



26º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

Estudo de Caso: Utilização de Resíduos de Mineração na Manutenção de Estrada não Pavimentada na Malha da 26º Unidade Regional do DER/MG

Samuel Passos Ribeiro Rodrigues e Silva¹; Érica Francisca de Paula Araújo¹; Vinicius Vieira Sousa¹; Elziane Rezende Ferreira Magri¹

RESUMO

O Estado de Minas Gerais é um dos maiores produtores e mais importantes produtores de mineiros no Brasil, e o calcário uma das principais substância beneficiadas no estado e no país. A atividade extrativa de mineiros é largamente conhecida por produzir um intenso volume de resíduos sólidos e há muito vem se discutindo no país formas alternativas ao simples descarte destes resíduos, de forma a proporcionar soluções economicamente viáveis a problemática do excesso de resíduos gerados pela atividade e assim torná-la mais sustentável, e causadora de um menor impacto ambiental. Em paralelo as obras de engenharia e em especial as obras de infraestrutura e engenharia rodoviária, são grandes consumidoras de matéria prima tendo em vista as elevadas extensões e os elevados volumes de materiais diversos que são exigidos para a garantia da qualidade das obras deste setor. A manutenção de estradas não pavimentadas segue a regra e anualmente demanda um elevado volume de material para a manutenção e a garantia da qualidade de rolamento destas vias. A 26ª URG do DER-MG atualmente é responsável pela manutenção de 293,8Km de rodovias não pavimentadas o que faz com que a necessidade de cascalho ou outros materiais granulares para a reabilitação da via sejam constantes. Contudo, com a ideia de proporcionar exercícios de reabilitação menos danosos e agressivos ao meio ambiente foi realizado um estudo que busca entender a viabilidade da utilização de estéreis provenientes da mineração de calcário agrícola na manutenção da LMG658.

PALAVRAS-CHAVE: Estradas não Pavimentadas; Resíduos da Mineração; Reaproveitamento de Resíduos; Pavimentação

ABSTRACT

The state of Minas Gerais is one of the largest and most important mineral producers in Brazil, with limestone being one of the main substances processed in the state and the country. The mining activity is widely known for generating a large volume of solid waste, and there has long been discussion in the country about alternative ways to dispose of these wastes, in order to provide economically viable solutions to the problem of excess waste generated by the activity, thus making it more sustainable and causing less environmental impact. In parallel, engineering works, especially infrastructure and road engineering works, are major consumers of raw materials due to the extensive lengths and volumes of various materials required to ensure the quality of works in this sector. The maintenance of unpaved roads follows this rule and annually demands a high volume of material for maintenance and to ensure the quality of the road surface. The 26th URG of DER-MG is currently responsible for maintaining 293.8 km of unpaved roads, which results in a constant need for gravel or other granular materials for road rehabilitation. However, with the idea of providing rehabilitation exercises that are less harmful and aggressive to the environment, a study was conducted to understand the feasibility of using sterile materials from agricultural limestone mining in the maintenance of LMG658.

KEY WORDS: Unpaved Roads; Mining Waste; Waste Reutilization; Pavement

1 Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais – DER/MG, samuel.passos@der.mg.gov.br; erica.araujo@der.mg.gov.br; vinicius.sousa@der.mg.gov.br; zana.magri@der.mg.gov.br



INTRODUÇÃO

Segundo o Departamento de Edificações e Estradas de Rodagens de Minas Gerais, o estado mantém atualmente um total de 5.129,80 Km de rodovias não pavimentadas. A manutenção destas vias é anualmente fator gerador de demandas para o estado, exigindo a alocação de recursos tanto econômicos quanto recursos naturais que são cotidianamente despendidos para garantir a qualidade de rolamento destas rodovias. No trecho mantido pela 26ª URG do DER MG dos 666,50 Km correspondentes a totalidade da malha conservada pela unidade regional 44% ou 293,8Km são referentes a rodovias não pavimentadas. Sendo que as vias não pavimentadas exigem trabalhos constantes de manutenção. Serviços como o de conformação mecânica do leito estradal e, mais importante, o encascalhamento. O simples lançamento de material granular na superfície de rolamento da via é de grande importância para a revitalização da qualidade da pista de rolamento, principalmente após a estação chuvosa do ano. O encascalhamento é de extrema importância para o recobrimento das panelas que surgem durante a estação chuvosa e para devida regularização da pista de rolamento, uma vez que uma simples conformação mecânica muitas vezes não é capaz de conferir ao leito estradal a regularidade e qualidade necessárias para manter o conforto do tráfego. Entretanto a prática corriqueira deste serviço exige um volume expressivo de material granular, em preferência material granular de qualidade para possibilitar a execução do serviço, contudo a disponibilidade do material natural adequado para este fim é cada dia mais escasso.

Como resposta a esta escassez foi realizado um trabalho em busca de alguns materiais alternativos com possibilidade de substituírem o cascalho natural para a execução do serviço de encascalhamento em uma estrada não pavimentada, um dos materiais observados e analisados foi o rejeito proveniente da extração de calcário, exercício de mineração comum na região e que é responsável pela produção de um volume expressivo de estéreis.

Segundo Rezende (2016) o estado de Minas Gerais ainda hoje é o estado que mais produz mineiro, ainda segundo o artigo as reservas medidas de minério no país indicam um total de 28,9 bilhões de toneladas, sendo que 67% de todo este volume está presente em Minas Gerais, que apenas no ano de 2014 foi responsável por produzir 800.684.546,79 reais. Ainda segundo a já citada Rezende (2016) a atividade mineira deve apresentar elementos que sejam condizentes com desenvolvimento sustentável, de forma que tenha elementos de controle que sejam utilizados em benefício do desenvolvimento regional sustentável. Desta forma a utilização do rejeito estéril desta atividade extrativa para um fim útil acaba sendo de elevada importância para a diminuição do impacto ambiental gerado pela atividade extrativa mineira.

Já as estradas não pavimentadas, também acabam sendo grandes atores no que se refere a impactos ambientais a alterações em áreas vizinhas, uma vez que para a extração de cascalho para a manutenção destas áreas são exploradas jazidas com elevado volume do material, o que por sua vez acarreta a necessidade de limpeza e retiradas de material vegetal, corte de árvores, além da indispensável escavação do local para retirada do material. Contudo, conforme explicita o Marinheski (2017) as estradas não pavimentadas acabam representando o início de toda a movimentação econômica de uma região, uma vez que estas estão conectadas de maneira direta a áreas produtivas, desta forma a manutenção e a garantia da boa qualidade de rolamento destes trechos é vital, tendo em vista a sua grande parcela de contribuição econômica, portanto assim como existe a necessidade de se pensar soluções sustentáveis para a problemática dos estéreis gerados em processos de mineração, existe a necessidade de se planejar a manutenção de estradas não pavimentadas de forma sustentável.



Com a intenção de apresentar uma resposta prática e viável às problemáticas apresentadas acima foi realizado o estudo para entender a viabilidade técnica e a possibilidade da utilização de estéreis da extração de calcário na manutenção de estradas não pavimentadas da malha da 26ª Unidade Regional do DER MG. Desta forma por questões práticas e técnicas o material foi aplicado na rodovia LMG658. Sendo uma rodovia de ligação e responsável por conectar a as rodovias BR251 a rodovia BR040 a LMG658 é o principal trecho de escoamento de uma das maiores e mais importantes regiões de produção agrícola da região do noroeste mineiro, com 101,9 Km de extensão a rodovia abrange os município de Paracatu e Unaí, em uma localidade responsável por uma intensa produção de grãos, no ano de 2021, segundo o IBGE, os dois municípios em conjunto foram responsáveis por produzir um total de R\$ 3.972.195.000,00 apenas em grãos (milho, soja, sorgo, trigo e feijão). Como grande parte desta produção de grão vem diretamente deste trecho conectado pela LMG658, a rodovia apresenta um intenso tráfego de veículos pesados, responsáveis por transportar insumos e produtos para a produção local.

REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Sá *et al.* (2021) o processo de mineração é responsável pela geração de dois tipos principais de resíduos sólidos, são eles os estéreis e os rejeitos, sendo que os estéreis, também chamados de lavra, são todo o material gerado através do processo extrativo, que ficam dispostos em pilhas e não apresentam valor econômico. Segundo Santos (2015) os estéreis quando empilhados e depositados sem controle são fatores causadores de ocupação física desordenada do solo, além de inibirem a o crescimento de diversas espécies vegetais, além de aumentar a acidez do solo e favorecer a aridez do terreno.

Ainda segundo Sá *et al.* (2021), para a gestão dos resíduos sólidos do minério, a reciclagem e o reuso dos materiais são alternativas mais adequadas do que a simples disposição destes. Uma das alternativas que o autor cita para a minimizar os impactos associados a simples disposição destes materiais é a sua utilização em obras de engenharia, como por exemplo em obras de infraestrutura rodoviária. Desta forma é comum observar trabalhos de autores que propõem alternativas para a utilização tanto de estéreis quanto de produtos derivados do calcário. Machado et al. (2015) estudou a possibilidade do aproveitamento do rejeito de caieiras na melhoria dos índices de resistência em materiais de pavimentação. Medeiros (2019) analisou a possibilidade da utilização da escoria siderúrgica de alto forno e estéreis de mineração como alternativa para serviços de revestimento primário em estradas não pavimentadas. Desta forma é possível observar que existe uma vasta gama de estudos e possibilidades para a aplicação de resíduos sólidos provenientes da atividade mineira como alternativa para atividades de engenharia rodoviária.

Este trabalho segue a linha proposta no parágrafo anterior e propõe a utilização de estéreis em serviços de manutenção rotineira em estradas não pavimentadas. Para a utilização destes produtos é necessário ter em mente o tipo de material adequado para a utilização neste tipo de serviço. Conforme apontam Skorseth & Selim (2000) no Gravel Roads: Maintenance and Desing Manual, publicado pelo U.S. Department of Transportation, muitas vezes a culpa pela má qualidade do serviço após a utilização de material inapropriado muitas vezes pode recair sobre o operador do maquinário. Contudo, não consegue transformar um material pobre em bom material, por isso é preciso ter em mente que o material utilizado na manutenção de estradas não pavimentadas deve estar de acordo com alguns requisitos. Os autores ainda chamam a atenção para a diferenciação entre o material utilizado para a aplicação em superfícies de rolamento e em outras utilizações,



como em bases e sub-bases. Segundo os autores existem duas grandes diferenças entre o material granular utilizado para bases e o material utilizado em superfícies de rolamento. Um bom material granular para bases vai apresentar uma grande porcentagem de material de fração grossa maior e uma porcentagem bastante pequena de finos. Um bom material para a aplicação em faixas de rolamento de rodovias não pavimentadas vai apresentar uma maior quantidade de material passante na peneira #200. Para materiais de base o passante na peneira #200 vai de 3% a no máximo 12%, enquanto para o material que deve ser aplicado em superfícies o limites são de 4% a no máximo 15% . Skorseth & Selim (2000) afirmam que esta gradação é vital para garantir a resistência e a drenagem necessária para matérias de base, contudo este tipo de material não irá selar, ou criar uma crosta que mantém o material granular unido em uma superfície de rolamento de uma estrada não pavimentada. Outro fator importante é o índice de plasticidade do solo, Skorseth & Selim (2000) apontam que para a necessidade de um IP maior em casos de materiais destinados a manutenção de rodovias não pavimentadas. Os autores apontam que os limites de IP para esses casos devem ser de no mínimo 4 até no máximo 12, enquanto para materiais de base o IP já deve estar entre 0 a 6.

Tabela 1 - Exemplo de gradação para materiais de base e superfície de rolamento. fonte: Skorseth & Selim (2000)

Peneira	Material para Base (% Passante)	Material para Superfície de Rolamento (% Passante)
1"	100	
¾"	80-100	100
½"	68-91	
No.4	46-70	50-78
No.8	34-54	37-67
No.40	13-35	13-35
No.200	3-12	4-15
Índice de Plasticidade (IP)	0-6	4-15

Vale destacar que segundo Skorseth et al. (2015) aponta que os valores passantes na peneira #200 podem ser modificados ainda para o limite de 8 a 15 para se obter maior performance. Contudo vale notar que o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, em sua norma técnica DNIT 141/2022 – ES, aponta valores diferentes para as faixas granulométricas de materiais para base estabilizada granulometricamente. É importante ressaltar ainda que a norma técnica DNIT 445/2023 – Revestimento Primário – Especificação de Serviço apresenta valores para IP dentro do limite de 7% a 12%, além de atrelar estes valores ao volume médio precipitado no local onde a estrada está implantada, conforme pode ser observado na tabela 2. A norma estabelece ainda que o CBR deve ser $\geq 20\%$ e expansão $\leq 1\%$ na energia intermediária ou na que estiver especificada em projeto, importante também observar que a normativa estabelece um Limite de Liquidez de $\leq 35\%$.

Tabela 2 - Índice de Plasticidade Máximo, fonte: DNIT (2023)

Altura das Chuvas	IP (Valor Máximo)
Até 800 mm	12%
Entre 800mm e 1500mm	9%
Maior que 1500mm	7%



METODOLOGIA

Para a realização deste estudo foram realizadas a coleta e a análise do material e em seguida foi executada a aplicação do material em pista para a devida observação do seu comportamento quando submetido a ação do tráfego. O material analisado e utilizado é proveniente da empresa extratora Britacal, com sede em Brasília, a empresa mantém filiais em Unaí – MG, Cabeceiras – GO e Planaltina, no município de Unaí a empresa mantém além da filial um pátio de britagem para separação do calcário agrícola, principal produto comercializado pela empresa. A unidade operacional da empresa Britacal, responsável pela extração do calcário agrícola está presente na proximidade da rodovia LMG658, portanto sua localização é de extrema importância para a escolha da utilização do estéril produzido no local, uma vez que sua proximidade com a via é responsável por reduzir gastos referente ao transporte do material para a pista. O estéril produzido no local trata-se do produto do peneiramento que da origem ao calcário agrícola, o material granular que não se encaixa desta faixa atualmente não apresenta valor econômico para empresa e é mantido em pilhas de estéril. Desta forma foi realizada a coleta do material na pilha e levado para análise em laboratório, para a extração do material foi realizada a coleta em pontos distintos e separados ao longo da pilha de forma a proporcionar uma amostra representativa da pilha de estéril analisada, o volume colhido de material somou uma quantia total de 0,04m³ do estéril para a realização dos ensaios necessários.



Figura 1 - Pilha de estéril coletada. Fonte: Os Autores

Foi realizada após a coleta do material foram realizados os ensaios laboratoriais necessários para classificação e análise do material trabalhado. Desta forma foram realizados os seguintes ensaios: Índice de Suporte Califórnia, Expansão, Granulometria, Limites de Atterberg. Para a realização dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia foi utilizada como referência a NBR 9895/2016 a partir desta normativa foi possível obter também os índices de expansão do material. Enquanto para a determinação da granulometria do material foi utilizada a normativa NBR 7181/2016. Já para a determinação dos limites foram utilizadas as normas NBR 6459/2016 para determinação do limite de liquidez do solo e a normativa NBR 7180/2016 para determinação do limite de plasticidade. Para



a realização do ensaio, conforme a normativa NBR 9895/2016, foram realizados os moldes da quantidade de cilindros necessários para a caracterização da curva de compactação do material, logo os corpos foram moldados com teores distintos de água, e em seguida deverá ser realizada a compactação dos mesmos, para a realização dos testes deverá ser utilizada a energia Proctor Modificado, com a aplicação de um total de 27 golpes por camada de solo. Após a delimitação da curva de compactação os corpos de prova deverão ser preparados e equipados com um deflectômetro e imersos em tanque com água, em seguida deverão ser observados e anotados os valores de expansão ocorridos de 24 em 24 horas, os corpos deverão permanecer submersos por um total de 96 horas, ou 4 dias. Após as leituras de expansão deve ser executado o teste de penetração para real determinação do índice de suporte do material, logo os corpos de prova deverão ser retirados do tanque e por 15 minutos deve-se deixar a água escoar do corpo em seguida o material deve ser colocado na prensa e deve ser aplicada uma carga de aproximadamente 45N o ensaio deve ser realizado com uma taxa de deslocamento controlada a uma velocidade de 1,27mm/min. As leituras devem ser feitas em função da penetração e de um tempo especificado para o ensaio.

Após a conclusão dos ensaios necessários foram realizados estudos comparativos de forma a confrontar diferentes cenários de execução de modo a proporcionar um entendimento quanto a viabilidade da utilização do material testado, para isso foram contrapostos os valores de execução de um pano de encascalhamento com um comprimento total de 1000 metros, para a realização deste estudo foram utilizados os valores de serviços proveniente da tabela referencial de custos editada e disponibilizada pelo Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais, os valores de referencia são para a região de Paracatu. Para o comparativo foram considerados dois materiais, sendo o primeiro o estéril da mineração e, uma vez que o mesmo não apresenta valor comercial, e a empresa tem ganhos logísticos com a destinação alternativa deste material, a análise foi realizada, portanto, considerando a doação do volume de material utilizado. Já o segundo material foi o cascalho, material que é rotineiramente utilizado em serviços de manutenção e readequação de estradas não pavimentadas, para tal, foi considerado o valor de R\$ 8,00 o metro cúbico, sendo este um valor médio de mercado encontrado na região.

Foi realizada também a aplicação do material em pista, desta forma foi executado o simples espalhamento do material na faixa de rolamento, ou a execução de encascalhamento no local, desta forma foram utilizados no serviço os seguintes equipamentos: motoniveladora, caminhão pipa, caminhões basculantes. Sendo assim o material foi depositado na via e em seguida com a motoniveladora o material foi espalhado, foi realizado o acabamento necessário para garantia da qualidade da pista de rolamento, o serviço de aplicação do material na pista foi realizado com o devido humedecimento do material. Após a aplicação do material na pista, foi observado o seu comportamento quando submetido a ação do tráfego.

RESULTADOS

A fim de observar o comportamento mecânico do estéril proveniente da empresa Britacal, foram realizados os ensaios laboratoriais com o volume colhido para os testes conforme descrito no capítulo anterior, portanto foram realizados os ensaios para determinação do Índice de Suporte Califórnia do material. Para a caracterização da curva de compactação do material foi necessário o molde de 5 cilindros, numerados em ordem crescente, sendo que o cilindro 1 foi moldado com uma humidade média de 15,1%, já o cilindro 2 apresentou uma humidade média de 16,2%, o 3 foi moldado com 17,3%, por sua vez o cilindro 4 recebeu 18,4%, enquanto o cilindro 5 recebeu 19,5%



de humidade média, desta forma foram obtidos os resultados presentes na tabela 3, sendo possível observar a análise gráfica desta no gráfico 1.

Tabela 3 - Amostragem dos corpos de prova. Fonte: Os Autores

MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA							
A	Amostra úmida	-	6000,0				
B	Amostra seca	$A/(H\%+100) \times 100$	5473,6				
C	Água adicionada (ml)	-	300	360	420	480	540
D	Água higroscópica (%)	$(C/A) \times 100$	5%	6%	7%	8%	9%
E	Nº do molde	-	01	02	03	04	05
F	Solo+molde	-	8.100	8.420	8.400	8.340	7850
G	Molde	-	4.565	4.200	4.090	4.185	4170
H	Solo-molde	F-G	3.535	4.220	4.310	4.155	3680
I	Volume do solo	-	2.042	2.129	2.049	2.036	2023
J	Dens. úmida	H/I	1,731	1,982	2,103	2,041	1,819
K	Umidade (%)	$(C/B \times 100) + H\%$	15,1	16,2	17,3	18,4	19,5
L	Dens. seca	$J/(K+100) \times 100$	1,504	1,706	1,793	1,724	1,522

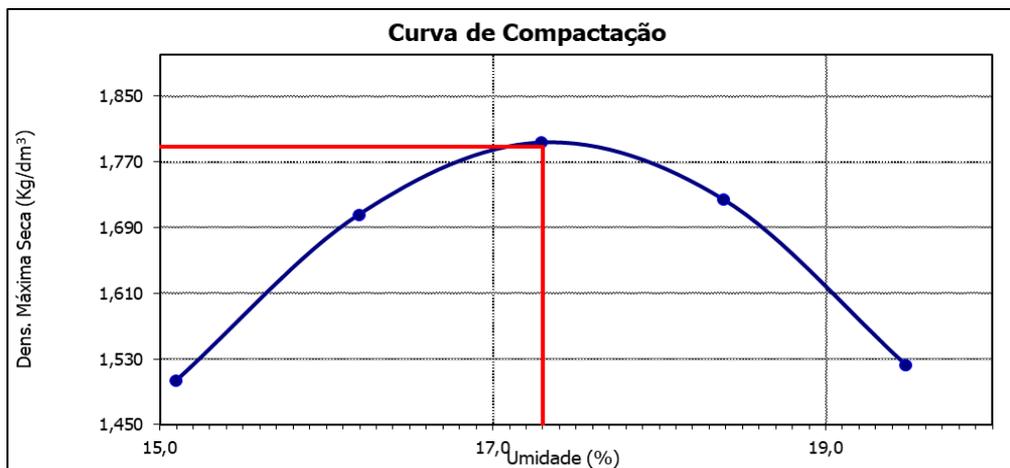


Gráfico 1 - Curva de Compactação. Fonte: Os Autores

Conforme pode ser observado na tabela acima foram encontrados os valores de humidade ótica e densidade máxima seca, sendo eles respectivamente 17,3% para humidade e 1,788g/dm³ para densidade máxima. Em seguida e com esses dados foram separadas as amostras 02, 03 e 04 para prosseguirem com os ensaios de expansão e de I.S.C. Conforme normatizado, para o ensaio de expansão forma realizadas 04 leituras, uma a cada 24 horas, em seguida foram realizados os ensaios



de penetração nos três corpos de prova. As tabelas com os resultados, bem como o gráfico de penetração do melhor resultado seguem abaixo:

Tabela 4 - Resultados de expansão do material. Fonte: Os Autores

Molde (Nº)			03		
Altura do molde (cm)			11,45		
-			Leitura	Difer.	Exp.
Data		Hora	(mm)	(mm)	%
18/05/2023	qui		2,00	0,00	0,00
19/05/2023	sex		1,93	-0,07	-0,06
20/05/2023	sáb		1,93	-0,07	-0,06
21/05/2023	dom		1,93	-0,07	-0,06
22/05/2023	seg		1,93	-0,07	-0,06

Tabela 5 - Resultados de penetração do material. Fonte: Os autores

Tempo	Penetração	Pol.	Pressão Padrão	Molde Leitura	Molde Leitura	03			Molde Leitura
						Pressão Kg/m ²	ISC	%	
Min.	mm			mm	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm
-	-	-	-	mm	mm				
0,5	0,63	0,025	-	124	163	17,2			45
1,0	1,27	0,050	-	238	321	33,8			79
1,5	1,90	0,075	-	357	447	47,1			96
2,0	2,54	0,100	70,31	438	569	60,0	60,0	85,3	128
3,0	3,81	0,150	-	549	765	80,6			178
4,0	5,08	0,200	105,46	632	917	96,7	96,7	91,6	198
6,0	7,62	0,300	-	712	1050	110,7			215

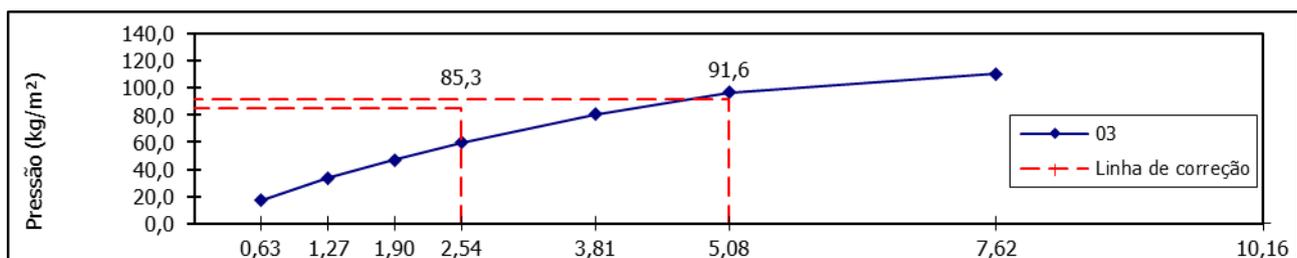


Gráfico 2 Curva de Pressão X Penetração. Fonte: Os Autores

Portanto, é possível confirmar que o material apresenta um excelente I.S.C. no valor de 91,6%, resultado acima dos 20% exigido por norma, já a expansão fica em 0,06, também menor que o valor de 1% exigido pela mesma normatização. Conforme apresentado no referencial bibliográfico a graduação granulométrica do material é de suma importância para a qualidade do serviço, desta forma foi realizado o ensaio granulométrico, os resultados são os que seguem abaixo.



Tabela 6 - Peneiramento grosso. Fonte: Os Autores

PENEIRAMENTO GROSSO					
Peneiras			Peso da amostra seca		% que passa da Amostra Total
PEN	N.º	mm	Retido	Passado	
1	2"	50,8	0,00	1935,1	100,0
2	1 1/2"	38,1	76,30	1858,8	96,1
3	1"	25,4	55,9	1803,0	93,2
4	3/4"	19,1	0,0	1803,0	100,0
5	3/8"	9,5	130,6	1672,4	86,4
6	N.º 4	4,8	261,7	1410,7	72,9
7	N.º 10	2,0	209,3	1201,4	62,1

Tabela 7 - Peneiramento fino. Fonte: Os Autores

PENEIRAMENTO FINO						
PESO DA AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA					200,0	g
PESO DA AMOSTRA PARCIAL SECA					189,8	g
Peneiras			Peso da amostra seca		% que passa da Amostra Parcial	% que passa da Amostra Total
PEN	N.º	mm	Retido	Passado		
	N.º 40	0,42	64,1	125,7	66,2	41,1
	N.º 200	0,074	61,8	63,9	33,7	20,9



Figura 2 - Pista após a aplicação do material. Fonte: Os Autores



Tabela 8 - Tabela comparativa dos valores de aplicação, Estéril X Cascalho. Fonte: Os Autores

Código	Descrição do Serviço	Unid.	Qtde.	Preço Unit.	Preço Total
Estéril					
RO-41388	Encascalhamento (Execução, incluindo escavação, carga e descarga, umedecimento e espalhamento do material)	m3	900,00	R\$ 10,30	R\$ 9.270,00
RO-43246	Conformação do leito estradal, inclusive umedecimento	ha	0,90	R\$ 855,66	R\$ 770,09
RO-48091	Transporte de material de qualquer natureza para contratos de conservação rodoviária	t*Km	9.000,00	R\$ 1,28	R\$ 11.520,00
Cascalho					
RO-41388	Encascalhamento (Execução, incluindo escavação, carga e descarga, umedecimento e espalhamento do material)	m3	900,00	R\$ 10,30	R\$ 9.270,00
RO-43246	Conformação do leito estradal, inclusive umedecimento	ha	0,90	R\$ 855,66	R\$ 770,09
RO-41368	Transporte de material de qualquer natureza para contratos de conservação rodoviária	m3*K m	9.000,00	R\$ 1,28	R\$ 11.520,00
Local	Indenização de Jazida	m3	900,00	R\$ 8,00	R\$ 7.200,00
Valor total com Estéril					R\$ 21.560,09
Valor total com cascalho					R\$ 28.760,09
Diferença para o uso de Estéril					R\$ 7.200,00

Conforme pode ser observado no ensaio granulométrico a porcentagem fina do material, ou seja, a passante na peneira N° 10, apresenta uma porcentagem maior que algumas das bibliografias estudadas para a realização deste trabalho. Como pode ser visto pelos valores indicados pelos autores Skorseth & Selim (2000). Uma vez que a peneira n° 40 apresenta uma porcentagem total que passa de 41,1% enquanto os autores definiram um valor máximo de 35%, já para a peneira n° 200 a porcentagem passante máxima definida pelos autores é de 15%, contudo o material apresenta a porcentagem passante de 20,9%, logo trata-se de um material com uma intensa presença de finos. Os autores ainda apresentam a importância para o Índice de Plasticidade do material, desta forma foi executado o ensaio dos Limites de Atterberg, através dele obteve-se o valor do Limite de Liquidez de 29,2%, foi encontrado também um Índice de Plasticidade de 18,1%, o que corresponde a um Índice de Plasticidade de 11,1%. Desta forma é possível observar que o IP encontrado é bem próximo dos limites estabelecidos pela bibliografia. Vale destacar, conforme pode ser visto na tabela N° 8 que o valor para aplicação do material em um trecho de 1000 metros apresenta um valor de aplicação 25% menor do que a aplicação de cascalho. Com isso, apesar dos valores altos de finos e IP o material foi aplicado na pista, uma vez que apresentava valores satisfatórios de I.S.C., conforme pode ser observado na figura 2. Além de apresentar um valor de aplicação com maior viabilidade que o cascalho comercial, com a aplicação foi possível observar seu comportamento quando exposto ao tráfego e com isso constatar que o material apresenta um comportamento satisfatório e pode ser utilizado para manutenções em estradas não pavimentadas.



CONCLUSÃO

A atividade extrativa de minério definitivamente apresenta uma intensa importância no desenvolvimento econômico do país, portanto trabalhar para torná-la mais sustentável é de imenso valor. Tendo em vista o alto volume de resíduos sólidos que esta atividade produz foi realizado estudo de forma a entender o potencial de utilização destes resíduos na manutenção de estradas não pavimentadas. Foi possível observar que o material apresenta características interessantes, no que diz respeito ao seu Índice de Suporte Califórnia e a suas taxas de expansão. Portanto capaz de aguentar de forma satisfatória as demandas de carga exigidas pelo tráfego de uma rodovia não pavimentada uma vez que estes valores estão acima do recomendado por norma.

Faz-se necessário notar que sua caracterização granulométrica aponta para um material com alta presença de finos, fator resultante da configuração de peneiras usadas pela empresa para obtenção dos produtos comercializados. Isto faz com que o material não se encaixe na faixa granulométrica proposta por Skorseth & Selim (2000), contudo vale destacar que o material se encontra dentro da Faixa D, proposta pelo DNIT para o serviço de base estabilizada granulometricamente, o que capacita a utilização do material para obras de infraestrutura rodoviária. Vale notar que o material foi devidamente utilizado para manutenção da rodovia LMG658 e através dele foram obtidos resultados satisfatórios. Portanto através do exposto é possível concluir que a utilização de estéreis de mineração da calcário para uso agrícola é perfeitamente viável em obras de infraestrutura, se mostrando como uma opção economicamente vantajosa além de ser sustentável e benéfica ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: 2016 - Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: 2016 - Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895/2016 - Solo - Índice de Suporte Califórnia - Método de Ensáio**. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

DER-MG - DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS. **Boletim Rodoviário**. Belo Horizonte: DER-MG, 2020.

DER-MG - DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS. **Tabela Referencial de Custos**. Belo Horizonte: DER-MG, 2022.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **DNIT 448/2023 - ES - Terraplenagem - Revestimento Primário - Especificação de Serviço**. Brasília: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes, 2023.



FARIAS, C. E. G.; COELHO, J. M. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília. 2002.

GARCIA, P. R.; GARCIA, G. F.; RIBEIRO, E. L. Utilização de resíduos de construção e demolição como revestimento. **Revista Brasileira de Ciência Tecnologia e Inovação**, Uberaba, MG, 2016. 43 -56.

MARINHESKI, V. A Erosão em Estradas não Pavimentadas na Bacia do Rio do Atalho em Cruz Machado - PR. **Boletim de Geografia**, v. 35, n. 2, p. 117-127, 2017.

MEDEIROS, K. P. M. D. **Estudo do uso da escória siderúrgica de alto forno e estéril de mineração como alternativa de revestimento primário em estradas não pavimentadas**. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

REZENDE, V. L. A MINERAÇÃO EM MINAS GERAIS: UMA ANÁLISE DE SUA EXPANSÃO E OS IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS CAUSADOS POR DÉCADAS DE EXPLORAÇÃO. **Sociedade & Natureza: Editora da Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, MG, Dezembro 2016.

SÁ, T. S. W. et al. UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO EM CAMADAS ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS. **6º Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil**, Belém, 2019. 495-509.

SÁ, T. S. W. et al. USO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS: UM REFERENCIAL TEÓRICO. **QUALIDADE E SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, 2021. 152-172.

SANTOS, E. G. D. et al. Recuperação ambiental na disposição de estéril em mineração de calcário. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria , 2015.

SKORSETH, K.; ALI A. SELIM. **Gravel Roads Maintenance and Design Manual**. South Dakota: South Dakota Local Transportation Program – SD LTAP, US Department of Transportation, Federal Highway Administration - FHWA, 2000.

SKORSETH, K.; REID, R.; HEIBERGER, K. **Gravel Roads: Construction and Maintenance Guide**. South Dakota: U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration - FHWA, 2015.