

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/452

CARACTERIZAÇÃO DO ESTÉRIL DE MINERAÇÃO DE OURO DA REGIÃO DO PANTANAL MATOGROSSENSE E ANÁLISE DE SUA POTENCIAL APLICAÇÃO NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA

Gabriel Antonio Valentin dos Santos

Bacharelado em Engenharia Civil, UFMT, Cuiabá, Brasil, gabrields.valentin@gmail.com

Aldecy de Almeida Santos

Professor, UFMT, Cuiabá, Brasil, aldecy_allmeida@yahoo.com.br

Glauco Fabrício Bianchini

Professor, UFMT, Cuiabá, Brasil, glaucofb@yahoo.com.br

Verlei Oliveira dos Santos

Professor, UFMT, Cuiabá, Brasil, verleioliveira@gmail.com

RESUMO: A mineração contribui para o desenvolvimento socioeconômico do país, entretanto, gera uma grande quantidade de resíduos. O armazenamento ou a destinação final desses materiais representa um desafio econômico, social e ambiental, especialmente em uma região próxima ao Bioma Pantanal, no município de Poconé, interior do Estado de Mato Grosso. Neste local, as atividades de mineração de ouro produzem uma quantidade significativa de estéréis e rejeitos. Esses materiais estão dispostos em grandes pilhas, que alteram a paisagem local e causam problemas ambientais. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é avaliar as características geotécnicas dos estéréis provenientes das atividades de garimpo ou mineração, com foco em sua aplicação na engenharia rodoviária. A metodologia incluiu a avaliação do estéril por meio da caracterização geológico-geotécnica e dos parâmetros de resistência após compactação em diferentes níveis de energia. Os ensaios de laboratório estiveram relacionados à análise granulométrica, compactação, expansão, limites de Atterberg e Índice Suporte de Califórnia do material *in natura* e estabilizado com cimento. As normas vigentes do DNIT foram utilizadas como referência para a execução dos ensaios. De uma maneira geral, os resultados indicam que os estéréis podem ser usados como materiais geotécnicos em projetos rodoviários, especialmente quando melhorados com adição de cimento. Recomenda-se a continuidade das pesquisas e estudos para a utilização desses estéréis em camadas de reforço de subleito, sub-base e até mesmo em base de pavimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de mineração de ouro, Pantanal matogrossense, Pilhas de estéréis, Caracterização geotécnica, Uso na engenharia rodoviária.

ABSTRACT: Mining contributes to the socio-economic development of the country; however, it generates a large amount of waste. The storage or final disposal of these materials represents an economic, social, and environmental challenge, especially in a region near the Pantanal Biome, in the municipality of Poconé, in the interior of the State of Mato Grosso. In this location, gold mining activities produce a significant amount of waste rock and tailings. These materials are disposed of in large piles, which alter the local landscape and cause environmental problems. In this context, the objective of this study is to evaluate the geotechnical characteristics of the waste rock resulting from mining activities, focusing on its application in road engineering. The methodology included the evaluation of the waste rock through geological-geotechnical characterization and resistance parameters after compaction at different energy levels. Laboratory tests were related to granulometric analysis, compaction, expansion, Atterberg limits, and California Bearing Ratio of the raw and cement-stabilized material. The current DNIT standards were used as a reference for conducting the tests. In general, the results indicate that the waste rock can be used as geotechnical material in road projects, especially when improved with the addition of cement. It is recommended to continue research and studies to use this waste rock in subgrade reinforcement layers, sub-base, and even in the base of pavements.

KEYWORDS: Gold mining waste, Mato Grosso Pantanal, Sterile heaps, Geotechnical characterization, Use in road engineering.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais países produtores de minérios do mundo. Em 2020, apesar da pandemia de COVID-19, o Brasil teve um crescimento de 36,2% comparado com o ano de 2019, atingindo R\$ 208,9 bilhões de acordo com Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2020), desempenhando um importante papel social e econômico no país. Porém, a atividade de mineração produz uma grande quantidade de rejeitos, de maneira que a destinação dos mesmos é um desafio econômico e ambiental para as empresas mineradoras, devido a possibilidade de contaminação da água e do solo (Moraes *et al.*, 2017).

Atualmente, devido à diminuição das jazidas de exploração de solos próximas aos centros urbanos, diversos estudos geotécnicos vêm sendo realizados para explorar o potencial de utilização de resíduos oriundos das atividades de mineração (rejeitos ou estéreis) que possam ser empregados na engenharia rodoviária, por exemplo. A mistura de resíduos granulares com um solo de baixa capacidade de suporte, pode dar origem a um material alternativo com excelentes propriedades mecânicas, viabilizando seu emprego em obras de engenharia.

Diante da demanda por recuperação ou construção rodoviária no Brasil, é inevitável explorar soluções inovadoras que envolvam a utilização de materiais alternativos. Sob essa perspectiva, os resíduos oriundos da mineração despontam como uma fonte potencialmente viável, oferecendo oportunidades para aprimorar a sustentabilidade e eficiência dos projetos de infraestrutura rodoviária. Contudo, para garantir a eficácia e segurança dessas práticas, é imprescindível a realização de estudos geotécnicos abrangentes que avaliem tanto a viabilidade técnica quanto a adequação desses materiais para uso em estruturas de pavimentos.

Segundo Ferreira (2007, *apud* Andalacio, 2020), em 2007 houve um estudo experimental em um trecho da estrada da Mina de Fábrica, com 100 metros de extensão e dividido em quatro seções. Ele aplicou diferentes materiais estéreis para desenvolver uma estrutura adequada ao tráfego de caminhões fora de estrada. O programa incluiu ensaios laboratoriais, controle tecnológico em campo e dimensionamento do pavimento por *software*. Com base nos dados coletados, Ferreira (2007) propôs um ábaco para dimensionar estradas em ambientes de mineração, visando melhorar sua eficiência e segurança.

Aprofundando essa abordagem, este trabalho demonstra a caracterização geotécnica dos estéreis de mineração, particularmente os provenientes da extração de ouro na região do Bioma Pantanal Mato-grossense, a qual é uma das principais atividades econômicas da região. A análise detalhada das propriedades geotécnicas desses resíduos visa avaliar a viabilidade técnica e compatibilização com as exigências específicas para uso em infraestrutura rodoviária.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Rejeito x Estéril

A Agência Nacional de Mineração (ANM, 2021) distingue o estéril e o rejeito com base no beneficiamento do minério. Os estéreis englobam todo o material em seu estado natural descartado antes do processo de beneficiamento do minério, já o rejeito, é todo o material descartado durante e/ou após essa etapa.

Conforme delineado por Borma e Soares 2002 *apud* Trindade e Filho (2012), os estéreis referem-se aos materiais que compõem a cobertura, camadas intermediárias ou envolventes do depósito de ouro. Estes materiais podem ser removidos por meio de explosivos ou escavadeiras. Subsequentemente, após esse procedimento, eles são dispostos em montes desprovidos de estruturas de contenção. Apresentam uma granulometria significativamente diversificada e, se não compactados, manifestam uma notável porosidade.

Assim, configuram-se como os principais agentes causadores de modificações físicas na paisagem do ambiente minerário, uma vez que contribuem para a formação de cavas e pilhas através da disposição de material estéril proveniente do desmonte superficial em busca do minério e a disposição de rejeitos resultantes dos procedimentos de tratamento ou beneficiamento (IBRAM, 2016).

Esta extração e a disposição do material estéril na área de mineração, segundo as considerações de Aragão (2008), são atividades passíveis de comprometer o avanço da operação minerária, acarretando implicações adversas de natureza econômica, de segurança e ambiental. Tal cenário reforça a relevância do presente estudo, dada a amplitude dos impactos associados a tais práticas.

2.2 Melhoramento de solo com cimento

Os pioneiros em empregar a técnica de solo cimento no Brasil foram os empreendimentos que marcaram o início da década de 1940, notadamente o aeroporto de Petrolina/PE e a construção de residências em Petrópolis/RJ (Heise, 2003).

De acordo com Ingles & Metcalf (1972), o solo-cimento pode ser uma opção viável dentre as técnicas de estabilização disponíveis, na ausência de um material com as propriedades de resistência, deformabilidade, permeabilidade ou durabilidade necessárias para o projeto. Eles explicam que a inclusão de quantidades reduzidas de cimento modificará as propriedades do solo, ao passo que quantidades maiores terão um impacto significativo e radical na natureza do solo. Quando o ligante é usado apenas para controlar a plasticidade e a expansibilidade do solo, o termo usado é solo melhorado com cimento, como postulado por Chodounsky & Vecili (2007).

Medina (1987) definiu que o solo melhorado com cimento é uma combinação que contém uma quantidade mínima de cimento, resultando em um composto semirrígido. O objetivo é melhorar certas características físico-químicas do solo, como expansibilidade, plasticidade ou capacidade de suporte de carga. Este composto pode ser aplicado em camadas de base, sub-base ou subleito.

Oliveira (2011) explica que quando um solo se torna economicamente inviável para ser estabilizado com cimento, ou seja, alcançando a resistência pré-determinada com níveis relativamente baixos de cimento, ainda pode ser usado para fins de pavimentação através da adição de pequenas quantidades do ligante. Essas adições não têm como objetivo formar ligações em todas as partículas do solo, mas sim alterar algumas de suas propriedades físicas. Por exemplo, reduzir o índice de plasticidade através do aumento do LP e da diminuição do LL, ou diminuir as variações de volume e o inchaço do solo.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

As amostras de solo foram coletadas no garimpo Cangas II, localizado a aproximadamente 20 km do município de Poconé/MT e 80 km da capital Matogrossense – Cuiabá/MT. As mesmas são resultantes do decapeamento do solo, etapa comum em garimpos para encontrar "veiões" de ouro. Foram identificadas duas colorações predominantes: um material marrom escuro nas camadas superficiais, semelhante a solo laterítico, e outro material cinza claro nas camadas mais profundas, semelhante ao filito, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Estratificação do solo do garimpo Cangas II.

3.2 Índices físicos

Para a realização dos ensaios que tem o objetivo de determinar as características físicas das amostras de solo foram utilizadas as normas ABNT 7196/2016, e as normas adotadas pelo DNIT: DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94.

3.3 Índices mecânicos

Para a realização dos ensaios que tem o objetivo de determinar as características mecânicas das amostras de solo foram utilizadas as normas DNIT 172/2016 - ME e DNIT 164/2013-ME.

3.4 Preparação Mistura solo cimento

Para as misturas de solo e cimento foram utilizadas os seguintes teores de cimento CP-II-Z: 3%, 5% e 7%. Para cada teor, foram preparadas as misturas e para o material de solo do filito, foram compactados os cilindros nas energias normal e intermediária, já para o material de solo encontrado sobre as camadas superficiais de cor marrom, as misturas de solo cimento foram preparadas e compactadas nas energias intermediária e modificada, com o objetivo de comparar as leituras de CBR com as amostras sem adição de cimento.

3.5 Avaliação do potencial de utilização em engenharia rodoviária

Após a obtenção dos resultados dos ensaios das amostras de solo e misturas, os mesmos foram comparados com as especificações dos materiais das camadas estruturais de um pavimento, presentes nas normas vigentes do DNIT: DNIT 108/2009 – ES, DNIT 139/2010 – ES, DNIT 140/2022 – ES, DNIT 141/2022 – ES e DNIT 142/2022 – ES. As especificações estão resumidas na tabela 1:

Tabela 1. Especificações técnicas de materiais para composição de pavimento.

| Camadas | Energia | Expansão máxima (%) | CBR mínimo (%) |
|----------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| Corpo de aterro | Normal | 4,00 | 2,00 |
| Camadas finais de Subleito | Intermediária | 2,00 | 6,00 |
| Sub-Base | Intermediária | 1,00 | 20,00 |
| Base | $N \leq 5 \times 10^6$ | Modificada | 60,00 |
| | $N > 5 \times 10^6$ | Modificada | 80,00 |

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização física

A Figura 2 apresenta a curva granulométrica dos solos. Para facilitar a linguagem da apresentação dos resultados, as amostras de solo natural serão referidas no formato: ZXX, onde “Z” se refere a inicial da coloração do solo (Cinza “C” ou Marrom “M”) e “XX” ao valor numérico da amostra. As amostras foram classificadas utilizando a tabela HRB, ambas as amostras coletadas em campo não apresentaram plasticidade devido as características dos grãos.

Analisando as frações dos grãos presente nas amostras e após consulta da tabela HRB, a C01 pertence ao grupo A-1a recebendo a nomenclatura de Pedregulho Arenoso Cinza Claro, enquanto a C02 é pertencente ao grupo A-2-4 recebendo a nomenclatura de Areia Fina Siltosa Cinza Claro com Pedregulho. Esta variação pode ser explicada pelo processo do decapeamento que quebra o material rochoso e a mistura com os solos pré-existentes formado em condições naturais originados da rocha.

As amostras M01 e M04 são do grupo A-1b e portanto ambas são denominadas de Pedregulho com Areia Fina Marrom, a M02 pertence ao grupo A-1a e portanto recebe a nomenclatura de Pedregulho Arenoso Marrom, por fim as amostras M03 e M05 são do grupo A-2-4 se enquadrando como Areia Fina Siltosa Marrom com Pedregulho. Os resultados apresentaram frações significativas de Pedregulho em sua composição.

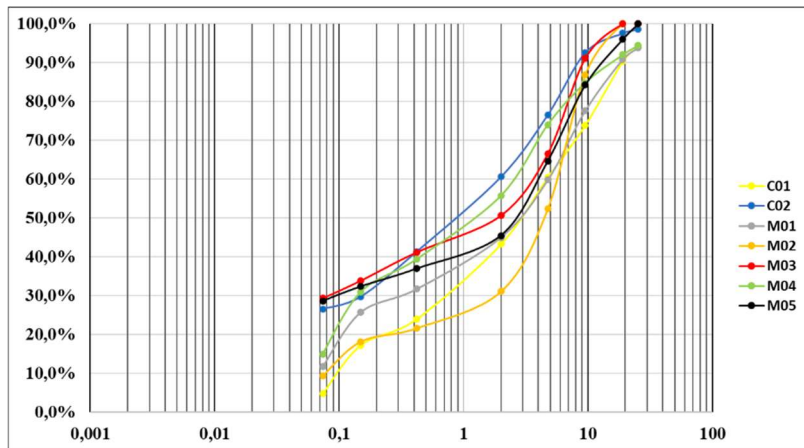


Figura 2. Curva granulométrica das amostras de solo do garimpo Cangas II.

4.2 Caracterização Mecânica

Solo de coloração Cinza Claro:

Analisando os resultados e comparando com as especificações geotécnicas das camadas de estrutura de pavimento presentes na Tabela 1 deste estudo, segundo o DNIT. Para este estudo, realizou-se para a Amostra 01 a compactação do solo nas três energias objetivando entender como o material se comporta, os resultados mecânicos estão apresentados de maneira gráfica através das curvas de compactação na Figura 3, e em formatado de numérico na Tabela 2.

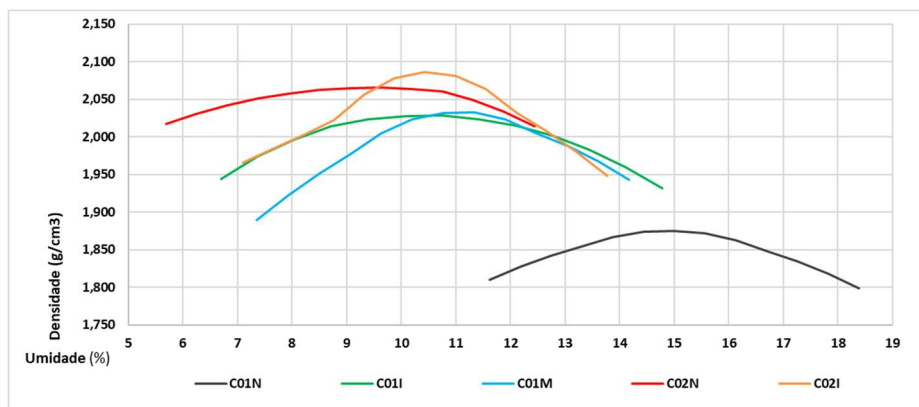


Figura 3. Curva de compactação da amostra de solo cinza 01

Tabela 2. Resultados mecânicos do solo cinza claro.

| Teor (%) | Energia | Compactação | | Expansão (%) | CBR (%) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| | | wot (%) | γ_{dmax} (g/m ³) | | |
| 01 | Normal | 14,90 | 1,875 | 3,13 | 1,38 |
| | Intermediária | 10,44 | 2,028 | 3,71 | 4,12 |
| | Modificada | 11,06 | 2,033 | 4,62 | 5,31 |
| 02 | Normal | 9,46 | 2,066 | 1,75 | 4,54 |
| | Intermediária | 10,51 | 2,086 | 1,97 | 6,67 |

A Amostra 01 foi submetida às três energias de compactação típicas. Com o aumento da energia, a umidade ótima diminuiu, enquanto o peso específico, a expansão e o CBR aumentaram. Porém, mesmo com o emprego de energia modificada, a amostra atingiu baixos valores de CBR da ordem de 5,31%, insuficientes para camadas de sub-base, e comportou-se como material expansivo, excedendo os limites máximos de

expansão para camadas finais do subleito. Portanto, o material só pode ser utilizado em camadas de corpo de aterro.

A Amostra 02, submetida às energias normal e intermediária, demonstrou que o aumento da energia resultou em melhorias nas características mecânicas, evidenciando uma relação direta de proporcionalidade. Os resultados de expansão e CBR mostraram que a amostra atende aos requisitos técnicos para camadas de corpo de aterro e respeita os valores máximos de expansão para camadas finais de subleito.

Solo Cinza Claro + Cimento:

Para facilitar a linguagem da apresentação dos resultados mecânicos as misturas serão referidas no formato: MXXY, onde “M” se refere a inicial da palavra mistura, “XX” ao valor numérico do teor de cimento utilizado e “Y” a inicial da energia de compactação. Os resultados estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados mecânicos das misturas do solo cinza claro.

| Teor (%) | Energia | Compactação | | Expansão (%) | CBR (%) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| | | wot (%) | γ_{dmax} (g/m ³) | | |
| M03 | Normal | 15,37 | 1,781 | 0,02 | 45,95 |
| | Intermediária | 16,74 | 1,786 | 0,03 | 33,60 |
| M05 | Normal | 16,81 | 1,778 | 0,00 | 77,04 |
| | Intermediária | 18,29 | 1,741 | 0,00 | 48,14 |
| M07 | Normal | 18,39 | 1,741 | 0,00 | 81,18 |
| | Intermediária | 18,29 | 1,771 | 0,01 | 69,13 |

Para as misturas utilizando cimento, é possível observar três características principais. Primeiramente, o melhoramento funcionou controlando a expansão do material. Em segundo lugar, o aumento do teor de cimento resultou em um aumento do valor de CBR, em ambas as energias. Por último, as misturas compactadas com energia normal foram mais efetivas que as compactadas com energia intermediária. Isso ocorre possivelmente porque, ao aumentar a energia, a pressão dos golpes impede que as partículas finas e o ligante preencham os vazios das misturas, rompendo-se as ligações.

Comparando-se cada mistura e com o apoio da Tabela 1, as análises serão feitas primeiramente para as misturas submetidas à energia normal e, em seguida, para as submetidas à energia intermediária:

A M03N apresentou características de expansão e CBR que permitem seu uso até mesmo como material de sub-base, atendendo também às camadas inferiores. O mesmo ocorreu para a M05N, que, devido ao seu valor de CBR, pode atender até mesmo uma camada de base, desde que o número N definido em projeto seja igual ou inferior a 5×10^6 . A M07N, por sua vez, cumpriu todos os requisitos apresentados neste estudo para compor qualquer camada estrutural de pavimento abordada.

As M03I e M05I também apresentaram características para atender sub-base e camadas inferiores, enquanto a M07I, além de atender essas camadas, pode atender uma base com número N definido igual ou inferior a 5×10^6 .

Solo de coloração Marrom:

Para este estudo, realizou-se para a Amostra 02 a compactação do solo nas três energias objetivando entender como o material se comporta, os resultados mecânicos estão apresentados de maneira gráfica através das curvas de compactação na Figura 4, e em formatado de numérico na Tabela 4.

Os resultados dos solos marrom são promissores, apresentando baixos valores de expansão e utilidade para compor ao menos duas camadas de pavimento. A amostra 02, com aumento da energia de compactação, mostrou uma relação direta de proporcionalidade nas características mecânicas, com expansões inferiores a 0,5% e valores de CBR úteis para várias camadas de pavimento. Com energia normal, atende camadas finais de subleito; com energia intermediária, camadas de sub-base; e com energia modificada, pode atender uma base com número N igual ou inferior a 5×10^6 .

As amostras 03 e 05, submetidas à energia intermediária, cumprem os requisitos para a camada de sub-base. A amostra 03, com energia modificada, é adequada para uma camada de base com CBR igual ou inferior a 60%.

Os piores resultados foram das amostras 01 e 04, classificadas no grupo A-1b, com frações significativas de areia fina e material passante na peneira 200. Elas apresentaram umidades semelhantes, valores de CBR próximos e expansão inferior a 2%, atendendo apenas às camadas finais do subleito e corpo de aterro.

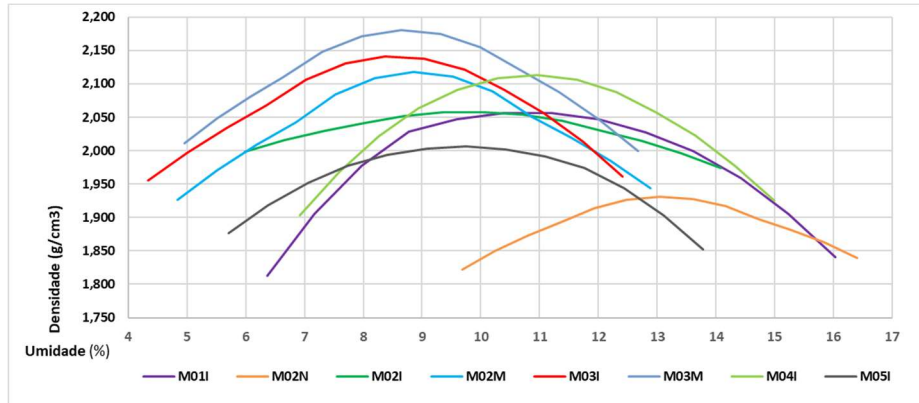


Figura 4. Curva de compactação da amostra de solo marrom 02.

Tabela 4. Resultados mecânicos do solo marrom.

| Teor (%) | Energia | Compactação | | Expansão (%) | CBR (%) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| | | wot (%) | γ_{dmax} (g/m ³) | | |
| 01 | Intermediária | 10,78 | 2,057 | 1,81 | 10,00 |
| | Normal | 13,10 | 1,931 | 0,04 | 15,44 |
| 02 | Intermediária | 9,79 | 2,058 | 0,08 | 58,11 |
| | Modificada | 8,92 | 2,118 | 0,17 | 62,07 |
| 03 | Intermediária | 8,56 | 2,142 | 0,40 | 40,91 |
| | Modificada | 8,73 | 2,180 | 0,43 | 61,29 |
| 04 | Intermediária | 10,91 | 2,113 | 1,63 | 8,59 |
| 05 | Intermediária | 9,70 | 2,006 | 0,37 | 29,58 |

Solo Marrom + Cimento:

Através da Tabela 5, têm-se as explicitações dos resultados mecânicos serão feitas da mesma forma que as das misturas do solo cinza claro.

Tabela 5. Resultados mecânicos das misturas do solo marrom.

| Teor (%) | Energia | Compactação | | Expansão (%) | CBR (%) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| | | wot (%) | γ_{dmax} (g/m ³) | | |
| M03 | Intermediária | 8,34 | 1,999 | 0,00 | ≥100 |
| | Modificada | 6,78 | 2,102 | 0,00 | ≥100 |
| M05 | Intermediária | 9,78 | 2,007 | 0,00 | ≥100 |
| | Modificada | 7,83 | 2,126 | 0,00 | ≥100 |
| M07 | Intermediária | 10,65 | 1,973 | 0,00 | ≥100 |
| | Modificada | 8,78 | 2,104 | 0,01 | ≥100 |

Os resultados mostram que o cimento reagiu bem com o solo em estudo, controlando a expansão e aumentando significativamente os valores de CBR, permitindo que as misturas atendam qualquer camada estrutural de um pavimento rodoviário. As altas porcentagens de CBR são adequadas para pavimentos com grande fluxo de veículos. Entretanto, recomenda-se a execução de trechos experimentais na região para garantir eficácia.

A excelente relação entre os componentes da mistura deve-se à combinação das boas características de ligação do cimento com a resistência do material granular do solo. A proporção adequada entre os materiais permitiu que o ligante preenchesse os vazios no material granular, resultando em ligações muito resistentes.

5 CONCLUSÃO

Em linhas gerais, os estéreis de garimpo podem ser utilizados nas camadas de pavimento, especialmente quando melhorados com cimento. As amostras do solo de coloração marrom obtiveram os melhores resultados, possivelmente por suas características se assemelharem a um solo laterítico, enquanto o de coloração cinza se origina do intemperismo de filitos. Por mais que ambos os solos apresentam frações consideráveis de pedregulho, devido as características geotécnicas, as lateritas tendem a apresentar melhor desempenho.

Outro ponto a ser destacado é que o cimento demonstrou ser um agente melhorador no controle da expansão e no aumento da resistência dos solos.

Do ponto de vista socioambiental, é essencial que o Poder Público considere a utilização dos resíduos de mineração em obras de infraestrutura próximas à região pantaneira. Essa medida pode mitigar o excesso de resíduos gerados, promovendo uma destinação ecológica e econômica, já que reduziria a necessidade de novos materiais.

Conclui-se, portanto, que este estudo indicou potenciais destinos para os resíduos de mineração de ouro, que atualmente, impactam no ambiente minerário e alteram a paisagem da região do Pantanal mato-grossense, dessa forma, propondo soluções alinhadas com os princípios ecológicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Ecoplan Engenharia Ltda. pelo fornecimento da infraestrutura para realização dos ensaios, ao Garimpo Cangas II pelo fornecimento dos materiais percussores deste estudo e a UFMT pela estrutura, recursos e capacitação para o desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDALICIO, Aline Ferreira. Proposta de pavimento flexível com a utilização de resíduos de mineração – execução e análise de um trecho experimental. 2020.
- ARAGÃO, G. A. S. Classificação de pilhas de estéril na mineração de ferro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008.
- CHODOUNSKY, Marcel Aranha; VIECILI, Fábio André. Pisos industriais de concreto: aspectos teóricos e executivos. Reggenza, 2007.
- Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração/Instituto Brasileiro de Mineração; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Gestao-e-Manejo-de-Rejeitos-da-Mineracao-2016.pdf> Acesso em: 26 nov. 2023.
- HEISE, Andre Falleiros. Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solo cimento em taipa de pilão. 2003.
- IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Mineração em números 2020. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Infografico-Mineracao-em-Numeros-2020-NOVO-1-1.pdf>, 2020.
- INGLES, Owen Graeme; METCALF, John B. Soil stabilization principles and practice. 1972.
- MEDINA, J. Apostila de estabilização de solos – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1987.
- MORAES, S.L.; MOTTA, F.G.; MASSOLA, C.P.; SACCOCCIO, E.M.; CABRAL JÚNIOR, M. Rejeitos de mineração: Um olhar do cenário brasileiro - Parte I: Cadeia produtiva. In: 18º Simpósio de Mineração. São Paulo, SP, 02 a 06 outubro, 2017.
- OLIVEIRA, Rodrigo Fidelis Viana de. Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos. 2011.
- TRINDADE, Roberto de Barros Emery; BARBOSA FILHO, Olavo. Extração de Ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente. 2002.