

Utilização do Rejeito do Corte de Granito em Pavimentação Asfáltica

Magno Rodrigues da Silva Carvalho

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Metalúrgica, UFRJ

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Prof^o. Engenheiro Químico, M. Sc.

Regina Coeli Casseres Carrisso

Orientadora, Engenheira Metalúrgica, D. Sc.

Resumo

O processo de extração de rochas ornamentais, como o granito, gera toneladas de rejeitos minerais grossos (aparas) e finos (pó), que representam um grande problema ambiental para o setor. A fim de tentar solucionar tal problema, surge o processo de pavimentação asfáltica, que além do cimento asfáltico do petróleo (CAP), utiliza também cerca de 95% de agregados minerais em sua composição. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi o de verificar a potencialidade de utilização de um rejeito mineral granítico em substituição aos agregados utilizados em pavimentação. Pôde-se verificar que o rejeito enquadrou-se às normas estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), em termos de distribuição granulométrica, densidade e abrasão. Além disso, estudos de adsorção e adesividade, mostraram uma boa interação com o CAP. Por fim, os corpos de prova das misturas asfálticas geradas com esse rejeito mostraram boa resistência mecânica, apresentando valores superiores a 80%, que é o valor estabelecido pelo DNIT. Dessa forma, conclui-se que o rejeito em questão pode ser utilizado em pavimentação asfáltica, diminuindo-se o impacto ambiental gerado no corte e beneficiamento de rochas ornamentais e reduzindo-se o custo de produção do pavimento.

1. Introdução

A produção e o consumo de rochas ornamentais no Brasil apresentou crescimento notável nas últimas décadas, devido sua utilização em revestimentos externos de prédios, pisos, paredes, mesas, pias, etc. Nesse sentido, destaca-se a importância da classe dos granitos, que são consideradas as rochas ornamentais comercialmente mais importantes, visto que, além de possuírem beleza visual, são as rochas mais resistentes, não perdendo o brilho de polimento durante longos anos (Vargas *et al.*, 2001).

O processo de extração de granito começa nas pedreiras, onde essa rocha é encontrada na sua forma natural. O granito é extraído através de cortes realizados com fios diamantados, que fatiam as montanhas tirando os blocos. O bloco é então levado à serraria onde máquinas como os teares cortam os mesmos, transformando-os em chapas. Posteriormente, as chapas são trabalhadas e transformadas no produto final (Carrisso, 2003).

A retirada de blocos de granito para a produção de chapas, gera uma quantidade significativa de rejeitos grosseiros, gerado pela quebra das peças durante o corte, 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, ou são acumuladas nas serrarias ou pedreiras (Farias, 1995).

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

em diversos setores da indústria, como na produção de argamassa (Carvalho, 2003), tijolos, telhas, concentração de feldspatos para indústria de vidro e cerâmica (Carriso, 2003). Porém, a geração mensal de resíduos (Carvalho, 2003) é extremamente grande e os setores industriais mencionados não conseguem consumir todo rejeito gerado.

Nesse contexto, surge o processo de pavimentação asfáltica, que além de um ligante asfáltico, chamado de cimento asfáltico do petróleo (CAP), que tem a função de aglutinante, apresenta também um conjunto de agregados minerais, que representam em torno de 95%, em peso, da mistura. 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. (Leite *et al.*, 2003).

Baseado nisto, o objetivo deste trabalho é substituir os agregados minerais que constituem a mistura asfáltica, por rejeitos gerados na extração e beneficiamento de granito. Dessa forma, pretende-se reduzir os custos da produção do pavimento e, principalmente, reduzir o impacto ambiental causado por esses rejeitos.

2. Procedimento Experimental

2.1 Origem do Rejeito e do CAP

O rejeito utilizado neste trabalho trata-se de um granito de uma pedreira da região de Medeiros Neto – BA. Em relação ao CAP, trata-se de um ligante asfáltico de uma refinaria brasileira que será chamado de CAP.

2.2 Beneficiamento e Caracterização do Rejeito

2.2.1 Britagem

A amostra foi recebida com granulometria maior do que 2 polegadas. Procedeu-se então uma britagem em três estágios, a fim de separar a amostra em três frações diferentes: brita 1, entre 1/2" e 3/8"; brita 0, entre 3/8" e 8 # e pó de pedra, com granulometria menor do que 8 #. Para tal, foram utilizados três britadores, um dos quais era um britador de rolos e os demais britadores de mandíbulas. Dessa forma a amostra estava preparada para utilização nos ensaios subseqüentes.

2.2.2. Análises Química e Mineralógica

As análises química e mineralógica foram realizadas pela Coordenação de Análises Mineraias (COAM) do CETEM.

2.2.3 Análise Granulométrica

Utilizou-se a norma preconizada pelo DNIT – ME 083-98, onde cada fração da amostra foi quarteadada de forma que fossem extraídas das mesmas alíquotas representativas com massa entre 1 e 1,5 kg. Para cada granulometria, foram utilizadas três alíquotas e obteve-se a média entre estas. O tempo de peneiramento foi de 5 minutos e as peneiras utilizadas foram: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 4#, 10#, 40#, 80# e 200#.

2.2.4 Abrasão Los Angeles

De posse da análise granulométrica, verificou-se que a peneira com maior retenção do material foi a de 3/8". Assim, o agregado foi peneirado de forma que fossem obtidos pouco mais de 5000 g do mesmo nessa granulometria. Procedeu-se a lavagem e secagem do material e então 5000 g do agregado, livre de poeira, foi adicionado ao moinho de bolas. O moinho de bolas possui as dimensões especificadas na norma DNER-ME 035/98. O equipamento operou numa rotação entre 30 e 33 r.p.m. até que se atingisse 500 rotações. Ao término da operação, o moinho foi esvaziado e o material peneirado numa

peneira de 12#. A fração passante foi descartada e o material retido foi lavado, seco em estufa e pesado para o cálculo da abrasão.

2.2.5 Densidades Real e Aparente e Absorção de Água

A densidade do agregado foi obtida de acordo com a norma DNER - ME 081/94 para britas 1 e 0 e ME 084/94 para o pó de pedra. Cada amostra foi lavada e seca, até que ocorresse constância de massa, e então imersa em água durante 24 horas. Removeu-se então a amostra da água e obteve-se sua massa na condição de superfície seca saturada, onde toda a água visível na superfície do agregado foi removida com o auxílio de um pano absorvente. Em seguida, realizou-se uma pesagem hidrostática do material, registrando-se a leitura na balança e após a secagem, determinou-se a massa do agregado seco. De posse das três leituras, foram determinadas então médias para a densidade real, densidade aparente e absorção de água de cada fração.

2.3 Avaliação da Interação Físico-Química entre o CAP e o Rejeito

2.3.1. Adesividade

O ensaio de adesividade foi realizado baseado no método DNER-ME 078-94, utilizando-se o CAP e a parte gráuda do agregado. Este ensaio avalia o deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura CAP-brita é imersa em água destilada a 40° C durante 72 horas. Os resultados são caracterizados pelo deslocamento total, deslocamento parcial ou não deslocamento da película.

2.3.2. Adsorção

Nos ensaios de adsorção pesou-se 0,5 g de rejeito mineral, britado e peneirado (diâmetro de partícula < 0,149 mm), respeitando-se as normas de dosagem *Marshall* estabelecidas na norma DNER-ME 043/95, sendo colocados em 10 tubos de centrífuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de CAP, com concentração variando de 0,0005 mg/L a 0,02 mg/L. A seguir, os tubos foram agitados por 4 horas a 200 r.p.m. , e centrifugado por 30 minutos a 3000 r.p.m.. O material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta – visível, em comprimento de onda fixo de 402 nm (González e Middea, 1990).

2.4 Moldagem dos Corpos de Prova de Mistura Asfáltica

2.4.1 Determinação da Composição dos Corpos de Prova

O método consiste em adequar o teor de cada fração, britas 0 e 1 e pó de pedra, às especificações de alguma faixa granulométrica (A, B ou C), preconizadas pelo DNIT para agregados em composição asfáltica. A faixa correspondente vai depender da granulometria do material.

2.4.2. Confeção dos Corpos de Prova

Determinada a faixa granulométrica adequada, pôde-se determinar a composição dos agregados a serem utilizados na mistura asfáltica. Porém, necessitou-se determinar o teor ideal de CAP a ser utilizado na mistura. Para tal, foram utilizados cinco teores de ligante: 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 e 6,5, onde foram confeccionados 3 corpos de prova para cada teor, totalizando 15 corpos de prova de aproximadamente 1,2 kg cada. As misturas afálticas foram compactadas em um compactador Marshall, com cada corpo de prova sendo golpeado 75 vezes. Os corpos de prova permaneceram nos moldes para que fossem resfriados ao ar, sendo posteriormente retirados para avaliação de suas resistências mecânicas.

2.4.3 Determinação da Resistência Mecânica do Pavimento

A determinação da resistência mecânica das misturas seguiu as especificações *Superpave* - AASHTO T 283/89 LOTTMAN, onde cada conjunto com os diferentes teores de ligante foi dividido em 3 grupos: o primeiro grupo de corpos de prova foi avaliado quanto à compressão à tração por compressão diametral sem nenhum tipo de condicionamento. O segundo grupo de corpos de prova foi imerso em água, a uma pressão de vácuo de 25,4 cm a 66 cm de coluna de mercúrio por um período de 5 a 10 minutos, para aumento do grau de saturação. O corpo de prova saturado foi revestido com filme plástico e colocado em sacos plásticos contendo aproximadamente 10 mL de água. Os corpos de prova foram então resfriados a uma temperatura de -18°C por 16 horas. Em seguida foram retirados da refrigeração sendo imediatamente analisadas quanto a resistência à tração por compressão diametral. O terceiro grupo, após sofrer a etapa de congelamento, foi imerso num banho à temperatura de 60°C por 24 horas, sendo então levado a outro banho a 25°C por 2 horas e só então sofrendo o ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

O resultado é obtido em termos da razão de resistência (RR), que é calculado pela média dos valores de resistência dos corpos de prova que sofreram condicionamento, dividido pela resistência do corpo de prova que não sofreu condicionamento, multiplicado por 100. Valores superiores a 80% são considerados adequados.

3. Resultados e Discussões

3.1 Caracterização do Rejeito

3.1.1 Análise Química

O resultado da análise química do rejeito encontra-se ilustrado na tabela 01, juntamente com os resultados da análise química de um basalto (Ribeiro, 2003), amplamente utilizado em pavimentação. Pode-se observar uma composição similar, onde se verificam altos teores de sílica e alumina, com relações Si/Al em torno de 3,8, característico de um sílico-aluminato (Abollino *et al.*, 2003 e Farrah, 1977). Esse resultado preliminar indica a idéia de utilização deste rejeito na composição da mistura asfáltica, um vez que sua composição é semelhante a de um agregado basáltico padrão, porém, resultados mais específicos devem ser avaliados.

Tabela 01: Resultados de Análise Química do Rejeito e de um Agregado Mineral Basáltico.

Composição (%)	Rejeito	Basalto
SiO ₂	70,50	72,40
Al ₂ O ₃	18,00	16,54
K ₂ O	5,60	6,69
Na ₂ O	2,70	3,08
Fe ₂ O ₃	1,40	2,49
CaO	1,2	7,51
TiO ₂	0,03	3,17
MgO	0,10	2,91

3.1.2 Análise Mineralógica

A tabela 02 apresenta o resultado da análise mineralógica realizada com o rejeito onde se pode verificar uma alta concentração de feldspatos, chegando-se a valores em torno de 64 %, e quartzo em torno de 34 Comparando-se com o basalto, verifica-se a similaridade no percentual de feldspatos, indicando ser este, o mineral responsável pelos resultados de adsorção e adesividade com o CAP, apresentados no item 3.2.

Tabela 02: Composição Mineralógica dos Agregados Minerais.

Minerais (%)	Basalto	Rejeito
Feldspato	64	63,6
Quartzo	2	34,4
Granada	--	2
Piroxênios	30	--

3.1.3 Abrasão *Los Angeles*

O valor de abrasão obtido foi de 52,85%, que é considerado alto, mas que ainda encontra-se dentro dos padrões estabelecidos. O valor máximo de abrasão *Los Angeles* permitido para uso em misturas asfálticas é limitado entre 40% para algumas agências americanas a 60% para outras (Roberts *et al.* 1996 e Marques, 2001).

3.1.4. Densidades Real e Aparente e Absorção de Água

A tabela 03 apresenta as médias dos resultados de densidade real, aparente e absorção de cada fração do rejeito. Os valores obtidos, em torno de 2,5 g/mL, são adequados para este tipo de rocha, pois, segundo Kiehl (1979), o valor médio para este tipo de rochas é da ordem de 2,55 g/mL, isto porque os constituintes minerais principais dessas rochas, feldspato e quartzo, apresentam valores de densidade real em torno de 2,5 e 2,6 g/mL.

Em relação a absorção de água, verifica-se que o rejeito apresenta baixa interação com a mesma, apresentando, em média, um absorção de 1,5%. Estes resultados são favoráveis, uma que o rejeito tenderá a absorver com mais intensidade o CAP.

Tabela 03: Valores de Densidades Real e Aparente e Absorção de Água de cada Fração do Rejeito.

Brita 1		Brita 0		Pó de Pedra	
D _{real} média (g/mL)	2,373	D _{real} média (g/mL)	2,296	D _{real} média (g/mL)	2,549
D _{aparente} média (g/mL)	2,311	D _{aparente} média (g/mL)	2,215	D _{aparente} média (g/mL)	2,586
Absor. média (%)	1,134	Absor. média (%)	1,593	Absor. média (%)	1,458

3.1.5 Análise Granulométrica

Por meio da tabela 05 pode-se verificar os resultados da distribuição granulométrica para cada fração do rejeito, onde se observa o enquadramento do rejeito à faixa B, segundo às normas do DNIT.

Tabela 04: Distribuição Granulométrica de cada Fração do Rejeito.

Brita 1		Brita 0		Pó de Pedra	
Peneiras	Média (% passante)	Peneiras	Média (% passante)	Peneiras	Média (% passante)
11/2"	100,0	11/2"	100,0	11/2"	100,0
1"	100,0	1"	100,0	1"	100,0
3/4"	100,0	3/4"	100,0	3/4"	100,0
1/2"	100,0	1/2"	87,1	1/2"	100,0
3/8"	94,2	3/8"	6,9	3/8"	100,0
4#	34,0	4#	1,6	4#	100,0
10#	1,1	10#	0,9	10#	92,2
40#	0,3	40#	0,3	40#	28,5
80#	0,1	80#	0,1	80#	12,7
200#	0,1	200#	0,0	200#	4,5
Fundo	0,0	Fundo	0,0	Fundo	0,0

3.2 Avaliação da Interação Físico-Química entre o CAP e o Rejeito

3.2.1 Adesividade

Após 72 horas em água, não houve deslocamento algum da película do CAP, o que constitui uma ótima adesividade do ligante ao rejeito. Tal resultado corrobora os resultados da baixa absorção de água por parte do rejeito.

3.2.2 Adsorção

Por meio da figura 01 pode-se verificar os resultados da adsorção do CAP à superfície do rejeito e do basalto. Observa-se uma adsorção de CAP similar às superfícies das rochas, observando-se valores máximos, em torno de 4,5 mg/g a uma concentração de CAP de 18 mg/L. Tal fato pode estar relacionado com similaridade em suas composições químicas e mineralógicas. Isso corrobora também, com a idéia de utilização deste rejeito como um novo agregado para o processo de pavimentação asfáltica.

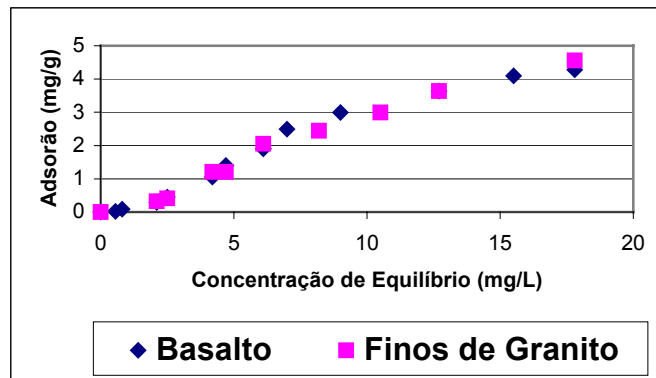


Figura 01: Adsorção de CAP às superfícies do rejeito fino de granito e do basalto.

3.3 Determinação da Composição dos Corpos de Prova de Misturas Asfálticas

A composição mais equilibrada foi obtida na faixa de tamanhos B, com a seguinte composição do agregado: *Brita 1*: 21,90%; *Brita 0*: 30,00%; *Pó de Pedra*: 46,00% e *filler*: 2,1%. Sendo o CAP variado nas seguintes percentagens em peso: 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 e 6,5, até a obtenção do valor de resistência mecânica mais adequado.

3.4 Determinação da Razão de Resistência Mecânica do Pavimento

Pode-se verificar um valor de razão de resistência mecânica de 86,9%, onde se utilizou o menor teor de ligante de 4,5% e o máximo valor de razão de resistência foi de 94,89% com um teor de 5,5% de ligante. Os demais resultados encontraram-se nessa faixa, porém também acima do mínimo exigido, que é de 80%.

4. Conclusões

Pode-se concluir que o rejeito de granito utilizado nos ensaios apresentou-se de acordo com as normas estabelecidas pelo DNIT para agregados, apresentou boa interação com o CAP, além de apresentar resistência mecânica enquadrada às normas, quando utilizado na mistura asfáltica, com um teor mínimo de CAP de 4,5%.

Pode-se observar que o processo de pavimentação asfáltica é adequado para utilização deste tipo de rejeito que causa enormes problemas ambientais, uma vez que consome uma grande quantidade de agregados. Este processo proporciona uma redução do impacto ambiental, bem como a redução no custo do pavimento, pois estará utilizando um rejeito mineral de custo inferior aos agregados minerais, que requerem gastos de extração.

5. Referências Bibliográficas

- AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures. Washington - 283/89 - LOTTMAN
- 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.
- CARRISSO, R. C. C., CORREIA, J. C. G. e SANTOS, C. A. M., Caracterização Tecnológica e Ensaio de Concentração de Feldspato em Resíduos de Pedreira de Granito, Relatório Técnico TR 2003 – 067 – 00, CETEM, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- 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.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 035/98 – Agregados – Determinação de abrasão Los Angeles, Rio de Janeiro, p. 6, 1998.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 083/98 Agregados – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, p. 3, 1998.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 081/94 – Agregado – Determinação de densidade relativa, Rio de Janeiro, p.3, 1998.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 084/94 – Agregado – Determinação de densidade relativa, Rio de Janeiro, p.3, 1998.
- DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 078-94 – Adesividade de Ligante a agregado graúdo, Rio de Janeiro, p.2, 1998.
- 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, 1977.
- GONZALES, G. e MIDDEA, A., Peptization of asphaltene by various oil soluble amphiphiles, *Energy and Fuels*, 1990.
- KIEHL, J. E., Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979, p. 264.
- LEITE, L., SILVA, P. D. E. A., BORGES, P. e RIBEIRO, R. C. C., Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Quanto ao Deslocamento, Relatório Técnico, CENPES, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- MARQUES, G. L. O., “Procedimentos de avaliação e caracterização de agregados minerais usados na pavimentação asfáltica”, in: I Seminário de Qualificação ao Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.
- 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.
- ROBERTS, F. L., KANDHAL, P. S., BROWN, E. R.; LEE D. Y. e KENNEDY T. W., “Hot mix asphalt materials, mixture design and construction”, in: NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996.
- Vargas, T.; Motoki, A.; Neves, J.L.P. Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção *Revista de Geociências*, 2-2, 119-132. Instituto de Geociências - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2001.

6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a COPPE, pela realização dos experimentos, ao CETEM pelo acolhimento, ao CNPq pelo apoio financeiro e aos funcionários do setor de Geotecnia da COPPE, à professora Laura Maria Gorette da Motta, à Engenheira Ana Maria e ao Engenheiro Rodrigo Muller pelo auxílio nas análises realizadas.