

SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

Utilização de rejeitos de rochas ornamentais em misturas asfálticas

ROBERTO CARLOS DA C. RIBEIRO

JULIO CESAR G. CORREIA

PETER RUDOLF SEIDL

SALVADOR LUIZ M. DE ALMEIDA

EDUARDO A. DE CARVALHO

SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

**Utilização de Rejeitos de Rochas Ornamentais em
Misturas Asfálticas**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

José Alencar Gomes da Silva

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Sergio Machado Rezende

Ministro da Ciência e Tecnologia

Luiz Antonio Rodrigues Elias

Secretário-Executivo

Luiz Fernando Schettino

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Adão Benvindo da Luz

Diretor do CETEM

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

Zuleica Carmen Castilhos

Coordenadora de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

João Alves Sampaio

Coordenador de Processos Minerais

Antônio Rodrigues Campos

Coordenador de Apoio à Micro e Pequena Empresa

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

José da Silva Pessanha

Coordenador de Administração

SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

ISSN 0103-7382

ISBN 978-85-61121-13-6

STM - 87

Utilização de Rejeitos de Rochas Ornamentais em Misturas Asfálticas

Roberto Carlos da C. Ribeiro

D.Sc., CETEM.

Julio César Guedes Correia

D.Sc., CETEM.

Peter Rudolf Seidl

Ph. D., UFRJ – Escola de Química.

Salvador Luiz Matos de Almeida

D.Sc., CETEM.

Eduardo Augusto Carvalho

D.Sc., NUCLEP.

CETEM/MCT

2007

SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

Marisa Bezerra de M. Monte

Editora

Cláudio Schneider

Subeditor

CONSELHO EDITORIAL

Arnaldo Alcover Neto (CETEM), Fernando Freitas Lins (CETEM), Regina Carrisso (CETEM), Reiner Neumann (CETEM), Ronaldo Luiz Correia dos Santos (CETEM), Achilles Junqueira Bourdot Dutra (UFRJ), Antonio E. Clark Peres (UFMG), José Aury de Aquino (CDTN), José Farias de Oliveira (UFRJ), Lino Rodrigues de Freitas (CVRD), Luciano Tadeu da Silva Ramos (CVRD), Mário Rui Machado Leite (IGM-Portugal), Maurício Leonardo Torem (PUC-Rio).

A Série Tecnologia Mineral publica trabalhos na área minero-metalúrgica. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes dos projetos desenvolvidos no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Jackson de Figueiredo Neto

Coordenação Editorial

Vera Lúcia Espírito Santo Souza

Programação Visual

Priscila Machado Dutra

Editoração Eletrônica

Maria Helena Hatschbach

Revisão

Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas

Revisão de Provas

Ribeiro, Roberto Carlos

Utilização de Rejeitos de Rochas Ornamentais em Misturas Asfálticas / Roberto Carlos da C. Ribeiro et al. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

42p. (Série Tecnologia Mineral, 87)

1. Rochas ornamentais. 2. Rejeitos. 3. Asfalto. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Ribeiro, Roberto Carlos C. III. Série

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Aspectos Gerais	9
1.2 Exploração e Beneficiamento de Gnaisses em Santo Antônio de Pádua	14
1.3 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) e Agregados Minerais - Insumos para o Processo de Pavimentação	17
2 OBJETIVO	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 Cominuição das Amostras	20
3.2 Cimento Asfáltico de Petróleo	20
3.3 Caracterização dos Agregados Minerais	20
3.4 Avaliação da Interação Química CAP/Agregado Mineral	23
3.5 Avaliação da Resistência Mecânica da Mistura Asfáltica	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Caracterização dos Agregados Minerais	27
4.2 Avaliação da Interação CAP/Agregados Minerais	33
4.3 Avaliação da Resistência Mecânica	33
5 CONCLUSÕES	34

RESUMO

A preocupação com o meio ambiente tem aumentado nas últimas décadas devido ao fato de a 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 toneladas de rejeitos mensais, as serrarias resolveram tomar uma atitude no que concerne à recuperação dos rios e utilização dos rejeitos gerados. Pesquisas realizadas pela Coordenação de Apoio Tecnológico à Micro e Pequena Empresa – CATE/CETEM viabilizaram a construção de tanques para o recolhimento dos rejeitos nas serrarias, bem como sua utilização em argamassas. Neste contexto, surge a idéia de utilização deste rejeito mineral na composição da mistura asfáltica, em substituição aos agregados minerais comumente utilizados. Para execução deste trabalho, utilizou-se as normas estabelecidas para agregados minerais, preconizadas pelo 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 ligante asfáltico. Por fim, realizaram-se ensaios de resistência mecânica em misturas asfálticas utilizando esse rejeito. Os resultados indicaram o enquadramento do rejeito às normas estabelecidas para agregados, segundo o DNIT, além de ser caracterizado pela análise mineralógica como um gnaïsse. Os resultados de adsorção indicaram a alta capacidade de interação com o ligante, chegando-se a valores máximos de 4,5mg/g. Por fim, observou-se um valor de resistência mecânica da mistura asfáltica em torno de 130%, enquadrando-se aos valores recomendados (>80%). Dessa forma, pode-se concluir que o rejeito mineral do corte de gnaïsse apresenta potencialidade de utilização em pavimentação, contribuindo para redução do impacto ambiental da região e com a diminuição do custo de confecção da mistura asfáltica.

Palavras-chave

agregados minerais, asfalto, mistura asfáltica

ABSTRACT

The concern with the environment has been increasing in the last decades due to the fact of the life quality to be directly related with a clean environment. The municipal district of Stº Antônio de Pádua locates to the northwest of the Rio de Janeiro State, possessing an expressive amount of quarries and sawmills of ornamental rocks. Threatened of closing, for they provoke the pollution and the sand rivers, due to the production of monthly tons of residues, the sawmills of they decided to take an attitude in what concerns the recovery of the rivers and use of the generated residues. Researches accomplished by the Coordination of Technological Support to Personal computer and Small Company - CATE/CETEM, made possible the construction of tanks for the withdrawal of the residues in the sawmills, as well as of its use in cement. In this context, the use idea appears of this mineral residue in the composition of asphalt mixture, in substitution to the mineral aggregates commonly used. For execution of this work, it was used the established norms for minerals aggregates extolled by the National Department of Infrastructure of Transport (DNIT), consisting of granulometric analysis, abrasion Los Angeles, it forms and density. Besides, the residue was evaluated through chemistry and mineralogical analyses, as well as for the process of chemical interaction with a CAP. Finally it took place rehearsals of mechanical resistance in asphaltic mixtures using the residue. The results indicated the framing of the residue to the established norms for minerals aggregate according to DNIT besides characterizing as a gnaiss capable to interact with CAP, being arrived to value of adsorption (4,5mg/g). Besides, a value of mechanical resistance was observed, around 130%, in agreement with the recommended values (>80%). It can be concluded that residue cut presents use potentiality in paving, being contributed to reduction of the environmental impact of the area and decrease of the cust of the pavement.

Keywords

asphalt, minerals aggregate, asphalt mixture

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Aspectos Gerais

As rochas ornamentais constituem uma ótima opção de revestimento para pisos e paredes, graças à durabilidade e aos efeitos estéticos que proporcionam. Facilmente instaladas em ambientes internos e externos, admitem inúmeros tipos de tratamento e, normalmente, com manutenção simplificada (Revista Arquitetura e Construção, 2005). No Brasil, o setor de rochas ornamentais encontra-se em pleno desenvolvimento. Segundo Chiodi Filho (2006), em 2005, as exportações de rochas processadas (acabadas e semi-acabadas) superaram a marca de 1 milhão de toneladas (1.099.479 t), superando o volume de rochas brutas no total do volume físico exportado, correspondendo a quase 51% desse. Em função dos incrementos dos produtos beneficiados, a participação da exportação de rochas ornamentais no total das exportações brasileiras passou de 0,48%, em 2001, para 0,67%, em 2005.

No entanto, para a obtenção das chapas, lajinhas ou pisos que chegam ao mercado consumidor, a quantidade de rejeitos gerada se mostra bastante excessiva. Segundo Stellin Jr. e Caruso (2004), no beneficiamento de mármore são produzidos cerca de 170 kg de resíduo seco/m³ no momento do corte de um bloco de mármore em um tear. Para granitos, estima-se 1,6 t de resíduo seco por tear em um dia de trabalho. Nesse caso, estão computados apenas os rejeitos gerados no tear. Alguns autores chegam a afirmar que o total de rejeitos gerados no beneficiamento pode chegar a 60% do bloco extraído.

Os rejeitos podem ser classificados em dois tipos: os rejeitos grossos, aqueles provenientes no momento da obtenção do bloco, ou

também das aparas ou rebarbas geradas no momento do corte das chapas, lajinhas e pisos; e os rejeitos finos, gerados pelo material retirado pelas lâminas ou discos de serra no momento do corte dos blocos de modo a gerar os produtos de interesse (chapas, pisos, peças etc.).

Durante o corte de blocos de rochas em teares, o rejeito fino é constituído de uma lama, contendo partículas finas de granalha, cal e da própria rocha, além de água. Em empresas maiores, essa lama é encaminhada para unidades de tratamento, que podem ser tanques de sedimentação ou filtros-prensa. Após a remoção da água (normalmente reutilizada no processo) é gerada uma massa sólida, depositada em grandes áreas, com pequeno percentual de reúso. Após o esgotamento da área, é normal que essas empresas recubram esse material com o solo para evitar que a poeira em suspensão provoque contaminação na vizinhança. Algumas empresas menores (MENEZES et al., 2006) descartam essa lama diretamente em córregos, ravinas, lagos e rios, provocando não só o assoreamento desses, mas também a contaminação da água, devido aos reagentes químicos utilizados no beneficiamento das chapas.

Já no corte realizado em marmorarias e em empresas que trabalham com de rochas rústicas (gnaisse, quartzito, ardósia etc.), não são utilizados reagentes químicos e granalha, como no corte em teares, sendo a lama constituída apenas de partículas de rocha e água. No entanto, o número de empresas que realiza o tratamento dessa lama é muito pequeno, sendo a lama descartada diretamente em rios, córregos ou até mesmo na rede de esgoto, provocando o assoreamento.

Apesar da pouca utilização dos rejeitos gerados no beneficiamento das rochas ornamentais, algumas técnicas já começam a

empregar tais materiais. Os finos gerados no corte de mármore são utilizados como corretivo de acidez do solo, como matéria-prima para a indústria de cimento (com teor de MgO inferior a 6%), dessulfurante em centrais termoelétricas, que utilizam carvão com alto teor de enxofre, como carga na fabricação de papel, PVC e tintas, como matéria-prima para argamassa industrializada (MINEROPAR, 2006 e STELLIN Jr. e CARUSO, 2004).

Resíduos finos gerados no beneficiamento de gnaisses podem substituir a cal na formulação de argamassas industriais (CARVALHO et al., 2004) e como fundente na formulação da massa cerâmica para produção de telhas (VIANA, 2003).

A adição de resíduo fino do beneficiamento de granito às massas cerâmicas para blocos provoca uma elevação na absorção de água e uma redução na resistência à compressão simples dos blocos cerâmicos. Blocos com teores de até 50% de resíduos apresentam características cerâmicas dentro das especificações da normalização; as massas cerâmicas com adições de resíduo podem ser usadas na confecção de revestimentos enquadrados nos grupos BI, BIIb, BIIa e BIII, dependendo da temperatura de queima. Nas condições de queima das indústrias de queima rápida os produtos apresentam características referentes ao grupo BIII.

Os rejeitos grossos gerados no momento da extração dos blocos são depositados normalmente na própria mina ou então, segundo Baptista Filho (1998), podem ser utilizados para a produção artesanal de pedras de cantaria (com baixo valor agregado) ou para a produção de blocos pequenos para calçamento, normalmente denominados "paralelos" ou "paralelepípedo".

No entanto, aqueles gerados no beneficiamento dos blocos se transformam em um grande problema nas empresas, principal-

mente pela falta de opções de uso e de locais de depósito para os mesmos, conduzindo a um sufocamento físico nas empresas (Figuras 1 e 2). Algumas empresas que trabalham com um único tipo de rocha apresentam como alternativa a produção de britas para a construção civil ou a produção de seixos ornamentais (no caso de mármore) (Figura 3).



Figura 1. Pilha de rejeitos grossos em uma serraria de beneficiamento de gnaisses, Santo Antônio de Pádua, RJ



Figura 2. Pilha de rejeitos grossos em uma marmoraria na cidade do Rio de Janeiro



Figura 3. Pilha de rejeitos grossos em uma marmoraria na cidade do Rio de Janeiro

O uso desses rejeitos grossos na forma de brita em mistura asfáltica é uma excelente oportunidade para a redução da quantidade de rejeitos grossos nas empresas e, conseqüentemente, no impacto ambiental gerado por eles. A mistura asfáltica utilizada em pavimentação é normalmente constituída de agregados minerais (95%, em peso) e de asfalto (5%).

Os agregados, sendo as rochas basálticas as mais utilizadas, são responsáveis pelo suporte ao peso do tráfego e por manter a estabilidade do pavimento. Já o asfalto, tecnicamente chamado Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), é responsável pela adesão entre as partículas de brita, além de servir como impermeabilizante ao solo base (LEITE, 1999 e 2002).

De forma a reduzir o grande impacto ambiental gerado pelas pedreiras e serrarias de rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua, foi verificada a possibilidade de uso do rejeito grosso e também do rejeito fino, gerados no beneficiamento dos gnaisses, em substituição ao conjunto de agregados minerais utilizados em misturas asfálticas. O uso desses rejeitos na pavimentação asfál-

tica permitirá, além da pavimentação asfáltica das estradas marginais do município de Santo Antônio de Pádua a um baixo custo, reduzir em grande parte o impacto ambiental provocado pela atividade no município.

1.2 | Exploração e Beneficiamento de Gnaises em Santo Antônio de Pádua

Santo Antônio de Pádua está localizada na região denominada "Noroeste do Estado do Rio de Janeiro". A economia do município é centrada na agricultura (arroz, milho e cana-de-açúcar), na mineração (extração e beneficiamento de rochas ornamentais rústicas - pedra Miracema, pedra Madeira e variações), na pecuária leiteira, em indústrias de papel (COPAPA e CIPEL), no comércio e no turismo (águas minerais).

A extração de rochas na região de Santo Antônio de Pádua começou no início da década de 1950 em pequena escala, e começou a crescer a partir de 1980 com a difusão do processo de cantaria entre os habitantes do município (CANINÉ, 1992). A partir de 1980, a degradação da situação sócio-econômica da população, e particularmente dos pequenos e médios agricultores, provocou uma grande migração desses para exploração das rochas, no entanto sem nenhum preparo técnico para exercerem essa atividade. A produção cresceu substancialmente nos últimos dez anos devido ao aumento de possibilidades de uso das rochas, inicialmente usadas para pisos de currais. Desde então, têm sido aplicadas como revestimento externo de construções, muros, pisos, em jardins, substituindo com bom preço outras pedras de revestimento, como granitos polidos e pedra São Tomé.

A capacidade instalada de produção de rochas ornamentais das empresas de Santo Antônio de Pádua (76 pedreiras e 82 serrarias,

em 2005) foi estimada em 965.000m²/mês ou 22.288t/mês, com produção diária prevista em cerca de 1.700.000 lajinhas.

Os materiais encontrados na região são conhecidos como pedra Miracema, apresentando as variações Olho-de-Pombo (gnaisse cinza), Pinta Rosa (gnaisse rosado), Granito Fino (gnaisse cinza fino) e Pedra Madeira (gnaisse quartzoso de coloração variada - amarelo, rosa, verde, preto, etc). Todos são comercializados na forma de revestimento (lajotas e lajinhas), blocos, paralelepípedos, pedra almofadada. A pedra Miracema é considerada, pela construção civil, uma rocha de preço acessível, com boa resistência mecânica a choques mecânicos e a intempéries, além de ser antiderrapante, podendo ser utilizada em estado bruto nas áreas externas.

Os materiais que possuem uma foliação bem marcada permitem que sejam extraídos, com uso de *jet-flame* e ferramentas manuais, pequenos blocos, com dimensões máximas de aproximadamente 60 cm x 60 cm x 40 cm. Os blocos, com ferramentas também manuais, são separados na própria serraria em lajes de 60 cm x 60 cm x 5 cm, de modo que seja possível para os trabalhadores carregarem, manualmente, os caminhões. O método de exploração gera uma pequena diversidade de produtos, devido às restrições nas medidas dos blocos.

A maioria das empresas de beneficiamento, "serrarias" como são chamadas, utiliza máquinas de corte circular com disco diamantado, resfriado à água, alcançando a profundidade máxima de 10 cm. Este tipo de equipamento limita a produção a pequenas peças de, no máximo, 50 cm x 50 cm x 4 cm. Nessa etapa, é gerada a grande parte dos resíduos do beneficiamento. Estes são os chamados resíduos grossos das serrarias, denominados aparas, decorrentes das sobras das placas após a geração dos bloquinhos.

Normalmente, esses resíduos são acumulados em caçambas ou em pilhas nas próprias serrarias (Figura 4).



Figura 4. Ao fundo, rejeito grosso do processo de beneficiamento das rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua

Além dos resíduos grossos, a operação de corte das placas nas serrarias gera uma quantidade relativamente grande de pó de rocha misturado com a água usada sobre os discos diamantados para a refrigeração dos mesmos, formando, assim, os efluentes líquidos das serrarias (Figura 5).

Antes da implantação das Unidades de Tratamento de Efluentes em algumas serrarias, pelo projeto RETECMIN, do qual o CETEM foi um dos executores, os efluentes líquidos gerados neste processo de beneficiamento eram descartados, diariamente, ao meio ambiente. Além de assorear rios e córregos, a água contendo material sólido fino, grande parte na forma coloidal, era consumida pelo gado, causando danos ao rebanho da região. Se toda capacidade instalada das empresas de Santo Antônio de Pádua estiver em operação, prevê-se uma geração de cerca de 9.902

t/mês de resíduos grossos (aparas e cacos) e 1.548 t/mês de resíduos finos.



Figura 5. Rejeito fino decorrente do corte das rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua

Na tecnologia elaborada pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e pelo CETEM, foi desenvolvido o uso, com sucesso, desse rejeito fino em substituição à cal na formulação de argamassas industriais de assentamento e rejunte. As argamassas produzidas apresentaram qualidade superior à argamassa líder de mercado, o que levou o SINDGNAISSES a estabelecer parceria com uma empresa atuante nesse segmento de mercado para a implantação de uma fábrica de argamassa, com início de operações em 2007.

1.3 | Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) e Agregados Minerais - Insumos para o Processo de Pavimentação

Durante o processo de destilação do petróleo para a obtenção das frações leves (gasolina, diesel e querosene), forma-se um resíduo no fundo da torre de destilação a vácuo que é definido como Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

Devido às suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes e ao fato de ser flexível, viscoelástico, termosensível e apresentar alta resistência ao ataque da maioria dos ácidos inorgânicos, sais e álcalis, o CAP, quando compactado em conjunto com agregados minerais, pode ser utilizado na pavimentação de ruas e rodovias (PETROBRAS, PETROX).

No Brasil especificam-se quatro tipos de CAPs, classificados por penetração: CAP 30/45, CAP 50/60, CAP 85/100 e CAP 150/200 que, oriundos de petróleos venezuelanos, se destinam exclusivamente aos produtos asfálticos da Fábrica de Lubrificantes do Nordeste - LUBNOR e da Refinaria Landulfo Alves Mataripe - RELAM.

A classificação brasileira, com base na viscosidade a 60°C, engloba os seguintes tipos de CAPs: CAP 7, CAP 20 e CAP 40, e se destina aos produtos asfálticos oriundos de misturas de petróleos brasileiros, argentinos, árabes e venezuelanos (LEITE, 1999).

Os agregados minerais constituem cerca de 95% do peso das misturas asfálticas, tendo uma importante influência nas propriedades e no desempenho das misturas com o CAP. Os agregados minerais são responsáveis pela estabilidade mecânica dos revestimentos asfálticos, pelo suporte ao peso do tráfego e, ao mesmo tempo, por transmitir às camadas inferiores do revestimento uma pressão unitária reduzida (RIBEIRO, 2003).

2 | OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo foi verificar a aplicabilidade dos rejeitos gerados pelas serrarias de rochas ornamentais da região de Santo Antônio de Pádua em substituição ao conjunto de agregados minerais utilizados em misturas asfálticas.

Dessa forma, pretende-se reduzir o grande impacto ambiental causado pelo despejo desses rejeitos e diminuir o custo do pavimento asfáltico, uma vez que a parcela de agregados utilizados no pavimento é extremamente grande.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 | Cominuição das Amostras

Os rejeitos grossos, gerados no beneficiamento da pedra Miracema em Santo Antônio de Pádua, foram coletados na Serraria Farroma Pedras e Material de Construção Ltda ME. Os mesmos foram cominuídos em um britador de mandíbula DENVER, de modo a gerar partículas com três faixas de tamanho distintas (até 9,52 mm; entre 9,52 mm e 2,36 mm; e menor que 2,36 mm). Como efeito de comparação, o mesmo procedimento foi realizado para a cominuição de uma rocha basáltica, oriunda de São Carlos - SP. Convém lembrar que as rochas basálticas são largamente utilizadas como agregado (brita) para a construção civil e pavimentação.

3.2 | Cimento Asfáltico de Petróleo

O CAP utilizado nos ensaios é um CAP 20, cedido pelo CENPES, e será chamado CAP A.

3.3 | Caracterização dos Agregados Minerais

A fim de atender às normas estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte (DNIT), realizou-se uma série de ensaios com o conjunto de agregados minerais, para verificar sua adequação.

3.3.1 | Análises Química e Mineralógica

Para determinar a composição mineralógica, as amostras dos dois agregados minerais foram cominuídas abaixo de 0,149 mm e analisadas em um Espectômetro de Fluorescência de Raios-X da Coordenação de Análises Minerais no CETEM.

3.3.2 | Medidas de Infravermelho pelo Método de Reflectância Difusa

O equipamento utilizado neste ensaio foi um espectrômetro da marca Bomem, modelo MB102, com transformada de Fourier e detetor DTGS (alanina dopada com sulfato de triglicina deuturada) e janelas de iodeto de césio (CsI).

Para obtenção dos espectros seguiu-se a metodologia descrita em Monte (1998), onde 20mg do material em estudo (resíduo) foi misturado com 220 mg de KBr. A seguir, a mistura foi transferida para o recipiente do acessório de reflectância difusa. Foram realizadas 1000 varreduras para cada amostra a uma velocidade de 20 varreduras/min e resolução de 4 cm^{-1} .

O espectro foi analisado no intervalo de frequência entre 4000 e 200 cm^{-1} . A câmara do espectrômetro foi purgada com nitrogênio, objetivando remover CO_2 e H_2O antes da obtenção dos espectros. A fins de comparação, repetiu-se o mesmo procedimento para um agregado mineral padrão.

3.3.3 | Análise Granulométrica

Para determinar a distribuição granulométrica das 3 faixas de tamanho estudadas, foi realizada a classificação, seguindo os procedimentos descritos na norma DNER - ME 083/98, a seco, em peneirador vibratório orbital, do tipo Ro-Tap, utilizando peneiras com aberturas variando de $12,7 \text{ mm}$ até $0,075 \text{ mm}$. O tempo de agitação das peneiras foi de 10 minutos.

3.3.4 | Abrasão Los Angeles

O ensaio de abrasão utilizando o método Los Angeles DNER - ME 03/98 foi realizado em um moinho de bolas, marca Electra

Motors Dresser, modelo 8E-64300 OJ, onde somente os agregados graúdos foram utilizados.

Primeiramente verificou-se a distribuição granulométrica de cada um (brita 0 e pedrisco) e analisou-se em quais peneiras havia maior retenção de material. De posse dessa informação, peneiraram-se novamente os materiais até que 2.600g estivessem retidos nas peneiras. O material então foi lavado e seco em estufa a 115°C por 1 hora. Após esse tempo, 2500g de cada agregado livre de poeira foi adicionado no aparelho. Esse ficou em operação a 500 r.p.m., durante 40 minutos. Após esse período, todo material foi peneirado (# 4 ou < 2 mm), sendo o retido na peneira lavado, seco e pesado.

De acordo com o DNIT, valores inferiores a 50% classificam o agregado como apto, segundo a resistência à abrasão.

3.3.5 | Dureza Knoop

O ensaio de dureza seguiu a metodologia descrita em Almeida e Chaves (2002), onde uma placa de rocha polida com 7 x 7 cm foi submetida à 40 impressões com ponta de diamante, sob carga de 200g, utilizando-se um microdurômetro e realizando-se impressões perpendiculares à estruturação da rocha.

3.3.6 | Compressão Uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial seguiu a norma NBR 12767, preconizada pela ABNT e descrita em Almeida e Chaves (2002), sendo realizado com oito corpos de prova de formato cúbico, no estado seco.

3.3.7 | Ensaios de Flexão

O ensaio de flexão foi realizado segundo a norma NBR 12763/92, também preconizado pela ABNT, em corpos de prova retangulares e secos.

3.4 | Avaliação da Interação Química CAP/Agregado Mineral

3.4.1 | Ensaios de adsorção

Primeiramente elaborou-se uma curva de calibração utilizando-se as soluções de CAPs, maltenos e asfaltenos de concentração 1,0% p/v, de onde se retiraram alíquotas para preparo de soluções com as seguintes concentrações: 0,0005, 0,001 e 0,005 mg/L em tolueno. Essas soluções foram analisadas em um espectrofotômetro de Ultravioleta – visível, marca LAMOTTE, modelo SmartSpectro/spectrol, em comprimento de onda fixo em 402 nm (GONZÁLES e MIDDEA, 1987), obtendo-se assim a curva de calibração (concentração inicial *versus* absorvância) para cada CAP e seus respectivos constituintes. A partir daí, pela Lei de Beer, pôde-se obter equações de reta que foram empregadas para se verificar os valores de adsorção do CAP, ou um de seus constituintes, com o agregado mineral.

Nos ensaios de adsorção, pesou-se 0,5 g de agregado mineral, que consistia de uma mistura de brita 1, pedrisco, pó de pedra e areia, britados e peneirados (100 mesh), respeitando as normas de dosagem Marshall estabelecidas pelo DNIT (DNER ME 043/95), que foram colocados em 10 tubos de centrífuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de concentração específica, sendo elas: 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 em

mesa agitadora Shaker, marca Ika Labotechnik, modelo HS501 digital, durante 4 horas e 200 r.p.m.. Após esse período o material foi centrifugado durante 30 minutos a 3000 r.p.m, em centrífuga marca FANEM, modelo 209. Cada material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta - visível, em comprimento de onda fixo em 402 nm.

Com isso, pôde-se obter os valores de absorvância após a adsorção nos agregados minerais. De posse destes valores e de cada equação de reta, pôde-se obter os valores das concentrações finais e, conseqüentemente, das adsorções que cada CAP ou seu constituinte teve com o agregado mineral. Com esse experimento foi possível classificar qual dos constituintes do cimento asfáltico, asfalteno ou malteno, exerceu maior influência na adsorção com os agregados.

3.5 | Avaliação da Resistência Mecânica da Mistura Asfáltica

3.5.1 | Moldagem dos Corpos de Prova de Asfalto

Este método avalia o desempenho de misturas asfálticas quanto à propriedade de adesividade CAP/agregado, por meio de ensaios de laboratório em amostras compactadas. O método consiste na moldagem de três corpos de prova, em compactador Marshall, modelo IK-433, para cada cimento asfáltico, com percentual de vazios entre 6 e 8% na mistura compactada.

A preparação e os ensaios dos corpos de prova de asfalto foram realizados pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello - CENPES, constando da obtenção do percentual de vazios e do método AASHTO T 283/89 – LOTTOMAN.

3.5.2 | Método AASHTO T 283/89 – LOTTMAN

Para o ensaio LOTTMAN, foram moldados três corpos de prova para cada CAP, de acordo com o número de golpes estabelecido anteriormente. A seguir, cada um foi submetido a um ensaio de resistência mecânica.

O primeiro corpo de prova foi avaliado quanto à resistência à tração por compressão diametral sem nenhum tipo de condicionamento. Os outros dois foram sujeitos a um processo de condicionamento especificado no método AASHTO T 283/89, simulando a ação do intemperismo nos corpos de prova, como descrito a seguir: submeteu-se os corpos de prova imerso em água, a uma pressão de vácuo de 25,4 cm a 66 cm de coluna de mercúrio, por um período de cinco a dez 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.

As amostras foram resfriadas à temperatura de $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 16 horas. Em seguida as amostras foram retiradas da refrigeração, sendo uma analisada imediatamente quanto à resistência à tração por compressão diametral, com o intuito de simular a influência dos dias extremamente frios e verificar sua influência na resistência à tração dos asfaltos.

A outra amostra, após o período de congelamento, foi imersa em banho à temperatura de $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. A amostra foi removida para outro banho com temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por um período de 2 ± 1 hora e posteriormente submetida ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral, com o intuito de se observar a variação de resistência à tração, após variações bruscas de temperatura.

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 apresentado na Equação 1.

$$\mathbf{RR = (RC/RSC) . 100\% \quad (1)}$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 | Caracterização dos Agregados Minerai

4.1.1 | Análise Química

Os resultados da análise química, do rejeito e do basalto, encontram-se ilustrados na Tabela 1. Em ambos, pode-se verificar altos teores de sílica e alumina. Pode-se observar também que as relações Si/Al são muito semelhantes, sendo seu valor em torno de 3,8, característico de um aluminossilicato (ABOLLINO et al., 2003 e FARRAH, 1977). Esses resultados corroboram a idéia de utilização deste rejeito sólido na composição do asfalto, uma vez que sua composição química é semelhante à de um agregado basáltico.

Tabela 1. Resultados de Análise Química

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

4.1.2 | Análise Mineralógica

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise mineralógica realizada com os agregados minerai onde pode-se verificar uma se-

melhança entre as composições mineralógicas do gnaiss e basalto. Observa-se uma alta concentração de feldspato, chegando-se a valores em torno de 65%. Porém, observa-se uma grande diferença nos teores de quartzo, verificando-se um valor em torno de 12 vezes maior para o rejeito.

Tabela 2. Análise mineralógica do rejeito e do basalto

Minerais (%)	Rejeito	Basalto
Feldspato	62	64
Quartzo	25	2
Mica	13	--
Piroxênios	--	30
Olivina	--	--

4.1.3 | Medidas de Infravermelho pelo Método de Reflectância Difusa

As Figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, os espectros de infravermelho do rejeito e do basalto. Pode-se verificar a extrema semelhança entre seus espectros confirmando os resultados obtidos pela análise química, indicando cada vez mais a potencialidade de utilização destes resíduos como possíveis insumos para produção de asfalto.

Em relação aos resultados dos espectros dos agregados minerais, podem ser verificadas intensas vibrações das ligações Si-O em torno de 340 e 1.100 cm^{-1} , para o gnaiss e os argilominerais, caracterizando a presença de quartzo e corroborando os resultados obtidos na análise mineralógica. No que diz respeito ao basalto, esta vibração não é tão acentuada devido, possivelmente, ao baixo percentual desse mineral.

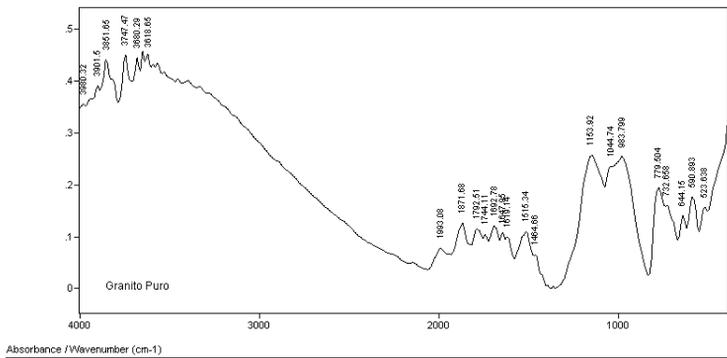


Figura 6. Espectro de infravermelho do rejeito

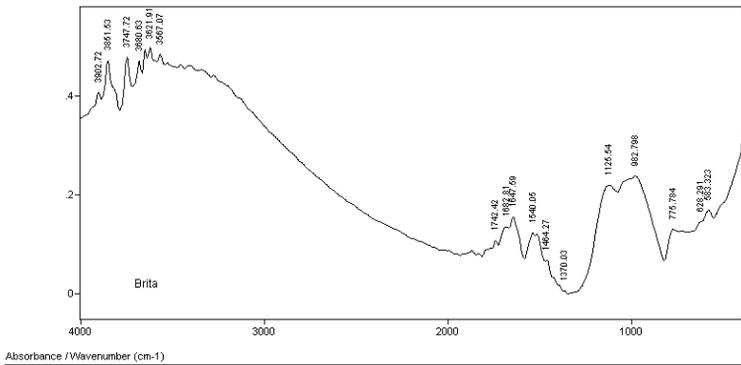


Figura 7. Espectro de infravermelho do basalto

4.1.4 | Análise Granulométrica

Os resultados da distribuição granulométrica do conjunto de agregados minerais encontram-se ilustrados na Tabelas 3 e 4. Pode-se observar a adequação dos mesmos à faixa C, segundo as normas estabelecidas pelo DNIT (DNER ME 083/98), uma vez que

a maior retenção de cada agregado nas peneiras obedeceu a seguinte distribuição: brita 1 (+1/2" e +3/8"), seguida pela brita 0 (- 3/8" + 8#) e o pó de pedra (- 8#), adequada às especificações estabelecidas em DNER – ES 313/97.

Tabela 3. Distribuição Granulométrica dos Agregados Minerais Basálticos

Abertura das peneiras (mm)	Brita 1	Pedrisco	Pó de Pedra
13	37,2	--	
-13 + 10	54,4	--	
-10 + 8	7,5	66,4	
- 8+ 2	0,4	32	
- 2 + 1	--	1,2	33
-1 + 0,5	--	--	17
- 0,5 + 0,297	--	--	17
- 0,297 + 0,177	--	--	9
- 0,177 + 0,149	--	--	3,5
- 0,149+ 0,074	0,27	--	15,4
- 0,074	0,25	1,2	8,2
Total	100 %	100%	100%

Tabela 4. Distribuição Granulométrica dos Agregados Minerais Gnáissicos

Abertura das peneiras	Brita 1	Pedrisco	Pó de Pedra
13	66,77	0	0
-13 + 10	28,67	82,12	0
-10 + 8	0,2	7,42	0,05
- 8+ 2	0,26	4,13	6,87
- 2 + 1	0,08	0,94	7,27
-1 + 0,5	0,05	0,42	6,72
- 0,5 + 0,297	0,15	0,72	14,96
- 0,297 + 0,177	0,32	0,99	21,92
- 0,177 + 0,149	0,14	0,35	6,94
- 0,149+ 0,074	0,9	1,39	19,81
- 0,074	2,46	1,52	15,45
Total	100%	100%	100%

4.1.5 | Abrasão Los Angeles

A Abrasão Los Angeles é uma medida preliminar da resistência do agregado graúdo à degradação por abrasão e impacto; entretanto, segundo Roberts et al. (1996), observações de campo não mostram uma boa relação entre a perda de Abrasão Los Angeles e o desempenho.

Com relação ao basalto, verificou-se um valor de abrasão em torno de 13%, e para o rejeito em torno de 26%. Valores típicos

variam de 10% para rochas ígneas extremamente duras até 60% para calcários frágeis e arenitos.

O máximo valor permitido para uso em misturas asfálticas é limitado pelas especificações pertinentes de 40% para algumas agências americanas a 60% para outras (ROBERTS et al., 1996 e MARQUES, 2001).

Dessa forma, verifica-se que o rejeito apresenta um valor de Abrasão Los Angeles dentro da faixa requerida para utilização em pavimentação.

4.1.6 | Dureza Knoop

Pode-se verificar um alto valor de dureza para o basalto, chegando a um valor em torno de 13 Mpa, e para o rejeito um valor em torno de 8 Mpa, valor esse similar ao encontrado por Almeida e Chaves (2002). Tais resultados indicam a alta resistência à dureza de ambos, classificando o rejeito como adequado para pavimentação asfáltica.

4.1.7 | Compressão Uniaxial

Pode-se verificar que o basalto e o rejeito apresentaram valores similares, em torno de 150 MPa, indicando o alto valor de resistência dessas rochas.

4.1.8 | Flexão

Pode-se verificar a alta resistência do basalto, apresentando um valor em torno de 22 Mpa, e o rejeito apresentando um valor em torno de 12,7 MPa. Tais resultados indicam a semelhança entre ambos, e a possível utilização em pavimentação.

4.2 | Avaliação da Interação CAP/Agregados Minerais

4.2.1 | Ensaios de adsorção

A Figura 8 apresenta o resultado da adsorção do CAP A nas superfícies do rejeito e do basalto onde pode-se verificar um comportamento similar de adsorção em ambas as rochas. Isto pode estar relacionado ao fato de suas composições químicas e mineralógicas serem similares, como apresentado anteriormente.

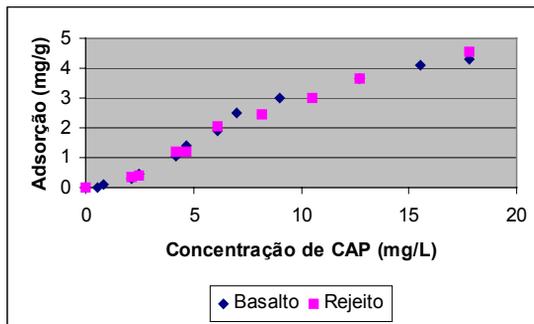


Figura 8. Adsorção do CAP A na superfície do basalto e do rejeito

4.3 | Avaliação da Resistência Mecânica

O valor limite das especificações SUPERPAVE para resistência mecânica de misturas asfálticas é de 80% mínimo, sendo que Hicks (1991) considera 70% como um valor admissível. Dessa forma, verifica-se que as misturas asfálticas produzidas com o basalto e o rejeito apresentaram resultados de razão de resistência em torno de 113 e 130%, respectivamente. Com isso, verifica-se a adequação da utilização do rejeito do corte de rochas gnáissicas na composição asfáltica.

5 | CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os rejeitos de rochas ornamentais, gerados pelas serrarias de Santo Antônio de Pádua - RJ, apresentam potencialidade para utilização em pavimentação asfáltica.

Tal fato foi concluído porque o rejeito em estudo apresentou-se dentro das normas requeridas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT, bem como apresentou resultados similares ao basalto, que é amplamente utilizado em pavimentação.

BIBLIOGRAFIA

- 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.
- AASHTO T 283/89 – LOTTMAN
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. “Rochas para Revestimento, Determinação da resistência à flexão, – NBR 12763”, Rio de Janeiro, p. 3, 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. “Rochas para revestimento, determinação da resistência à compressão uniaxial – NBR 12767”, Rio de Janeiro, p. 2, 1992.
- ALMEIDA, S. L. M e CHAVES, A. P., Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua – RJ, CETEM – MCT, 2002.
- BAPTISTA FILHO, J. e TANAKA, M. D., Caracterização Econômica e Mercadológica da Região Produtora de Rochas Ornamentais de Santo Antônio de Pádua (RJ), Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ 1998.
- CANINÉ, J. M., Pedra Miracema, a rocha ornamental de Santo Antônio de Pádua, Niterói, Departamento de Recursos Minerais, 1992.
- CARVALHO, E.A., CAMPOS, A. R., PEITER, C. C. e ROCHA, J. C., Aproveitamento dos Resíduos Finos das Serrarias de Santo Antônio de Pádua (RJ), III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza – Ceará, 2004.
- CHIODI FILHO, C., Situação Brasileira no Mercado Internacional de Rochas Ornamentais: Retrospectiva e Perspectivas, III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Trabalho técnico, Fortaleza, CE, 2006.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 083/98 Agregados – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, 1998, p. 3.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 035/98 – Agregados – Determinação de abrasão Los Angeles, Rio de Janeiro, 1998, p. 6.

- FARRAH, H. AND PICKERING, The Sorption of lead and cadmium species by clay minerals, *Aust. J. Chem* 30, 1417-1422, 1977.
- GONZÁLEZ, G. & MIDDEA, A. (1987), Asphaltenes Adsorption by Quartz and Feldspar, *J. Dispersion Science and Technology*, 8 (5 & 6), P: 525-548.
- HICKS, R. G., "Moisture damage in asphalt concret", TRB – Transportation Research Board, NCHRP Synthesis of Highway Practice, nº 175, 1991.
- LEITE, L. F. M., SILVA, P. D. E. A., BORGES, P., RIBEIRO, R. C. C. e MOURÃO, F., "Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Quanto ao Deslocamento", Relatório Técnico, CENPES, 2002.
- LEITE, L. F. M., "Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero", Tese de Doutorado, Instituto de Macromoléculas - IMA, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, p.9, 1999.
- MAREL, H. W. V. e BEUTELSPACHER, H., Atlas of Infrared spectroscopy of clay minerals and their mixtures, Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier Scientific Publishing Company, 1976.
- 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.
- MENEZES, K. S., SOUZA, P. A. e ROCHA, C. R. "Viabilidade do emprego de finos de basalto em concretos compactados", 13ª Reunião Anual de Pavimentação, Alagoas, Maceió, 2006.
- MONTE, M. B. M. (1998), "Propriedades se Superfície do ouro e da pirita e sua separação por flotação", Tese de Doutorado, COPPE, Rio de Janeiro.
- Revista Arquitetura & Construção, site: casa.abril.uol.com.br/arquitetura, 2005.
- RIBEIRO, R. C. C., Interação entre Cimentos Asfálticos de Petróleo e seus Constituintes com Agregados Minerais na Composição do Asfalto, Dissertação de Mestrado, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro – 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.

STELLIN Jr., A. e Caruso, L. G., Caracterização de Mármore e Granitos, Cadernos da USP, Universidade de São Paulo, 2004.

VEIGA, M. M.; FERNANDES, F. R. C.; FARID, L. H.; MACHADO, J. E. B.; SILVA, A. O.; LACERDA, L. D.; SILVA, A. P.; SILVA, E. C.; MARINS, R. V.; IMBASSAHY, J. A.; PFEIFFER, W. C.; BASTOS, W. R. E & SOUSA, V. P, Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo, CETEM/CNPq , 1991, Brasil.

VIANA, R. R., Caracterização Tecnológicas de Rochas Ornamentais do Estado de Mato Grosso, Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, 2004.

www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=73 - 55k – Minerais do Paraná, 2006.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2006, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, cerca de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa *homepage*. As obras estão disponíveis em texto completo para *download*. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Tecnologia Mineral

STM-86 - **Utilização do Calcário do Cariri Cearense como Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica**. Roberto Carlos da C. Ribeiro, Julio Cesar Guedes Correia, Peter Rudolf Seidl, Jorge Barbosa Soares, Francisco Wilson Holanda Vidal e Livia Pinheiro de Araujo, 2006.

STM-85 - **Análise de Modelo Cinético: flotação verdadeira e arraste. Influência do tamanho das partículas**. Fernando Antunes Gaspar Pita, 2006.

STM-84 - **Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Mineraiis na Formação do Asfalto**. Roberto Carlos da C. Ribeiro, Julio Cesar Guedes Correia e Peter Rudolf Seidl, 2005.

STM-83 - **Influência da aeração numa coluna BATCH**. Fernando A. G. Pita, 2004.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3867-7222 - Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233
Telefax: (21) 2260-2837
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.