

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS GERADOS NO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA PARA MELHORAMENTO DE BASE

Use of waste generated in the cutting of ornamental rocks in asphalt paving for base improvement

Dayanne Severiano Meneguete

Mestre em Mestre em Engenharia Civil (Estruturas/Solos).
E-mail: dayanne.meneguete@ffassis.edu.br

Lays Carvalho Batista

Bacharel em Engenharia Civil (Faculdade do Sul da Bahia).
E-mail: laysbcarvalho@gmail.com

Wagner Antônio Cesconetto Júnior

Bacharel em Engenharia Civil (Faculdade do Sul da Bahia).
E-mail: wjuniorcesconetto@gmail.com

Resumo: Nos dias atuais, com o aumento da demanda de recursos naturais usados, como materiais de construção, tem-se a necessidade de buscar formas de reduzir o uso destes recursos e amenizar o impacto que estas ações geram no meio ambiente. No cenário da pavimentação rodoviária, uma forma de minimizar a escassez de recursos naturais é a utilização de materiais recicláveis nas camadas do pavimento. Sendo assim, este trabalho busca estudar uma forma ambientalmente sustentável e econômica para a realização da restauração de pavimentos flexíveis que necessitam de reforços, verificando a possibilidade da utilização de lama misturada com solo e cal, como agregado mineral, para pavimentação asfáltica, avaliando o teor de umidade ótima, a evolução da resistência à compressão simples, além de avaliar os limites de liquidez e plasticidade dos materiais individualmente e misturados.

Palavras-chave: Melhoramento de base; lama abrasiva; reaproveitamento de resíduos.

Abstract: Today, with increasing demand for natural resources such as building materials, it is necessary to find ways to reduce the use of these resources and reduce the impact of these actions on the environment. In the road paving scenario, one way to minimize the scarcity of natural resources is to use recyclable materials in the layers of the pavement. Thus, this work seeks to study an environmentally sustainable and economical way to perform the restoration of flexible pavements that require reinforcement, verifying the possibility of the use of mixed sludge to the soil and lime, as a mineral aggregate, for asphalt paving, evaluating the optimum moisture content, the evolution of the resistance to simple compression, besides evaluating the limits of liquidity and plasticity of the individual and mixed materials.

Keywords: basic improvement; abrasive paste; reuse of waste.

INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente se destaca na produção de rochas ornamentais e de revestimentos. Esse tipo de indústria gera diferentes tipos de resíduos. Sendo que, os que mais causam danos são as lamas, oriundos da serragem e polimento. Devido à grande abundância desses rejeitos, as pedreiras e Instituições Ambientais vêm buscando uma solução para a diminuição dos problemas ecológicos que estas lamas abrasivas trazem.

Fundamentado nisso, o objetivo deste trabalho foi o de verificar a possibilidade de utilizar essa lama, como agregado mineral, misturada com um material ligante, a cal, para melhoramento da base em pavimentação.

As amostras de solo foram coletadas no Campus II da Faculdade do Sul da Bahia (FASB). Já as amostras de resíduos da serragem de granito foram doadas de uma marmoraria da região de Teixeira de Freitas, na Bahia. Em seguida, os materiais foram analisados no Laboratório de Engenharias da Fasb.

Os ensaios realizados foram de granulométrica composta por sedimentação e peneiramento, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação e compressão axial. Todo esse trabalho foi seguido pelas normas de solo NBR e de base de pavimentação do DNIT.

REVISÃO DE LITERATURA

Os produtos que advêm das atividades mineradoras cada vez mais vêm sendo consumidos, proporcionando a todos maior conforto. No entanto, o crescimento populacional e consequente aumento desse consumo juntamente com a utilização exacerbada dos recursos naturais têm prejudicado as condições de vida no planeta, devido à geração dos resíduos pro-

venientes desses processos. Segundo Silva (1998), esses resíduos se tornam rejeitos que contaminam diretamente os rios, poluem o ambiente e acarretam doenças pulmonares na população.

A retirada de blocos de granito para a produção de chapas gera uma grande quantidade de resíduos grosseiros e resíduos finos que aparecem na forma de lama. Esta é normalmente constituída de água, de granalha, de cal e de rocha moída, que após o processo são lançados no meio ambiente. Depois que a água evapora, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos (FARIAS, 1995).

Devido a esses problemas, as autoridades ambientais vêm multando e fechando as serrarias e pedrarias que lançam esses resíduos no meio ambiente (SILVA, 1998). Além disso, esses rejeitos também impulsionaram estudos na viabilidade de utilização dos mesmos em diversos setores das indústrias.

Nesse contexto, surge o processo de pavimentação asfáltica, que utiliza em sua mistura, cerca de 95% de agregados minerais, como britas e basalto, e 5% de cimentos asfálticos de petróleo, CAP. Esse CAP tem função 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 (ELPHINGSTONE, 1997).

Dentre os agregados minerais mais utilizados podemos citar a areia, o pedregulho, a pedra britada, a escória e o filer. Esses agregados devem ser extraídos da natureza e beneficiados, por representarem mais de 95% da composição do asfalto. Eles são os responsáveis pela maior parcela de custo do asfalto produzido (RIBEIRO, 2003).

METODOLOGIA

O resíduo utilizado na pesquisa é proveniente de uma empresa de serragem e beneficiamento de rochas ornamentais no interior da Bahia. Vários tipos de rochas e resíduos oriundos dessa serrada são colocadas juntamente, por serem resultantes de uma única empresa. Porém, nesse estudo, a lama residual foi constituída por cortes de rochas de granitos diferentes.

Depois de coletado esse resíduo manualmente, a lama foi lançada em uma lona para ser seca ao ar livre, por volta de 5 dias. Após secagem ela foi destorroada e peneirada (peneira 4.8 mm), e, em seguida, as amostras foram preparadas para ensaios de caracterização, compactação e moldagem de corpos de prova conforme NBR 6457 (ABNT, 1986).

O solo empregado também foi retirado da região, destorroado na mesma peneira e quarteadado a fim de reduzir a massa da amostra em fração menor.

Para fins de caracterização do solo e lama foram realizados ensaios de granulometria, massa específica, limites de liquidez e plasticidade e compactação.

Granulometria: para solos de grãos mais finos foi necessária a utilização da granulometria conjunta, que envolve a sedimentação das partículas menores e peneiramento das maiores. Na etapa de sedimentação utilizou-se 120g de solo e 70,07g de lama juntamente com 125 ml de defloculante deixados em repouso por 12 horas. Após esse período permaneceu por 15 minutos no dispersor. As duas misturas foram transferidas para uma proveta e o volume foi completado até 1000 ml. As amostras foram homogeneizadas e depois foram anotadas as densidades em intervalos de tempo definidos por norma. Finalizado o tempo, as amostras foram lavadas na peneira nº 200 e a parte retida foi seca em estufa para realizar a etapa de peneiramento, que consistiu em anotar a massa de resíduo retida em cada peneira. No fim, definiu-se a curva granulométrica. Esse ensaio foi definido pela NBR 7181 (ABNT, 1998b).

Massa Específica: o procedimento começou com uma preparação prévia da amostra que ficou em repouso por 12 horas com água destilada. Depois, essa amostra foi transferida para o picnômetro completando o volume até 250 cm³ e retirou-se o ar dele. Esse ensaio baseou-se em se tomar a massa do conjunto do picnômetro + água + resíduo em diferentes temperaturas que variam em um intervalo de cerca de 1,5°C. O ensaio foi definido pela NBR 6508 (ABNT, 1984b).

Limite de Liquidez: esse ensaio resumiu-se em colocar uma pasta formada pela amostra e água em uma concha fazendo uma ranhura nessa pasta. Com o equipamento preso, a manivela rotacionou a uma velocidade de 2 voltas por segundo. Foram anotadas quantas voltas foram necessárias para que a ranhura se fechasse e colheu uma amostra para checar a umidade. Esse procedimento foi realizado ao menos 5 vezes com o valor dos golpes variando entre 15 e 35 golpes. Esse ensaio foi definido pela NBR 6459 (ABNT, 1984a).

Limite de Plasticidade: esse ensaio compreendeu na confecção de um pequeno bastão de amostra que foi rolada numa placa esmerilhada de vidro com a mão. O intuito foi chegar a um bastão de aproximadamente 3 mm de diâmetro com início de formação de fissuras. Isto acontecendo, tirou-se uma amostra da parte fissurada para checagem da umidade. Esse ensaio foi definido pela NBR 7180 (ABNT, 1988a).

Compactação: esse ensaio teve o objetivo de compactar em 3 camadas, corpos de provas com teores de umidade diferentes, pesando-os ao

final do processo e retirando cápsulas que verificaram seu teor de umidade. Com esses dados conseguiu-se traçar a curva de variação da massa específica seca em função do teor de umidade. Nesse trabalho utilizou-se a energia normal, sendo o experimento realizado com reutilização da amostra. Com esse experimento, obteve-se a umidade ótima de compactação que forneceu a maior massa específica seca. Esse ensaio foi definido pela NBR 7182 (ABNT, 1988c).

Para fins de resistência do solo e lama foi realizado o ensaio de compressão simples.

Compressão Simples: foram confeccionados e moldados 3 corpos de prova com dimensões de 10x15 cm, para solo, lama e misturas, utilizando-se a umidade ótima encontrada na compactação. Nesse ensaio empregou-se a energia intermediária. Esses corpos foram rompidos após 24 horas na prensa hidráulica e anotado sua capacidade em kgf. Esse ensaio foi definido pela NBR 12253 (ABNT, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de Caracterização

A Tabela 1 apresenta os valores de Limites de Plasticidade obtidos para os materiais puros e para as misturas de solo, lama abrasiva e cal.

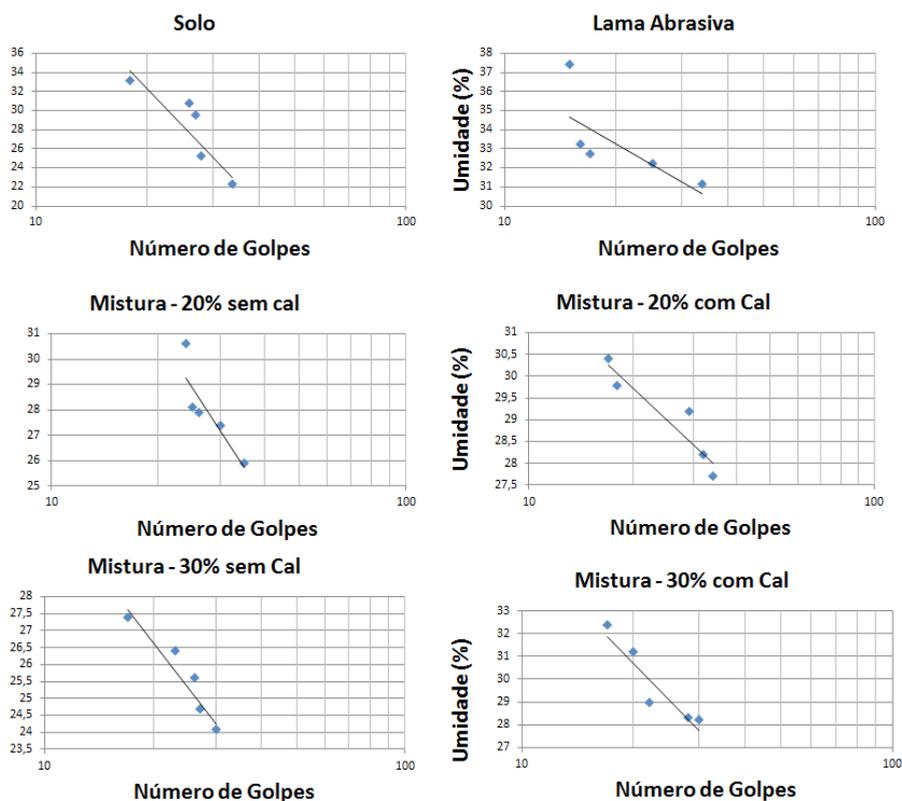
Tabela 1 - Limite de Plasticidade

Material	Limites de Plasticidade - LP (%)
Solo	15
Lama abrasiva	26
Mistura - 20% sem cal	21,9
Mistura - 20% com cal	23,1
Mistura - 30% sem cal	22,3
Mistura - 30% com cal	24,9

Fonte: Desenvolvido pelos Autores, 2017

A Figura 1 apresenta os gráficos de Limites de Liquidez dos materiais puros e para as misturas de solo, lama abrasiva e cal, e com essas informações foi possível obter o Limite de Liquidez por meio do cálculo de interpolação linear quando não se obteve o ponto correspondente a 25 golpes na realização do ensaio, expressos na Tabela 2.

Figura 1 - Gráficos de Limites de Liquidez dos Materiais e das Misturas



Fonte: Desenvolvido pelos Autores, 2017

Tabela 2 - Limites de Liquidez dos Materiais e das Misturas

Material	Limite de Liquidez - LL (%)
Solo	31
Lama abrasiva	32,2
Mistura- 20% sem cal	28,1
Mistura- 20% com cal	29,4
Mistura- 30% sem cal	25,9
Mistura- 30% com cal	28,6

Fonte: Desenvolvido pelos Autores, 2017

Os índices de plasticidade dos materiais e misturas são apresentados na Tabela 3.

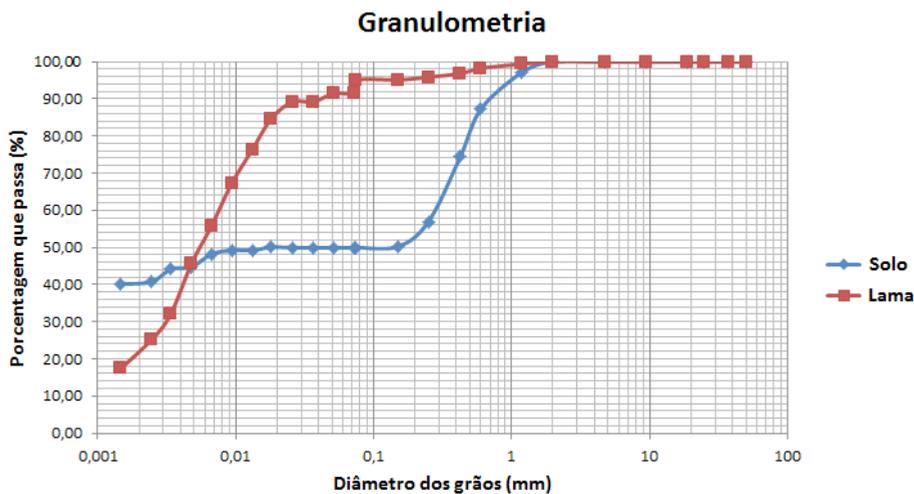
Tabela 3 - Índices de Plasticidade dos Materiais e das Misturas

Material	Índices de Plasticidade - IP (%)
Solo	16
Lama abrasiva	6,2
Mistura- 20% sem cal	6,2
Mistura- 20% com cal	6,3
Mistura- 30% sem cal	3,6
Mistura- 30% com cal	3,7

Fonte: Desenvolvido pelos Autores, 2017

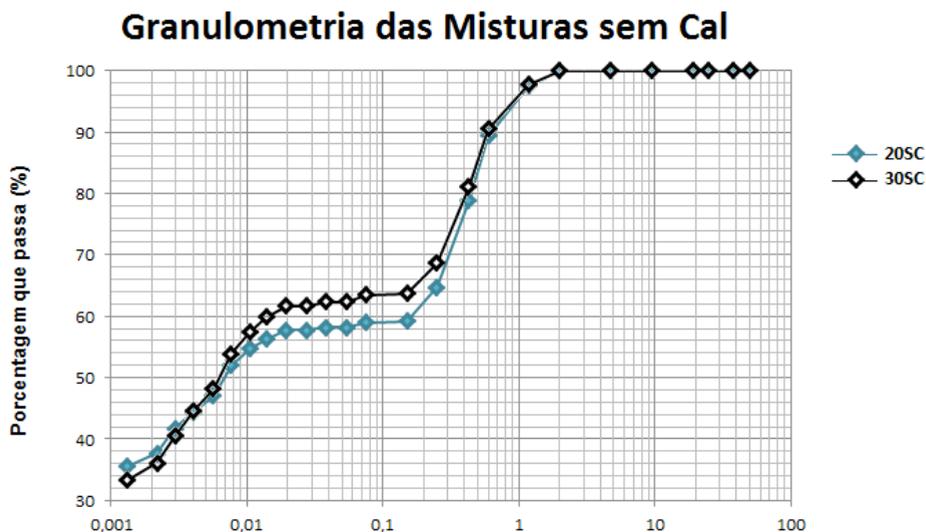
Após a realização dos ensaios de sedimentação e granulometria foram elaboradas as curvas granulométricas do solo e da lama abrasiva, apresentadas na Figura 2. E as Figuras 3 e 4 representam a granulometria das misturas.

Figura 2 - Curvas granulométricas dos materiais



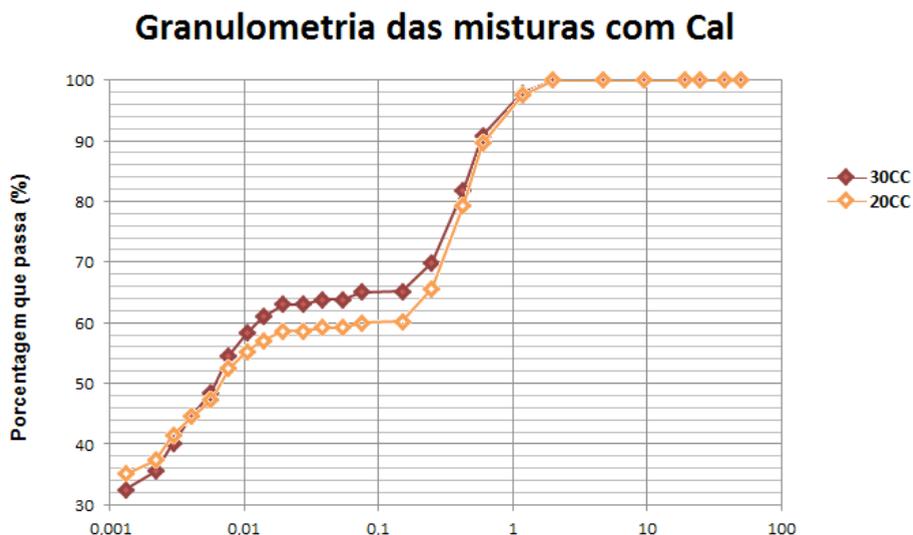
Fonte: desenvolvido pelos autores, 2017

Figura 3 - Curvas granulométricas das misturas sem cal



Fonte: desenvolvido pelos autores, 2017

246 Figura 4 - Curvas granulométricas das misturas com cal



Fonte: desenvolvido pelos autores, 2017

Com os dados obtidos na curva granulométrica foi possível classificar os materiais e as misturas conforme o Sistema de classificação Highway Research

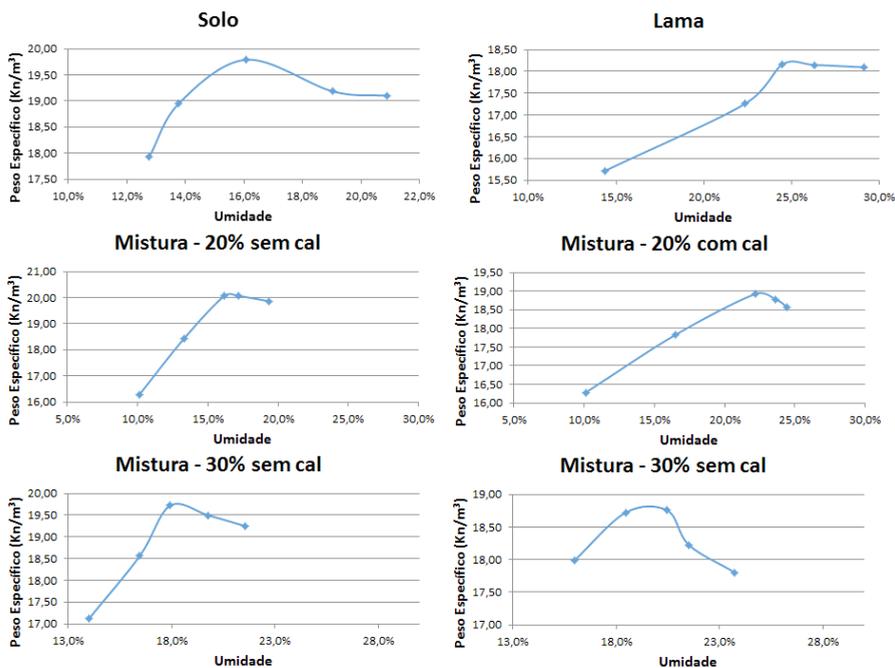
Board (H.R.B.) e o sistema unificado de classificação dos solos (SUCS), os materiais e suas respectivas classificações estão expressos na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos Materiais e das Misturas

Material	Classificação H.B.R.	Classificação SUCS
Solo	A-6	SC
Lama Abrasiva	A-4	ML
Mistura- 20% sem cal	A-4	ML-CL
Mistura- 20% com cal	A-4	ML
Mistura- 30% sem cal	A-4	ML
Mistura- 30% com cal	A-4	ML

Fonte: Desenvolvido pelos Autores, 2017

De acordo com a classificação H.B.R. todos os materiais são silte-argilosos, onde o solo é predominantemente argiloso, e a lama e misturas



Fonte: Desenvolvido pelos Autores, 2017

são predominantemente siltosos não plásticos. Já na classificação SUCS, o solo é uma areia argilosa, e a lama e misturas são siltes, sendo unicamente silte-argiloso a mistura de 20% sem cal.

A Figura 5 apresenta os gráficos de compactação dos materiais e das misturas para determinação da umidade ótima, os valores desta estão expressos na Tabela 5.

Figura 5 - Gráficos de compactação

Tabela 5 umidade ótima dos materiais e das misturas

Material	Umidade ótima (%)
Solo	16,1
Lama abrasiva	24,5
Mistura - 20% sem cal	16,2
Mistura - 20% com cal	19,0
Mistura - 30% sem cal	17,9
Mistura - 30% com cal	20,5

Fonte: Desenvolvido pelos Autores, 2017

Compressão Axial

Foram moldados 3 moldes de cada um dos materiais e misturas, na umidade ótima e energia intermediária para realização do ensaio de compressão simples. As médias desses resultados estão expressas na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados da Compressão Simples

Material	Carga (tf)	Tensão (Mpa)
Solo	0,40	0,51
Lama Abrasiva	0,25	0,32
Mistura- 20% sem cal	0,39	0,5
Mistura- 20% com cal	0,35	0,45
Mistura- 30% sem cal	0,19	0,24
Mistura- 30% com cal	-	-

Fonte: Desenvolvido pelos Autores, 2018

CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou resultados de ensaios de caracterização física e mecânica realizados em solo, em lama abrasiva proveniente de

beneficiamento de rochas ornamentais graníticas da região do Extremo Sul da Bahia, e em mistura destes dois materiais, em proporções em massa de 20% de resíduo e 80% de solo, de 20% de resíduo, 10% de cal e 70% de solo, 30% de resíduo e 70% de solo e 30% de resíduo, 10% de cal e 60% de solo.

O solo utilizado foi um silte-argiloso, considerado fraco ou pobre para as sub-bases rodoviárias, e o resíduo também. Com a incorporação da lama abrasiva, foi observada uma melhora em significativa no IP (índice de plasticidade), em que houve uma redução expressiva em seu valor em todas as misturas, principalmente as de 30% de lama. No entanto, para o ensaio de compressão axial os resultados foram insatisfatórios, tendo sido notado uma diminuição do valor de ruptura. Supõe-se que com a diminuição de lama abrasiva para 10% a compressão axial seria adequada.

Quanto à aplicação em camadas de pavimentos, notamos que o resíduo é muito fino para se enquadrar nas faixas granulométricas do DNIT. Para adequação, esse material deveria ser utilizado em misturas com um ligante mais grosso. Outro ponto a considerar seria o acréscimo de material argiloso para melhorar a plasticidade.

Sendo assim, conclui-se que o melhoramento de solo de comportamento argiloso com adição de lama abrasiva de rochas ornamentais graníticas é viável para a proporção de 10% de lama e 80% de solo, ou 10% de lama, 10% de cal e 70% de solo, ou até mesmo substituindo o material ligante por outro, de preferência um ligante hidrófobo para melhorar a impermeabilidade e o pavimento, como betumes, asfaltos ou resinas.

249

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984a, 6p.
- _____. NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984b, 8p.
- _____. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1988a, 3p.
- _____. NBR 7181: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988b, 13p.
- _____. NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1988c, 10p.
- _____. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a, 71p.
- _____. NBR 12025: Solo-cimento – Ensaio de Compressão Simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990, 2p.
- DEPARTAMENTO NACIONAIS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 141/2010: Pavimentação – Base estabilizada granulome-

tricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010. 9 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit141_2010_es.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2017.

ELPHINGSTONE, 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. FRANQUET, P. F., Adhesividad y activación, Carreteras 103, Septiembre, 1999.

FREIRE, L. C.. Utilização de resíduos oriundos do desdobramento de rochas ornamentais para confecção de blocos paisagísticos. In: Jornada De Iniciação Científica, 17., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. **SciELO: cerâmica**, São Paulo, v. 51, n. 26, p.180-186, set. 2005.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. de A. Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. **SciELO: cerâmica**, São Paulo, v. 48, n. 13, p.92-101, jun. 2002.

OLIVEIRA, Tatiane de. **Caracterização do resíduo de serragem de rochas ornamentais para aplicações geotécnica**. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

RIBEIRO, R. C. C.; CORREIA, J. C. G.; SEIDL, P. R.. Aproveitamento de resíduos gerados no corte de rochas ornamentais em pavimentação asfáltica. In: **Anais...** CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3, 2007, Natal. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 261-269.

RIBEIRO, R. C. C., **Interação entre cimentos asfálticos e seus constituintes com agregados minerais na formação do asfalto**. Tese de Mestrado, EQ – UFRJ, 2003.

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.