

19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

### AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DA LAMA DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS (LBRO) EM CAMADAS DE PAVIMENTO

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Maykon Barth Oliveira Dias<sup>1</sup>; Carla Therezinha Dalvi Borjaille Alledi<sup>2</sup> &  
André Gustavo de Sousa Galdino<sup>2</sup>*

#### RESUMO

O cenário atual Brasileiro apresenta a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura. Segundo pesquisas da Confederação Nacional dos Transportes, nosso país possui cerca de 1.720.700 km de rodovias, dos quais apenas 12,4% são pavimentadas. Observa-se ainda que das rodovias pavimentadas cerca de 52,2% dos trechos avaliados têm problemas no pavimento. O uso de materiais naturais e finitos em obras de pavimentação levantam um alerta para a procura de novas matérias primas e/ou a utilização de resíduos provenientes do setor industrial. Como exemplo de resíduo, existe a Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO) que é proveniente do beneficiamento dos blocos de rocha e desdobramento do bloco em chapas. O Estado do Espírito Santo possui grande destaque no cenário nacional do setor de rochas, possuindo o maior parque de beneficiamento da América Latina e consequentemente tendo uma grande geração de resíduos de LBRO. Alguns pesquisadores verificaram a possibilidade de uso da LBRO em camadas de pavimentos, chegando à conclusão que é possível a aplicação em camadas de reforço de subleito e até mesmo em sub-base por meio de misturas de resíduo + solo e na energia de compactação adequada. É importante destacar que o setor de beneficiamento de rochas tem sofrido avanços tecnológicos e mudanças nos equipamentos de corte de blocos. Verifica-se a tendência da troca do tear convencional pelo tear com fio diamantado, que é um equipamento moderno que não utiliza a granalha de aço para corte dos blocos. Após revisão da literatura os autores buscam caracterizar o resíduo de LBRO proveniente de tear com fio diamantado para aplicação em camadas de reforço, sub-base ou base de pavimentos.

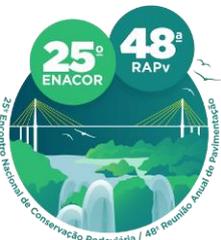
**PALAVRAS-CHAVE:** LBRO; Lama do Beneficiamento de Rochas; Pavimentação; Resíduos para pavimentação.

#### ABSTRACT

The current Brazilian scenario requires significant investments in infrastructure. According to research conducted by the National Confederation of Transport, our country has approximately 1,720,700 kilometers of highways, of which only 12.4% are paved. Furthermore, it is noteworthy that, out of the evaluated sections of paved highways, about 52.2% of them exhibit paving issues. The usage of natural and finite materials in the construction of pavements raises concerns and underscores the need to explore new raw materials and/or the utilization of waste from the industrial sector. An example of such waste is the Sludge Generated during Ornamental Rock Processing (LBRO - the Portuguese acronym for "Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais"), which is generated during the processing of rock blocks into slabs, which has a low material utilization rate. The state of Espírito Santo stands out in the national rock sector, boasting the largest processing park in Latin America and consequently generating a significant amount of LBRO waste. Researchers have investigated the potential of utilizing LBRO in pavement layers and have concluded that it can be applied in subgrade reinforcement layers and even in sub-bases through mixtures of waste + soil, using appropriate compaction energy. It is worth noting that the rock processing sector has undergone technological advancements and changes in block-cutting equipment. There is a trend of replacing conventional wire saws with diamond wire saws, which are modern equipment that do not employ steel shot for block cutting. Following literature review, the authors aim to characterize the LBRO waste generated by diamond wire saws for its application in reinforcement layers, sub-base or pavement base.

**KEY WORDS:** LBRO; Ornamental Rock Processing Sludge; Paving; Pavement waste.

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Sustentáveis do Instituto Federal do Espírito Santo, E-mail: m.barth6@hotmail.com <sup>2</sup> Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Sustentáveis do Instituto Federal do Espírito Santo, E-mail: carla.borjaille@gmail.com; andreg28@gmail.com.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

O modal rodoviário brasileiro dentro da matriz de transporte, tem sua maior participação no setor, contando com 61,1% das cargas, seguido do ferroviário com 20,7% e aquaviário com 13,6%. Esses três modais representam 95,4% de toda a carga transportada no país (CNT, 2022).

A Confederação Nacional dos Transportes - CNT (2021) por meio de seu anuário estatístico concluiu que até o ano de 2020 o Brasil possui cerca de 1.720.700 km de rodovias, dos quais apenas 213.452 km são pavimentados, o que representa 12,4% da extensão total. Dentro das rodovias pavimentadas, 61,9% apresentaram algum tipo de problema no estado geral, sendo que 52,2% dos trechos avaliados têm problemas no pavimento de acordo com as pesquisas realizadas.

As camadas de um pavimento são basicamente constituídas por solos, britas ou misturas de diversos materiais com diferentes granulometrias. Esses materiais possuem características próprias e precisam ser estudados de modo que haja uma estabilização, de tal forma que, suas características atendam as condições técnicas mínimas para o uso como material de construção ou para suporte de estruturas da engenharia (JOAQUIM, 2017).

Os estudos de Balbo (2007) definem a estabilização de solos como sendo a maneira de modificá-lo de modo a criar condições necessárias para resistir a ações climáticas e aos esforços e desgastes induzidos pelo tráfego, sob condições adversas ponderadas no projeto. Essas modificações são geradas através da compactação, redução da plasticidade, correção da granulometria ou ainda através da adição de produtos que confirmam uma coesão por meio da aglutinação ou cimentação dos seus grãos.

O cenário atual apresenta a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura, sempre buscando a melhor relação entre desenvolvimento e a sustentabilidade ambiental. O uso de materiais naturais e finitos em obras de pavimentação levantam um alerta para a procura de novas matérias primas e/ou a utilização de resíduos provenientes do setor industrial.

Buscando exemplos de grande geração de resíduos granulares com potencial de aplicação na engenharia, pode-se destacar o setor de rochas ornamentais. No Brasil a exploração e beneficiamento de rochas vem tendo grande destaque mundial, devido à ampla diversidade geológica e aos avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos (ABIROCHAS, 2021).

Do ponto de vista litoestrutural, o território brasileiro acha-se dividido em oito Províncias Geológicas, todas passíveis de conter jazimentos de rochas ornamentais. A Província Mantiqueira, contendo os estados do Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, possui jazidas significativas em exploração, sendo responsável por mais de 60% da produção nacional. A segunda em importância, com 30% da produção, a Província São Francisco é composta pelos estados da Bahia e Minas Gerais. (VIDAL et al., 2013).

Nesse contexto no ano de 2021 o estado do Espírito Santo foi o maior exportador de rochas ornamentais do país, os valores exportados ultrapassaram a marca de 1 bilhão de dólares, conquistados devido ao estado contemplar o maior parque de beneficiamento de rochas ornamentais da América Latina e a maior reserva de mármore do país (ABIROCHAS, 2021).

O beneficiamento de um bloco de rocha ornamental bruto também é conhecido como serragem ou desdobramento e consiste no corte dos blocos em chapas, com uso de equipamentos denominados de tear. A figura 1 apresenta os diferentes tipos de teares quem podem ser convencionais, que utilizam lâminas de aço, ou os teares com fio diamantado.

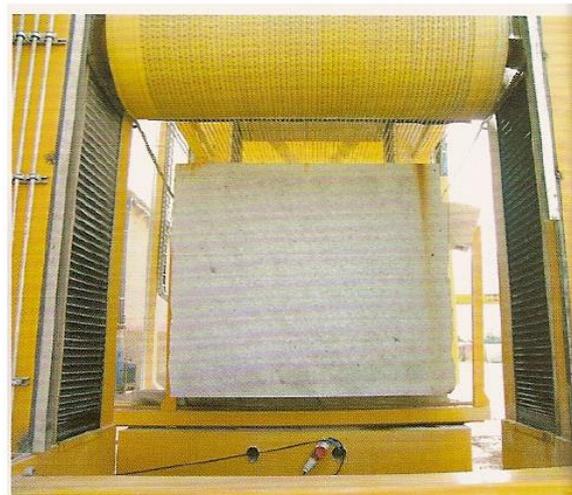


Figura 1: Processo de serragem dos blocos: a esquerda o Tear convencional, a direita o Tear multifio com fio diamantado. (Fonte Buzzi, 2008).

A pesquisa de Sardol *et al.* (2013) concluiu que durante os processos de extração e beneficiamento de rochas que consiste na transformação do bloco em produtos comerciais, há uma baixa taxa de aproveitamento dos materiais. Estudos indicam que 40% do volume do bloco processado se torna resíduo, sendo destes, 26% na forma de resíduo muito fino proveniente dos processos de serragem.

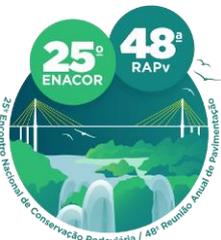
O resíduo gerado durante os processos de serragem do bloco é chamado de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO), sendo constituído basicamente por água, pó de rocha e cal. A lama é formada pela junção de água, usada para refrigerar as máquinas de beneficiamento e, em teares convencionais, são utilizados abrasivos como a granalha metálica que, ao ser adicionada, acelera o processo de serragem dos blocos de rochas (AGUIAR, 2012).

Devido a ampla diversidade geológica que o embasamento cristalino do Estado do Espírito Santo apresenta, não é possível separar os diferentes tipos de rochas que serão beneficiadas, impossibilitando assim a classificação do resíduo gerado em função da sua rocha de origem. Porém é possível verificar qual tipo de Tear realizou o desdobramento do bloco, logo o resíduo gerado pode ser classificado com resíduo proveniente de tear convencional ou de tear com fio diamantado.

Tal distinção é importante na visão ambiental, uma vez que estudos como o de Reis (2008) e Moura *et al.* (2006) indicam que o resíduo LBRO é classificado como Não Perigoso e que os provenientes de tear com fio diamantado possuem características inertes, sendo classificado como Classe II-B conforme a NBR 10004.

Buzzi (2008) mostra que a LBRO gerada nos processos de beneficiamento passa por tratamento para perda de umidade e é armazenada em aterros de resíduos de rochas ornamentais, onde permanecem por tempo indeterminado em estado natural, estando disponíveis para serem transformados em material adequado por processo de reciclagem. Os aterros de resíduos de LBRO foram criados devido ao grande volume gerado durante os processos, em que as empresas não possuíam espaço suficiente para deposição do material dentro de sua planta industrial.

Vale destacar que a capacidade de absorção de resíduos pelos aterros é limitada, sendo necessárias novas licenças de ampliação ou ainda o licenciamento de novas áreas para depósito, sendo também um novo problema ambiental. O setor de rochas ornamentais traz grandes impactos ao estado do Espírito Santo, devido a grande taxa de geração de resíduos que os processos



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)


industriais geram e, também, ao fato do maior parque de beneficiamento da América Latina estar situado no Espírito Santo. Atualmente, o manejo dos resíduos pode ser considerado um problema regional, porém com os avanços dos parques industriais dos estados com grande capacidade de exploração de rochas ornamentais, como Minas Gerais, Bahia, Ceará e São Paulo, este problema em breve se tornará de âmbito nacional.

O uso de novas matérias primas, ou ainda, a incorporação de resíduos industriais em pavimentação vem sendo amplamente estudada pela comunidade científica, de modo a dar a destinação correta e ao reaproveitamento dos materiais. Neste contexto temos Batalione (2007) que estudou a estabilização de solos para pavimentação com rejeitos finos de granito, Klinsky & Fabbri (2009) que estudaram a incorporação de areia de fundição a solos argilosos para aplicação em camadas de pavimentos, Lima (2015) que propôs a estabilização de solos para pavimentação com a adição de agregados de calcário, entre outros. No entanto, estudos relacionados ao uso da LBRO ainda não são amplamente divulgados e debatidos.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de pesquisas que utilizaram a LBRO incorporada em camadas de pavimentos, verificando se as características encontradas após a estabilização atendem aos requisitos mínimos exigidos por norma para seu uso e aplicação. Ainda será apresentado o andamento dos estudos elaborados pelos autores que buscam aplicar a LBRO, que foi gerada, exclusivamente, do beneficiamento por Tear com Fio Diamantado, para aplicação em camadas de pavimentos.

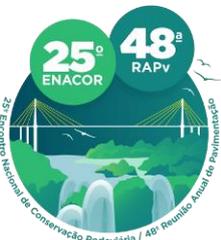
## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso lama de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO) vem sendo estudado e têm gerado grande interesse de reutilização desses resíduos em pavimentos.

Batalione (2007) avaliou em seu estudo o potencial uso de rejeitos finos de pedreira na estabilização de solos lateríticos. Após a realização dos ensaios de granulometria, índices de consistência, ensaios de compactação, expansão e mini-CBR, foi possível concluir que a adição de rejeito não prejudicou o comportamento dos solos naturais. Em relação a proporção na mistura, valores de 25% de rejeito incorporado ao solo resultaram em valores de CBR igual a 20%. A expansão sofreu um leve aumento, porém não ultrapassando o valor de 0,5 %. O autor observou ainda que a mistura de 25% de rejeito ao solo apresentou condições mínimas para aplicação em camadas de Reforço de Subleito e Sub-base.

A pesquisa de Sernas (2014) buscou utilizar o rejeito do desdobramento de granito em revestimento asfáltico, o trabalho incorporou o resíduo fino em concretos betuminosos com o objetivo de verificar as propriedades físicas e mecânicas da mistura. Os resultados indicaram que as misturas de concreto asfáltico com finos de granito apresentaram resultados inferiores ao concreto asfáltico com finos de calcário ativado, além de possuírem índices de vazios maiores e valores de resistência a tração indireta menor, quando comparada a mistura asfáltica padrão.

O trabalho realizado por Oliveira (2015) estudou as características da LBRO proveniente em tear convencional, equipamento de beneficiamento que realiza corte de rocha com auxílio da granalha de aço. O autor verificou qual seria a melhoria das características do resíduo após a adição de cimento às amostras por meio dos ensaios de granulometria, limites de consistência, ensaio CBR, resistência a compressão simples e cisalhamento direto e os ensaios da metodologia MCT. Os ensaios apresentaram como resultados a caracterização do resíduo como silte arenoso com argila, com teor de finos com cerca de 85% de baixa plasticidade. Os ensaios de resistência à compressão indicaram que o resíduo puro pode ser utilizado em impermeabilização de fundos de aterros, uma vez que o material atingiu valores de 0,354 MPa, sendo recomendado por norma o intervalo entre 0,05 e 0,4 MPa. O autor ainda concluiu que as amostras estudadas incorporaram apenas 2% e 5% de



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



cimento ao resíduo, podendo haver novos estudos com uma maior adição de cimento, no limite máximo de até 10%, buscando encontrar melhores características para uso em aterros. Em relação a aplicação em camadas de pavimento, foi verificado que o resíduo possui características muito finas para se enquadrar nas faixas granulométricas do DNIT, logo, seriam necessários novos estudos buscando adequar este material por meio de misturas com materiais mais grossos e argilas, com o objetivo de se obter um produto enquadrado na faixa granulométrica e com melhores valores de plasticidade.

Santos (2019) estudou as amostras de misturas de solo com LBRO nas energias de compactação normal, intermediária e modificada. Os ensaios concluíram que a amostra de 100% LBRO foram classificadas como não plásticas, devido à ausência de coesão, e com características de ser um material enquadrado como areia bem graduada. A amostra composta por 10% de rejeito + 90% de solo possui o maior potencial de uso em obras de pavimentação, uma vez que na energia de compactação modificada atingiu o maior valor de CBR, com resultados de  $CBR=47,57\%$ , o menor valor de expansão, encontrando  $e=0,3\%$  e o Índice de plasticidade igual a 0 ( $IP=0$ ) nos ensaios de Limites de consistência. Os resultados apresentados viabilizam o uso do material em camadas de reforço do subleito e sub-base.

Eltwati (2020) verificou por meio de amostras de solo misturadas com diferentes teores de pó de granito, nas proporções de 0%, 4%, 8%, 12%, 16% e 20%, a variação dos valores de CBR, umidade ótima, densidade dos grãos e a tensão de cisalhamento. Os autores concluíram que a densidade do material e os valores de CBR aumentaram à medida que houve o aumento da proporção de resíduo à amostra, chegando ao valor de CBR máximo de 15,8% na amostra com 8% de resíduo incorporado. Foi possível ainda verificar que a resistência ao cisalhamento foi melhorada em 3 vezes quando comparado com o solo em seu estado puro. Os estudos descobriram que o pó residual funciona como uma película gordurosa na face externa dos grãos do solo, reduzindo a absorção de água, o que facilita a compactação.

A pesquisa de Lunz (2021) concluiu que a amostra composta por 100% de LBRO apresentou elevado valor de expansão, resultando em  $e=3,11\%$  no ensaio de CBR o que impossibilita o uso para qualquer camada estrutural de pavimento conforme as exigências do DNIT onde os valores de expansão máximos deverão ser  $e \leq 1,0\%$ . A autora ainda concluiu que nos ensaios de resistência à compressão simples e resistência à compressão diametral houve incremento de resistência conforme se aumentava a proporção de LBRO incorporada à amostra. Após concluído o ensaio de CBR todas as amostras com misturas de LBRO + Solo atenderam à expansão mínima exigida pelo manual do DNIT resultando em valores de  $e \leq 1,0\%$ , porém os valores de CBR foram suficientes somente para aplicação das amostras em camadas de reforço de subleito, onde o DNIT exige que seja o valor de CBR maior que o CBR de Subleito. A mistura de 25% de solo argiloso + 75% de LBRO atingiu o maior valor de CBR dentre todas as amostras ensaiadas com resultado de  $CBR=16\%$ . Vale ressaltar que todos os ensaios foram realizados na energia do proctor normal.

De acordo com Aguiar (2012) no corte do bloco em teares com fio diamantado há apenas a utilização do fio diamantado e água, a ação abrasiva acontece por meio dos anéis ou pérolas de diamante dispostos ao longo do fio, que funcionam como uma espécie de serra fita tensionada sobre o bloco, diferente do tear convencional que utiliza uma mistura abrasiva composta por água, cal hidratada, granalha de aço e pó de rocha para que se ocorra a serragem.

A Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS em publicação nos seus informes apresenta dados sobre o perfil das empresas de beneficiamento de rochas. Tais dados informam que até 2025, visando atender os mercados interno e externo, a capacidade brasileira de serragem poderá superar 100 milhões de metros quadrados por ano, com



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



cerca de 80% dessa capacidade representada por teares multifio diamantados (ABIROCHAS, 2018).

Fica evidente que o setor irá realizar a evolução das técnicas de serragem para o uso do fio diamantado em larga escala. Tal evidência é importante para que se obtenha ainda resíduos com característica menos agressivas ao meio ambiente e que possam ser reutilizados.

Todos os estudos pesquisados apresentaram resultados satisfatórios quanto a possibilidade de uso do rejeito em pelo menos alguma camada granular em obras de pavimentação.

Buscando materiais com características geotécnicas e ambientais adequadas para uso em camadas de pavimentos, os autores do presente artigo propuseram a pesquisa limitando o uso de resíduo de LBRO proveniente somente do beneficiamento do bloco em tear com fio diamantado, uma realidade no estado do Espírito Santo, que tende a se espalhar para outras regiões do país.

## METODOLOGIA

Em busca de caracterizar os materiais para uso em pavimentos, os autores dividiram a pesquisa em 3 etapas distintas. A primeira etapa consiste na pesquisa das fontes de materiais, buscando os aterros industriais de LBRO existentes no estado do Espírito Santo que fornecerão o resíduo proveniente de tear com fio diamantado. Além do Resíduo do Beneficiamento de Rochas será também objetivo da pesquisa encontrar jazidas licenciadas que poderão servir como fonte de material argiloso para a composição do traço da mistura das amostras.

A segunda etapa consiste na visita de campo e coleta de amostras para realização de ensaios, além do levantamento fotográfico e de dados dos aterros industriais.

A terceira etapa irá realizar os ensaios de laboratório de caracterização física, mecânica e química dos materiais coletados. Os ensaios terão como objetivo conhecer as propriedades das amostras de solo + rejeito para utilização em camadas de base, sub-base ou reforço de pavimentos. A tabela 1 apresenta as proporções para confecção de amostras para ensaios.

Tabela 1: Proporções propostas para confecção das amostras (Autoria própria, 2023).

Nome da Amostra	Proporção
AM-1	100% LBRO
AM-2	100% SOLO ARGILOSO
AM-3	10% LBRO + 90% SOLO ARGILOSO
AM-4	20% LBRO + 80% SOLO ARGILOSO
AM-5	30% LBRO + 70% SOLO ARGILOSO
AM-6	50% LBRO + 50% SOLO ARGILOSO

Atendendo a terceira etapa a tabela 2 apresenta os ensaios de caracterização mecânica que serão realizados nas amostras de acordo com as normas do DNIT e NBR.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 2: Normas para realização de ensaios de laboratório (Autoria própria, 2023).

Ensaio	Norma aplicável DNIT	Norma aplicável NBR
Preparação de amostras para ensaios de caracterização	DNER-ME 041/94	NBR 6457
Análise Granulométrica	DNER-ME 051/94	NBR 7181
Determinação do Limite de Liquidez	DNER-ME 122/94	NBR 6459
Determinação do Índice de Plasticidade	DNER-ME 082/94	NBR 7180
Determinação do Índice de Suporte Califórnia	DNIT 172/2016 - ME	NBR 9895
Determinação da expansibilidade	DNIT 160/2012 - ME	NBR 9895
Modulo de resiliência	DNIT 134/2018-ME	-
Deformação Permanente (DP)	DNIT 179/2018-ME	-

## RESULTADOS PARCIAIS

Em atendimento à primeira etapa do estudo, foram realizadas buscas no banco de dados do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) das licenças ambientais emitidas e válidas para a atividade de depósito da lama de beneficiamento de rochas. Ainda foi realizado o filtro separando as áreas licenciadas por associações de empresas, uma vez que tais áreas são de uso exclusivo para aterros industriais e não há atividades de beneficiamento de rochas no entorno, facilitando o acesso e o manuseio dos resíduos, além de serem, possivelmente, áreas maiores e com maior capacidade volumétrica de armazenamento.

Após a aplicação das premissas indicadas anteriormente, foi possível verificar que a região centro sul do Espírito Santo possui a maior quantidade de aterros industriais licenciados para o recebimento de LBRO. Com aproximadamente 19 aterros licenciados e destes, 4 por associações de empresas beneficiadoras de rochas. Destaca-se o município de Cachoeiro de Itapemirim com o maior número de locais para deposição de lama de beneficiamento com aproximadamente 7 aterros licenciados. Procedeu-se então a verificação por meio de imagens aéreas das áreas pertencentes aos aterros licenciados por associações de empresas na região centro-sul capixaba que são apresentadas nas figuras 2 a 5.



Figura 2. Imagem aérea da Associação das Serrarias do Sul do Espírito Santo. (Autoria própria, 2023).



Figura 3. Imagem aérea da Ass. das Emp. Dep. de Resíduos Ind. de Mármore e Granitos. (Autoria própria, 2023).



Figura 4. Imagem aérea da ADAMAG. (Autoria própria, 2023).

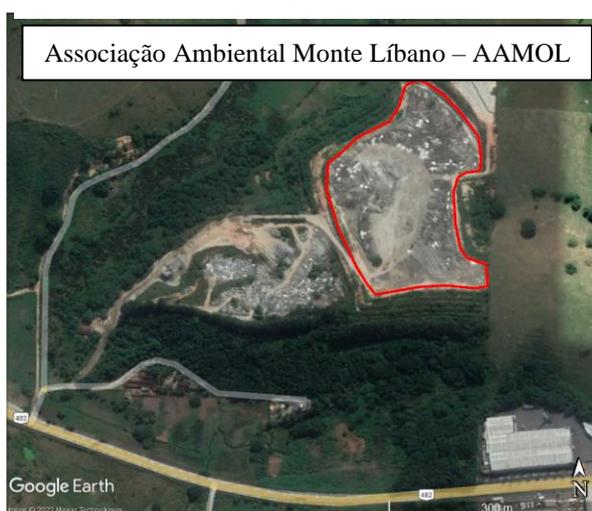


Figura 5. Imagem aérea da AAMOL. (Autoria própria, 2023).

Após visita de campo nas áreas de depósito de resíduo foi verificado que a Associação de Desenvolvimento Ambiental do Mármore e Granito – ADAMAG tem a capacidade de fazer a separação de resíduos provenientes de diferentes tipos de teares (tear convencional x tear com fio diamantado) e ainda a separação do material proveniente de corte de mármore. Foi informado, de forma verbal, pelo responsável técnico do aterro, que mensalmente são depositados em torno de 18.000 toneladas de resíduos e a ideia é separar os diferentes tipos de resíduos visando a futura utilização deles em várias áreas de interesse tais como agricultura, pavimentação, construção civil, etc. A figura 4 apresenta a imagem aérea do aterro industrial da ADAMAG e na figura 6 observa-se a área *in loco* do aterro da ADAMAG. Na figura 7, visualiza-se a oxidação do resíduo proveniente do tear convencional que utiliza granalha de aço. E, nas figuras 8 e 9 apresenta-se a coleta de materiais da área de depósito do resíduo proveniente de tear com fio diamantado.



Figura 6. Área do aterro de LBRO da ADAMAG, visão geral. (Autoria própria, 2023).



Figura 7. Partícula de LBRO de tear convencional oxidada. (Autoria própria, 2023).



Figura 8. Coleta de amostras da pilha de LBRO proveniente de tear com fio diamantado. (Autoria própria, 2023).



Figura 9. Sacaria com amostras de LBRO proveniente de tear com fio diamantado. (Autoria própria, 2023).

Foi realizada, também, a pesquisa no banco de dados do IEMA das jazidas de argila licenciadas no entorno da área do aterro de LBRO para visita e coleta de amostras.

Após a coleta de campo, os materiais foram encaminhados ao laboratório de materiais de construção do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, campus Vitória-ES para a preparação de amostras e a realização dos ensaios que podem ser visualizados nas figuras 10 e figura 11.



Figura 10. Preparação de amostras no laboratório do IFES. (Autoria própria, 2023).



Figura 11. Amostras para ensaio de teor de umidade no laboratório do IFES. (Autoria própria, 2023).



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, a pesquisa se encontra na etapa de preparação das amostras com variação do percentual de resíduos conforme apresentado na Tabela 1, para realização dos ensaios de laboratório descritos na Tabela 2. Tanto o resíduo quanto o solo serão caracterizados, também, por meio de ensaios DRX e FRX além de ensaios ambientais para o resíduo e os resultados serão publicados em um próximo artigo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. C. **Utilização de Resíduo de Serragem de Rocha Ornamental com Tecnologia de Fio Diamantado em Cerâmica Vermelha**. 2012. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS (2018). **O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais**. Informe 05/2018. Brasília – DF. Disponível em: < [http://abirochas-novembro.institucional.ws/wp-content/uploads/2018/06/Informes/Informe\\_05\\_2018\\_Setor\\_de\\_Rochas\\_Ornamentais\\_c.pdf](http://abirochas-novembro.institucional.ws/wp-content/uploads/2018/06/Informes/Informe_05_2018_Setor_de_Rochas_Ornamentais_c.pdf) > Acesso em: 13 maio de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS (2021). **O Desempenho Brasileiro no Setor de Rochas Ornamentais**. Informe 02/2021. Brasília – DF. Disponível em: < [https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Informe-02\\_2021-Desempenho-do-Setor-v3.pdf](https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Informe-02_2021-Desempenho-do-Setor-v3.pdf) > Acesso em: 12 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

BALBO, J.B. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

BATALIONE, G. **Estabilização de solos tropicais com a utilização de rejeitos finos de pedra de uma rocha granítica**. 2007. 172f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BERNUCCI, L. B., Motta, L. G., Ceratti, J. P., & Soares, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ADEBA, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2006. 277p. (IPR. Publ. 719).

BUZZI, D. C. **Estudo de classificação e quantificação das lamas geradas no processo de beneficiamento de rochas ornamentais**. 2008. 365f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT (2021). **Anuário CNT do transporte**. Informe. Brasília – DF. Disponível em: < <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/>> Acesso em: 12 maio 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT (2022). **Boletins Técnicos CNT – Novembro/2022**. Boletim. Brasília – DF. Disponível em: < <https://www.cnt.org.br/boletins>> Acesso em: 12 maio 2023.

ELTWATI, A. Potential Of Granite Dust To Improve The Engineering Properties Of Soft Soils For Road Construction. **Science Proceedings Series**, v. 2, n. 1, p. 55-61, 2020.

JOAQUIM, A. G. I. **Estudo de dois solos tropicais melhorados com cimento ou cal para emprego em camadas superiores de estradas não pavimentadas**. 2017. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, 2017.

Klinsky, L. G., & Fabbri, G. P. (2009). Reaproveitamento da areia de fundição como material de base e sub-base de pavimentos flexíveis. **Brasil**.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Lima, F. C. (2015). **Uso de agregados de rochas calcárias para camadas de pavimentos estabilizadas granulometricamente**. João Pessoa, Paraíba, Brasil.

LUNZ, K. B. **Avaliação do potencial de aproveitamento geotécnico da lama de beneficiamento de rochas ornamentais em camadas estruturais de pavimentos**. 2021. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

MOURA, W. A. *et al.* Produção de pisos intertravados com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENTAC, p. 4227-4236, 2006.

OLIVEIRA, T. **Caracterização do resíduo de serragem de rochas ornamentais para aplicações geotécnicas**. 2017. 146f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

REIS, A.S. **Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho piso tátil**. 2008. 256p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Vitória, 2008.

SANTOS, N. M. **Uso de rejeito do beneficiamento de granito para substituição parcial de um solo em camadas de pavimentação**. 2019. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SARDOL, F. R. *et al.* **Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo**. Brasília. CETEM/MCTI, 2013. 352p.

SERNAS, O., STRUMSKYS, M., SKRODENIS, D. Possibility of use of granite fines in asphalt pavements. In: **Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE**. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, 2014. p. 1.