

Avaliação Mecânica e Acústica do Pavimento Asfáltico Formado com Resíduos Oriundos do Beneficiamento de Rochas Ornamentais

Marceli do Nascimento da Conceição
Bolsista de Iniciação Científica, Química, UFRJ

Adriano Caranassios
Orientador, Engenheiro de Minas, D. Sc

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Co-orientador, Engenheiro Químico, D.Sc

Resumo

A lavra e o beneficiamento de rochas ornamentais geram uma quantidade significativa de resíduos, que são lançados no meio ambiente sem tratamento. Com intuito de diminuir esse problema, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de utilização desses resíduos como agregados minerais no processo de pavimentação asfáltica. Para tal, foram utilizados resíduos do corte de granitos e do corte de pedra sabão. Corpos de prova de pavimentos contendo estes resíduos, separadamente ou em conjunto, com um Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) foram confeccionados e avaliados quanto à resistência mecânica e níveis de ruídos. Os resultados indicaram que os pavimentos formados apenas com resíduos de granito ou quando misturados com resíduos de pedra sabão apresentaram valores de resistência à tração de 1,04 MP e 1,69 MPa, respectivamente, adequados para pavimentação. Os níveis de ruídos desses pavimentos foram 28 dB e 12 dB, respectivamente, indicando que a presença da pedra sabão foi capaz de reduzir os níveis de ruído do pavimento.

1. Introdução

O processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais gera uma quantidade significativa de resíduos, que causa sérios problemas ambientais. A fim de se diminuir tal problema, diversos estudos são realizados visando o aproveitamento desse material. Nesse contexto, aparece o setor de pavimentação asfáltica, que consome, em torno de 95%, em peso, de agregados minerais para geração do pavimento, sendo os 5% restantes constituídos por um cimento asfáltico de petróleo (CAP).

O CAP é o produto final da destilação do petróleo e sua função no pavimento é aglutinar toda a massa asfáltica, além disso, possui características de flexibilidade e resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis. Estudos de Conceição & Ribeiro (2009) indicaram que a pedra sabão apresenta bons resultados de interação físico-química com o CAP classificando-a como um possível insumo para o setor de pavimentação.

Os agregados minerais são divididos em duas categorias, agregados miúdos e agregado graúdos, que são diferenciados pela classificação granulométrica. O agregado graúdo tem um tamanho máximo de 12,5mm e 0,075mm de mínimo e engloba as britas e o pedrisco. Já o agregado miúdo engloba o pó de pedra e está abaixo de 0,075 mm (Ribeiro, 2003).

2. Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade de utilização de resíduos oriundos do corte de granitos como agregados graúdos e resíduos do corte de pedra-sabão como agregado miúdo, na composição do pavimento asfáltico. Visando assim a diminuição do impacto ambiental e melhorias nas condições do pavimento, como a redução de ruídos, maior resistência mecânica e maior aderência, devido ao aproveitamento das características intrínsecas de cada um dos resíduos.

3. Metodologia

3.1 Origem do material

O resíduo do corte de pedra-sabão é oriundo de oficinas domiciliares da região de Mata dos Palmitos, Ouro Preto - MG, que foi classificado como pó de pedra e o resíduo do corte de granito é proveniente de Cachoeiro de Itapemirim - ES, que foi classificado como agregado graúdo. O ligante asfáltico utilizado foi um CAP 30/45 da refinaria REDUC, do Rio de Janeiro – RJ.

3.2 Análise química dos resíduos

A composição química dos resíduos foi determinada pela Coordenação de Análises Mineraias (COAM) do CETEM.

3.3 Moldagem dos corpos de provas de pavimento asfáltico

Os corpos de prova foram moldados em um compactador *Marshall*, cada grupo com diferentes dosagens de resíduos. O primeiro com 100% do agregado constituído de resíduo de pedra sabão, o segundo com 100% de agregado constituído de resíduo de granito e o terceiro com 20% do agregado constituído de resíduo de pedra sabão e 80% de resíduo de granito. Cada corpo de prova tinha 4% de vazios, teor considerado ideal segundo Medina & Motta (2005). Por fim, adicionou-se o CAP com teor de 5,3% em todas as amostras. Esses corpos de prova têm, em média, 100 mm de diâmetro e 63,5 mm de altura (Bernucci *et al*, 2007).

3.4 Densidade Máxima Medida (DMM) ou Densidade *Rice*

Para se determinar o “*Rice*” da mistura asfáltica, foi preparada uma mistura asfáltica solta, ou seja, não compacta como no corpo de prova, que foi pesada em um kitassato, onde adicionou-se água à 25°C. Posteriormente, o kitassato foi agitado e aplicou-se vácuo que chegou à 30mmHg (4kPa). Então com o peso da mistura e o volume de água foi calculada a densidade. O ensaio seguiu a metodologia ASTM D 2041/00, descrita em Vasconcelos (2005).

3.5 Ensaio Mecânicos

Na determinação da resistência mecânica aplicou-se uma tensão no corpo de prova no plano diametral nos dois frisos de posicionamento, metálicos curvos com cargas centralização como indica a Figura 1. A resistência mecânica foi avaliada por meio dos ensaios de fadiga por compressão diametral, módulo resiliente e tração

estática por compressão diametral, que são ensaios preconizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT.

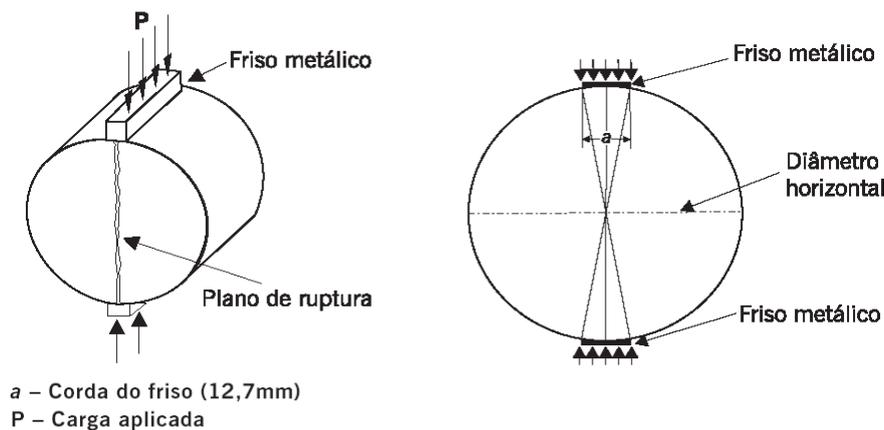


Figura 1. Esquema representativo dos ensaios de resistência mecânica.

3.5.1 Fadiga por compressão Diametral

A fadiga nas misturas asfálticas é a carga máxima suportada pelo material antes de ocorrer a ruptura, ou seja, a tensão máxima dentro da deformação elástica. Essa carga é devido a solitação repetida que é causada pela passagem de veículos, os quais solicitam à flexão da camada externa de revestimento asfáltico. As tensões são de 10 a 50% menores que a ruptura estática (RT). Este ensaio segue as normas DNER ME 138/94. A vida de fadiga da mistura é determinada a partir do número de aplicações da carga (N) que conduz ao trincamento total e ruptura num plano vertical, semelhante ao esquema da Figura 1, onde o corpo de prova é posto no equipamento e recebe as tensões, pelos frisos, conforme a indicação. O ensaio de fadiga segue-se de duas formas por tensão controlada (TC) e deformação controlada (DC). Neste trabalho foi usada a TC, onde tensão é mantida constante até que haja a ruptura do corpo de prova. Este método é melhor, pois apresenta repetibilidade dos resultados, segundo Medina & Motta (2005).

3.5.2 Módulo Resiliente (MR)

O termo resiliente significa energia armazenada em um corpo deformado elasticamente que é desenvolvida quando cessam as tensões causadas das deformações, ou seja, é a energia potencial de deformação (Medina, 2007). O ensaio de módulo de resiliência (MR) em mistura asfálticas é padronizado pela norma DNER-ME 133/94. O MR é realizado com golpes sucessivos no plano diametral vertical, atuando sempre no mesmo sentido de compressão, sobre um corpo de prova cilíndrico. Estes golpes geram uma tensão no sentido transversal ou plano de aplicação da carga. Esta tensão é então medida em uma temperatura determinada. Para se determinar o MR foi realizado compressão diametral (ou tração indireta) seguindo o método descrito em Vianna (2002).

3.5.3 Tração Estática por Compressão Diametral (RT)

Este ensaio calcula a carga que provoca a ruptura no pavimento. Os corpos de prova utilizados neste ensaio eram “virgens” (moldados para esse fim) e estavam em temperatura de 25°C. Foram ensaiados também aqueles

submetidos anteriormente ao ensaio de módulo de resiliente (MR). Assim pôde-se avaliar a relação MR/RT. Essa relação é útil como alternativa de controle de campo e quando não é possível realizar o ensaio de fadiga. Quanto menor é esta relação melhor a flexibilidade na mistura. O ensaio seguiu a norma DNER ME 138/94.

3.6 Avaliação do nível ruído do pavimento

Para avaliação dos ruídos gerados nos pavimentos, utilizou-se um aparelho de desgaste acoplado com microfones. No ensaio, dois corpos de prova, foram acoplados no aparelho, sendo submetidos a 1000 voltas em presença de um abrasivo (areia seca nº 50, com 92% de sílica), simulando o efeito dos veículos.

4. Resultados e Discussões

4.1 Análise Química dos Resíduos

Na tabela 1 encontram os valores da composição química dos resíduos onde se pode verificar altos teores de sílica e magnésio para o resíduo de pedra sabão, valores comumente encontrados para esse tipo de rocha. No que se refere ao resíduo de granito, observa-se um alto teor de sílica e alumina, valores também típicos para esse material e um alto valor de ferro, em torno de 7%, que é oriundo, possivelmente da granalha utilizada no desdobramento dos granitos. No entanto, a presença desse material não é um agente limitante para sua utilização em pavimentação. Ainda pode-se observar um alto de óxido de cálcio e magnésio, indicando que nesse resíduo há, possivelmente, uma mistura do corte de mármore.

Tabela 1. Análise química dos resíduos.

Resíduos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Pedra sabão	55,4	2,6	2,6	0,11	26,8	0,7	0,36
Granito	53,8	4,7	6,8	12,9	6,9	1,8	1,4

4.2 Densidade

O valores de densidade dos pavimentos contendo apenas resíduos de pedra sabão, apenas resíduos de granito e contendo a mistura de ambos, foram 2,42 kg/m³, 2,50 kg/m³ e 2,57 kg/m³, respectivamente. Segundo a norma ASTM C 615, o valor médio da densidade de um pavimento deve ser maior que 2,50 kg/m³, descritos em Medina (1997). Observou-se que o pavimento formado apenas com resíduos de pedra sabão não atendeu às especificações, não sendo recomendado para utilização em pavimentação.

4.3 Ensaio Mecânicos

4.3.1 Fadiga por Compressão Diametral

Na Tabela 2 pode-se observar que os pontos de níveis de tensão foram realizados variando-se de 130,7 kgf a 708,6 kgf, isso para simular os diferentes níveis de tensão que o pavimento recebe, esses diferentes níveis de tensão são proporcionais a passagem de veículos. Cada unidade do Número de Aplicações simula a passagem de um veículo comum a 60 Km/h. Quando foi aplicada uma tensão de 7,5 % o corpo de prova rompeu com 84.394 golpes, quando o ideal seria romper com mais de 100.000. Sendo assim, o mesmo deve ser usado em

locais onde não há uma alta circulação de veículos, sendo mais indicado para locais de baixa circulação, como em pequenas cidades.

Tabela 2. Nível de tensão e números de aplicações no corpo de prova.

Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
6,25	10,18	7,5	130,7	0,51	84394
6,30	10,18	10	175,7	0,68	27676
6,18	10,16	15	258,0	1,03	10285
6,20	10,18	15	259,4	1,03	14925
6,20	10,17	20	345,5	1,37	3994
6,24	10,19	20	348,4	1,37	5721
6,22	10,15	20	345,9	1,37	6108
6,21	10,17	30	519,1	2,05	1700
6,27	10,16	30	523,6	2,05	1506
6,37	10,15	40	708,6	2,74	355

4.3.2 Resistência à tração (RT) em termos de módulo resiliente (MR)

Na Tabela 3 estão dispostos os resultados de RT em relação ao MR. Segundo o DNIT, o valor de RT /MR deve ser superior a 0,60 MPa. O pavimento contendo 100% de resíduo de pedra sabão, apresentou valor de 0,54 MPa, não atendendo às especificações do DNIT. No entanto o pavimento contendo 100% de resíduo de granito apresentou um valor de 1,04 MPa e o pavimento com a mistura dos resíduos foi 1,69 MPa, classificando-os aptos para pavimentação asfáltica. O maior valor para a mistura pode ser explicado pela ocupação do pó de pedra sabão nos “vazios” do pavimento, acarretando aumento de resistência mecânica.

Tabela 3. RT/MR dos pavimentos asfálticos.

Pó de Pedra Sabão			
Altura (cm)	Diâmetro (cm)	RT/MR (MPa)	Média (Mpa)
7,12	10,16	0,45	
7,20	10,17	0,37	
6,37	10,17	0,56	0,54
6,40	10,17	0,59	
6,18	10,18	0,73	
Granito			
6,46	10,18	0,95	
6,82	10,18	1,01	1,04
6,83	10,18	0,91	
6,96	10,18	1,28	
Pó de Pedra Sabão/Granito			
6,25	10,17	1,61	
6,22	10,17	1,69	1,69
6,18	10,17	1,78	

4.4 Avaliação do índice de ruídos

O índice de ruídos gerados pelos pavimentos estão apresentados na tabela 4. Pode-se verificar que a aplicação de 100% de resíduos de pedra sabão no pavimento produz um material com baixíssimo índice de ruído (8dB), no entanto, os baixos valores de resistência mecânica impedem sua utilização em vias públicas. No que tange ao pavimento contendo apenas resíduos de granito, verifica-se um valor comumente encontrado em vias públicas, em torno de 30 dB. No entanto, avaliando-se o pavimento contendo a mistura desses resíduos, observa-se a grande influência da pedra sabão, que foi capaz de suavizar os ruídos, para índices em torno de 12 dB, indicando uma redução de mais de 50% nos índices de ruídos encontrados em vias públicas que é superior a 30 dB. Tais resultados, indicam a possibilidade de utilização do pavimento, contendo a mistura desses resíduos, em regiões onde se necessita absoluto silêncio como hospitais, clínicas de repouso e escolas.

Tabela 4. Índice de ruídos do pavimento.

Tipo de Pavimento	Índice de ruído (dB)
100% resíduo de pedra sabão	8,0
100% resíduo de granito	28,0
80% resíduo de granito e 20% de pedra sabão	12,0

5. Conclusões

Pode-se concluir que o trabalho, resolve um passivo ambiental, pois apresenta uma finalidade para os resíduos das rochas, podendo ser aplicado em pavimentação asfáltica, melhorando suas condições mecânicas e acústicas. Dessa forma, recomenda-se a sua utilização em locais próximos à escolas e hospitais.

6. Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa, ao CETEM e ao setor de Mecânica dos Pavimentos da COPPE/Geotecnia-UFRJ pela infraestrutura.

7. Referências Bibliográficas

Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. **Pavimentação Asfáltica, formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, PETROBRAS, ABEBA, 2007

Conceição, M.N. & Ribeiro, R.C.C. **Estudos Preliminares da Utilização de Resíduos Oriundos do Beneficiamento da Pedra Sabão em Pavimentação Asfáltica**. XVII Jornada de Iniciação Científica. Cetem. Rio de Janeiro – RJ. 2009.

Freitas, H. B.; **Misturas Asfálticas de Módulo Elevado com uso de Escórias de Aciaria como Agregado**. Dissertação (Mestrado). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro – RJ. 2007.

Medina, J. **Mecânica dos pavimentos**. Editora UFRJ, 1997

Medina, J. & Motta, L. M. G., 2005, **Mecânica dos Pavimentos**, 2 ed., Rio de Janeiro, RJ, Editora Imagemaker Interactive.

Ribeiro, R.C. C., **Estudo da Interação Asfalto-Brita**, Dissertação (Mestrado), Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2003.

Vianna, A. A. D. **Contribuição para o Estabelecimento de um Material Padrão e de Metodologia para Calibração de Equipamentos de Ensaios Dinâmicos**. Dissertação (Mestrado). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 2002

Vasconcelos, K. L. & Soares, J. B. Efeito Da Densidade Máxima Teórica e Aparente do Corpo de Prova Compactado na Dosagem de Misturas Asfálticas. **36º Reunião Anual de Pavimentação**, Curitiba – PR. 2005.