassez de solos apropriados, mas onde contudo existe grande número de pedreiras. Dessa forma possibilita-se a execução de obras sociais e de infra-estrutura a baixo custo em um grande centro urbano.

O uso de um resíduo para construção de obras com baixo custo pode representar, sob o enfoque social e ambiental, uma atividade bastante viável contribuindo para o alcance da sustentabilidade da exploração dos recursos naturais para uso na construção civil.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Standard practice for classification of soil and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes* - D 3282. Book of ASTM standards. Philadelphia, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. *Aplicações de solo-cimento - experiência brasileira*. ABCP, São Paulo, 1974.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Prospecção de jazidas e coletas de amostras de solos para solo-cimento. Mistura de dois solos*. ET-59. ABCP, São Paulo, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. - ABCP. *Dosagem das misturas de solo-cimento, normas de dosagem e métodos de ensaios*. 3ª ed. Atual, revisada. São Paulo, 1986. ABCP. (ET-35)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Solo-cimento - dosagem para emprego como camada de pavimento* - NBR 12253. Rio de Janeiro, 1992.
- CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO - CEPED. *Manual de construção com solo-cimento*. 4ª ed. Atual. São Paulo, ABCP, 1999 (MT-5).
- FUJIMURA, F.; SOARES, L.; HENNIES, W. T.; SILVA, M. A. R. *Environmental issues and profitable uses of stone quarry fines*. . Fourth International Conference on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. (SWEMP). *Proceedings*. Cagliari, Italy, 1996.

MENDES, Kleber da Silva. *Viabilidade do emprego de finos de basalto em concreto compactado a rolo*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, São Paulo, 1999.

PINTO, C. S. *Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento*. 4ª ed. São Paulo. ABCP, 1980, 22p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA. *A utilização de solo-cimento em obras de contenção*. Juiz de Fora/MG. ABCP, 1985 (ET-132).