

## UTILIZAÇÃO DE REJEITOS MINERAIS EM MISTURAS ASFÁLTICAS

Ribeiro, R. C. C.<sup>1,2</sup>, Correia, J. C. G.<sup>1</sup> e Seidl, P. R.<sup>2</sup>

1. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Av Ipê, 900, Ilha da Cidade Universitária, UFRJ, Rio de Janeiro- RJ, Tel (21) 38657359, e-mail: [rcarlos@cetem.gov.br](mailto:rcarlos@cetem.gov.br) e [jguedes@cetem.gov.br](mailto:jguedes@cetem.gov.br)

2. Escola de Química da UFRJ, Av .1, Quadra 7, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ, Tel (21) 25627586, [pseidl@eq.ufrj.br](mailto:pseidl@eq.ufrj.br)

A preocupação com o meio ambiente tem aumentado nas últimas décadas devido ao fato da qualidade de vida estar diretamente relacionada com um meio ambiente limpo. O município de Stº Antônio de Pádua situa-se ao noroeste do Estado do RJ, possuindo uma quantidade expressiva de pedreiras e serrarias de rochas ornamentais. Ameaçadas de fechamento, por provocarem a poluição e o assoreamento de rios, decorrente da produção de 720 toneladas mensais de rejeitos, as serrarias de resolveram tomar uma atitude no que concerne a recuperação dos rios e utilização dos finos gerados. Pesquisas realizadas pela Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequena Empresa – CATE/CETEM, viabilizaram a utilização desses rejeitos em pavimentação asfáltica, que além do cimento asfáltico do petróleo (CAP), utiliza 95% de agregados minerais. Baseado nas questões levantadas anteriormente, este trabalho tem como objetivo apresentar a aplicabilidade do rejeito sólido gerado pelas serrarias de granito da região de Santo Antônio de Pádua – RJ, em pavimentação. Para execução deste trabalho, utilizou-se as normas estabelecidas para agregados minerais segundo o Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte (DNIT), constando de análise granulométrica, abrasão Los Angeles, forma e densidade. Além disso, o rejeito foi avaliado por meio de análises química e mineralógica, bem como pelo processo de interação química com um CAP. Por fim realizou-se ensaios de resistência mecânica em peças de asfalto utilizando esse rejeito. Os resultados indicaram o enquadramento do rejeito às normas estabelecidas para agregados segundo o DNIT além de se caracterizar como um gnaíse capaz de interagir a altos valores de adsorção (4,5mg/g) com o CAP. Além disso, apresentou um valor de resistência mecânica, aceitável pelas normas de pavimentação (<80%). Pode-se concluir que o rejeito mineral do corte de gnaíse apresenta potencialidade de utilização em pavimentação, contribuindo-se para redução do impacto ambiental.

**Palavras-chave:** rejeitos minerais, asfalto, tecnologias limpas

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns países, como o Brasil, que dispõem de importantes recursos geológicos e onde a extração de rochas ornamentais encontra-se em acelerado desenvolvimento enfrentam sérios problemas com os rejeitos provenientes da extração e beneficiamento dessas peças. Esses rejeitos contaminam diretamente os rios, poluem visualmente o ambiente e os finos gerados acarretam doenças pulmonares nos seres vivos (Silva,1998).

A região de Santo Antônio de Pádua, localizada a noroeste do estado do rio de janeiro, apresenta como principal fonte de sua economia, a extração e beneficiamento de rochas ornamentais. Porém, a retirada de blocos para a produção de chapas, gera uma quantidade significativa de rejeitos grosseiros, gerado pela quebra das peças durante o corte (figura 01), e rejeitos finos que aparecem na forma de lama. Esta é geralmente constituída de água, de granalha, de cal e de rocha moída (aluminossilicatos, feldspato e quartzo), que após o processo são lançadas no meio ambiente. Após a evaporação da água, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos, sendo alguns casos canalizada diretamente para os rios e lagos, como apresentado na figura 02 (Farias, 1995).



**Figura 01:** Disposição de rejeitos grossos nos rios da região de Santo Antônio de Pádua.



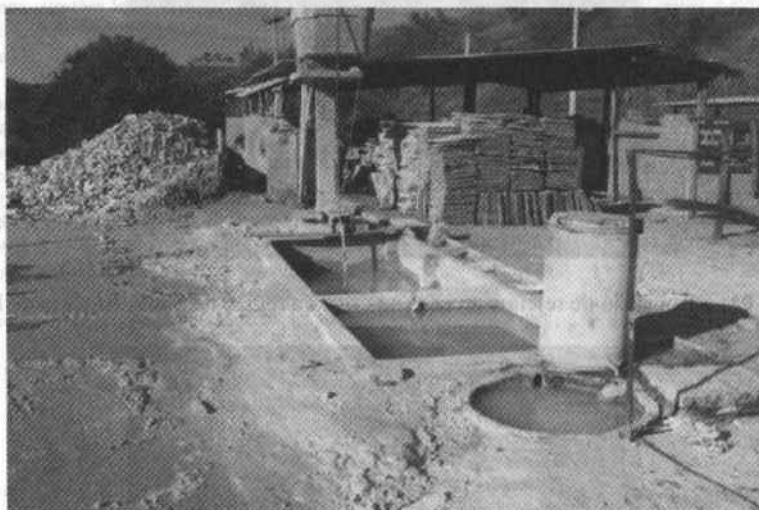
**Figura 02:** Geração de lama contendo finos do corte das rochas.

Os problemas mencionados anteriormente vem despertando a atenção das autoridades, que por meio de leis ambientais vem multando e fechando serrarias e pedreiras que lançam estes rejeitos no meio ambiente. A solução que as pedreiras e serrarias tiveram foi a de encontrarem algum valor econômico para seus rejeitos, atender as exigências dos órgãos ambientais e poderem continuar funcionando (Silva,1998).

A fina granulometria, composição pré-definida (granito moído, cal e granalha de ferro ou aço) e a inexistência de grãos mistos entre os três componentes básicos dos rejeitos gerados impulsionaram estudos na viabilidade de utilização dos mesmos em diversos setores da indústria (Silva,1998).

Atualmente a Coordenação de Apoio Tecnológico a Pequena e Média Empresa (CATE) do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) vem atuando na regulamentação das serrarias e no estudo do aproveitamento destes rejeitos.

Uma solução para este problema apresentada pelos pesquisadores da CATE foi a construção de unidades de tratamentos de efluentes (UTE), apresentadas na Figura 03, para o recolhimento dos rejeitos finos e envio de água isenta de contaminantes para o meio ambiente ou reaproveitamento da mesma no processo, legalizando as serrarias e permitindo seu funcionamento de acordo com as normas ambientais. Quanto aos rejeitos grossos, coube uma destinação em um local apropriado nas serrarias, sendo ambos retirados mensalmente pela prefeitura para um aterro. Porém, como o aterro se encontra já saturado, coube uma pesquisa para a utilização destes rejeitos. O estudo inicial foi a aplicação em argamassas, tijolos e telhas, favorecendo a diminuição do impacto ambiental, que foi patenteado (PI 0205481-7) pelo grupo de pesquisas (Carvalho *et al*, 2003).



**Figura 02:** Unidade de Tratamento de Efluentes (UTE)

Baseado na proposta de utilização de rejeitos de serrarias apresentados anteriormente surge a proposta de utilização deste abundante rejeito mineral na produção de asfalto.

O asfalto utilizado em pavimentação é constituído, geralmente, por 95% de agregados minerais (geralmente britas de basalto e areia) e 5% de cimentos asfálticos de petróleo (CAP). O CAP constitui a fração pesada da destilação do petróleo sendo classificado como um material termosensível utilizado principalmente em

trabalhos de pavimentação, pois, além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui características de flexibilidade e resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis (Elphinstone, 1997 e Franquet, 1999).

Na pavimentação asfáltica o CAP tem função de ligante, ficando responsável pela aglutinação dos agregados minerais. Estes, por sua vez, são responsáveis por suportar o peso do tráfego e oferecer estabilidade mecânica ao pavimento. Dentre os agregados minerais mais utilizados podemos citar a areia, o pedregulho, a pedra britada, a escória e o filer. Por representarem mais de 95% da composição do asfalto, os agregados minerais devem ser extraídos da natureza e beneficiados, sendo os responsáveis pela maior parcela de custo do asfalto produzido (Leite *et al*, 2003).

Baseado nisto, o objetivo deste trabalho é substituir os agregados minerais que constituem o asfalto, por rejeitos gerados na extração e beneficiamento de rochas ornamentais. Dessa forma, pretende-se reduzir os custos da produção do asfalto e principalmente reduzir o impacto ambiental causado por esses rejeitos contribuindo com as Tecnologias Limpas.

## 2. MATERIAIS

### 2.1 Agregados Minerais

Os agregados minerais utilizados neste trabalho são rejeitos do corte de rochas ornamentais provenientes da região de Medeiros Neto (BA) e Santo Antônio de Pádua (RJ).

### 2.2 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

O cimento asfáltico de petróleo estudado foi fornecido pela Petrobrás e será chamado de A.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Análise dos Agregados Minerais

O rejeito mineral seguiu as normas preconizadas pelo DNIT que estabelecem os critérios de utilização de agregados minerais em pavimentações. A fim de confiabilidade, os resultados obtidos foram comparados com um agregado mineral basáltico, amplamente utilizado em pavimentação.

#### 3.1.1- Análise Mineralógica

Para determinação da composição mineralógica de cada agregado mineral utilizou-se a metodologia descrita em Almeida (2000) e foi realizada pela Coordenação de Análise Mineral (COAM) do CETEM.

#### 3.1.2 - Análise Química

A caracterização química do conjunto de agregados minerais foi realizada por fluorescência de raios-X., pela Coordenação de Análises Químicas do CETEM

#### 3.1.3 – Densidade

Para o ensaio de densidade cada agregado foi lavado e levemente seco em um pano úmido e a seguir pesado, obtendo-se assim o Peso Úmido ( $P_u$ ). A seguir o material foi colocado em uma cesta acoplada à balança e imerso em água para a obtenção do Peso Imerso ( $P_i$ ). Retirado da cesta, o material foi seco em estufa e pesado novamente para obtenção do Peso Seco ( $P_s$ ). Por meio das equações 1 e 2, pôde-se obter os valores de densidade real e aparente dos agregados.

$$D_R = P_s / P_s - P_i \quad (1)$$

$$D_A = P_s / P_u - P_i \quad (2)$$

### 3.1.4 – Abrasão Los Angeles

Para o ensaio de abrasão *Los Angeles*, 2.500g de agregado, livre de poeira, foi adicionado ao aparelho, que ficou em operação durante 40 minutos a 500r.p.m.. Após esse período todo o material foi peneirado (4# ou menor 2mm), sendo o retirado da peneira lavado, seco e pesado. O valor da abrasão *Los Angeles* pôde ser obtido por meio da diferença entre a massa total adicionada e quantidade de pó gerada, multiplicada por 100 %.

## 3.2 Avaliação da Interação Química CAP/Rejeito Mineral

### 3.2.1 – Adsorção

Para realização dos ensaios de adsorção pesou-se 0,5 g de rejeito e colocou-se em 10 tubos de centrifuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de CAP nas seguintes concentrações: 0,0005; 0,001; 0,0015; 0,0025; 0,005; 0,0075; 0,01; 0,0125; 0,015 e 0,02 mg/L. A seguir os tubos foram agitados por 4 horas, a 200 r.p.m., centrifugados por 30 minutos, a 3000 r.p.m., e cada material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta visível, em comprimento de onda fixo em 402nm. Uma vez que estudos anteriores de Gonzales e Middea (1988) indicaram este comprimento de onda como o mais adequado. Com isso pôde-se obter os valores de absorbância antes e após adsorção de CAPs com os agregados minerais e verificar o percentual de adsorção.

## 3.3 Avaliação da Resistência Mecânica do Asfalto

Para realização dos ensaios de resistência mecânica, moldou-se três corpos de prova contendo o rejeito mineral e o CAP A. O primeiro corpo de prova foi avaliado quanto à resistência mecânica por compressão diametral sem nenhum tipo de condicionamento. Os outros dois corpos foram sujeitos a um processo de condicionamento especificado no método AASHTO T 283/89, simulando a ação do intemperismo, congelamento por 18 h e aquecimento em banho-maria por 24 h, sendo avaliados posteriormente quanto à resistência mecânica por compressão diametral. O resultado do ensaio foi obtido em percentual, sendo reportado pela relação entre a média dos valores de resistência à tração dos corpos de prova submetidos previamente ao condicionamento (RC) e, a resistência dos corpos de prova sem condicionamento (RSC), como indicado na equação 3.

$$\text{Razão de Resistência (\%)} = (RC/RSC) \cdot 100 \quad (3)$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1- Análise dos Agregados Minerais

#### 4.1.1- Análise Mineralógica

A tabela 01 apresenta os resultados da análise mineralógica realizada com o rejeito e com um agregado mineral geralmente utilizado em pavimentação. Pode-se verificar uma semelhança entre as composições mineralógicas de ambos, observando-se uma alta concentração de feldspatos e baixa concentração de mica, típico desse tipo de minerais (Dana, 1970).

**Tabela 01:** Composição Mineralógica dos Minerais.

Minerais	Basalto	Rejeito
Feldspato	64%	62%
Quartzo	27%	25%
Mica	9%	13%

#### 4.1.2- Análise química

Os resultados obtidos por difração de raios-x dos agregados minerais estão apresentados na tabela 02. Pode-se verificar que ambos apresentam resultados muito semelhantes, com um alto teor de sílica e alumina, com relações Si/Al em torno de 4, 5, característico de um aluminossilicato (Dana, 1970). Observa-se, no entanto um maior teor de ferro para o gnaíse, devido, possivelmente ao maior teor de mica, como apresentado na tabela 01.

**Tabela 02:** Análise Química dos Minerais

<b>Composição (%)</b>	<b>Rejeito</b>	<b>Basalto</b>
SiO <sub>2</sub>	67,14	72,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,92	16,54
K <sub>2</sub> O	5,18	6,69
Na <sub>2</sub> O	2,93	3,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,4	2,49
CaO	1,91	7,51
TiO <sub>2</sub>	0,73	3,17
MgO	0,73	2,91

#### 4.1.3- Densidade

Os resultados das densidades real e aparente do rejeito e do agregado mineral encontram-se ilustrados na tabela 03. Pode-se verificar valores de densidade em torno de 2,9 g/mL para ambos, comprovando novamente sua similaridade.

Segundo LEITE *et al* (2002), geralmente, os agregados minerais utilizados em pavimentação apresentam valores de densidade e em uma faixa entre 2 e 4 g/mL. Dessa forma, observa-se que os minerais, basalto e gnaíse encontram-se dentro desta faixa e que o mineral calcáreo encontram-se no limite dos valores aceitáveis.

**Tabela 03:** Resultados das densidades real e aparente

<b>Mineral</b>	<b>Densidade Real (g/mL)</b>	<b>Densidade Aparente (g/mL)</b>
Basalto	2,96	2,68
Rejeito	2,98	2,83

#### 4.1.4 - Abrasão

Com relação aos resultados de abrasão, pode-se verificar que o basalto é o mineral de maior resistência, apresentando um valor de abrasão em torno de 13% e o rejeito mineral apresentou um valor em torno de 45 %. Verificou-se que o rejeito apresentou valores aceitáveis pelo DNIT, uma vez que valores inferiores a 50%, consideram-no apto para utilização em pavimentação.

## 4.2- Avaliação da Interação CAP/ Agregados

### 4.2.1- Adsorção

A figura 04 apresenta os resultados da adsorção do CAP A na superfície dos minerais. Pode-se observar o aumento da adsorção de CAP à superfície mineral à medida que a concentração final de CAP é aumentada em todas as condições de estudo. Verifica-se um comportamento de adsorção química à superfície de ambos os minerais, extremamente similar, chegando-se a valores máximos em torno de 4,5 mg/g. Estes resultados corroboram todo comportamento apresentado pelo rejeito nos demais experimentos.

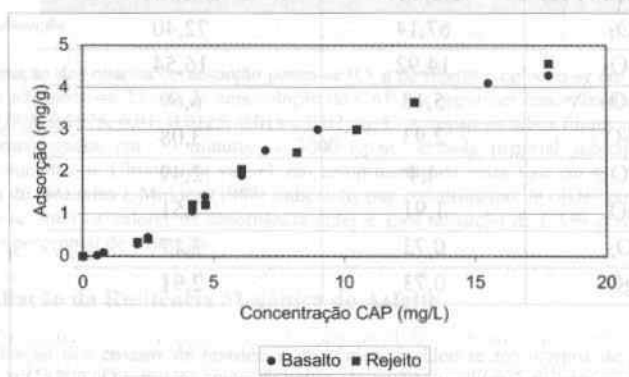


Figura 04: Adsorção de CAP na superfície mineral em função da concentração de CAP.

### 4.3 Avaliação da Resistência Mecânica

A tabela 04 apresenta os resultados de resistência mecânica dos asfaltos produzidos utilizando-se o rejeito em estudo e um agregado "padrão". Pode-se verificar que o asfalto produzido com este rejeito é condizente com as normas estabelecidas pelo DNIT, que preconiza valores superiores a 80%.

Tabela 04: Valores de Razão de Resistência Mecânica dos Asfaltos.

Minerais	Razão de Resistência (%)
Basalto	114,46 %
Rejeito	130,0 %

## 4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o rejeito mineral produzido pelas pedreiras e serrarias de rochas ornamentais da região de Srº Antônio de Pádua pode ser utilizado em pavimentação asfáltica em substituição aos agregados comumente utilizados. Dessa forma, reduz-se o custo do pavimento e contribui-se com as tecnologias limpas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOLLINO, O., ACETO, M., MALANDRINO, M., SARZANINI, C. AND MENTASTI, E., Adsorption of heavy metals on Na-montmorillonite. Effect of pH and organic substances, *Water Research*, 37, 1619-1627, Italy, 2003.
- ALMEIDA, S. L. M., Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de St<sup>o</sup> de Pádua na Produção de Britas e Areia, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP, 2000.
- CARVALHO, E. A., CAMPOS, A. R. e PEITER, C. C., Mitigação do Impacto Ambiental provocado por Efluentes de Serrarias de Rochas Ornamentais em Santo Antônio de Pádua, Relatório Técnico, CETEM, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- DANA, J. D., Manual de Mineralogia, Volume 2, Rio de Janeiro, RJ, 1970.
- GONZÁLEZ, G. & MIDDEA, A., Asphalticenes Adsorption by Quartz and Feldspar, *J. Dispersion Science and Technology*, 8 (5 & 6), P: 525-548, 1988.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte, ME 035/98 Agregados: Determinação da Abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro, 3p, 1998.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte, ME 084/98 – Agregados: Determinação de densidade real, Rio de Janeiro, 3p, 1998.
- ELPHINSTONE, G. M., Adhesion and cohesion in asphalt aggregate systems – Dissertation submitted to Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 1997.
- FARIAS, C. E. G. Mercado Nacional. Séries Estudos Econômicos Sobre Rochas, vol. 2, Fortaleza, 1995.
- FARRAH, H. AND PICKERING, The Sorption of lead and cadmium species by clay minerals, *Aust. J. Chem* 30, 1417-1422, 1977.
- FRANQUET, P. F., Adhesividad y activación, Carreteras 103, Septiembre, 1999.
- GONZALES, G. e MIDDEA, A., Peptization of asphaltene by various oil soluble amphiphiles, *Energy and Fuels*, pp. 201-217, 1990.
- JENNINGS, P. W. (1991). Binder Characterization and Evaluation by NMR Spectroscopy, Final Report, Dept. of Chemistry Montana State University.
- JOHN, V. M., VILELA, L. O., WUL, e YUKI, M. A. (2000). “Materiais Betuminosos para Pavimentação”, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- LEITE, L. F. M., RIBEIRO, R. C. C., DA SILVA, P. D., A., BORGES, P., e MORÃO, F., Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas, Relatório Técnico, CENPS, Rio de Janeiro, 2002.
- SILVA, S. A. C. Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 1998.
- RIBEIRO, R. C. C., Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Minerais na Formação do Asfalto, Tese de Mestrado. EQ – UFRJ, 2003.