

Estabilização De Solo Com Rejeito Da Produção De Celulose

Soil Stabilization with Cellulose Production Residue

Estabilización de suelo con residuos de la producción de celulosa

Jairo Salim Pinheiro De Lima

Professor Doutor, UNESP, Brasil
jairo.lima@unesp.br

Ândria Carolina Leite De Souza

Graduanda, UNESP, Brasil
andria.leite@unesp.br

Bárbara Lemos

Mestranda, UNESP, Brasil.
barbara.lemos1@unesp.br

Lucas Eduardo Dezen

Mestrando, UNESP, Brasil.
lucas.dezen@unesp.br

Yule Anni Dourado Martarello

Mestranda, UNESP, Brasil.
yad.martarello@unesp.br

RESUMO

O presente artigo trata sobre o uso de lama de cal no solo, com a finalidade de aplicação na pavimentação asfáltica com função de estabilizante de solo, tendo como objetivo estudar a estabilização física e mecânica dessa mistura, com teores de lama-cal em 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. Foram analisadas cinco amostras para mini-Proctor de cada dosagem, para os ensaios de caracterização, expansão e resistência à penetração, para obter a umidade ótima e o mini-CBR. Com os resultados do mini-CBR, foram realizados novamente os ensaios para o CBR padrão, com duas amostras de cada teor de lama-cal na umidade ótima determinada em corpos-de-prova miniatura. A lama-cal é um resíduo do processo de industrialização do papel e celulose, utilizado como corretivo da acidez dos solos e agente aglomerante, além de reduzir a expansão e contração térmica do solo, resistindo às variações climáticas. Porém, os estudos para a utilização para estabilização de solos são escassos, mas possíveis, o que contribui com a preservação do meio ambiente, reduzindo a quantidade de resíduos descartados em aterros. Com os resultados obtidos do mini-CBR e CBR padrão, é possível realizar a aplicação de lama-cal na pavimentação asfáltica na camada da sub-base e reforço do subleito, uma vez que todos os resultados estão de acordo com as normativas atuais.

PALAVRAS-CHAVE: Lama-cal. Pavimentação Asfáltica. Estabilização de Solo.

SUMMARY

The present article addresses the use of lime slurry in soil with the purpose of application in asphalt pavement as a soil stabilizer. The objective is to study the physical and mechanical stabilization of this mixture with lime slurry contents of 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%. Five samples for mini-Proctor tests will be analysed for each dosage to determine characteristics, expansion, and penetration resistance, to obtain the optimum moisture content and mini-CBR values. Using the mini-CBR results, standard CBR tests were conducted again with two samples for each lime slurry content at the determined optimum moisture content in miniature specimens. Lime slurry is a residue from the paper and pulp industrialization process, used as a soil acidity corrector and binding agent, in addition to reducing soil thermal expansion and contraction while withstanding climatic variations. However, studies on its use for soil stabilization are scarce but feasible, contributing to environmental preservation by reducing the amount of waste deposited in landfills. Based on the results obtained from mini-CBR and standard CBR tests, it is possible to apply lime slurry in asphalt pavement in the sub-base and subgrade reinforcement layers, as all results comply with current regulations.

KEYWORDS: Lime Slurry. Asphalt Pavement. Soil Stabilization.

RESUMEN

El presente artículo aborda el uso de lodo de cal en el suelo con el propósito de su aplicación en pavimentos asfálticos como estabilizador de suelo. El objetivo es estudiar la estabilización física y mecánica de esta mezcla con contenidos de lodo de cal del 10%, 20%, 30%, 40% y 50%. Se analizarán cinco muestras para pruebas mini-Proctor en cada dosificación para determinar características, expansión y resistencia a la penetración, con el fin de obtener el contenido óptimo de humedad y valores de mini-CBR. Utilizando los resultados del mini-CBR, se realizaron nuevamente pruebas CBR estándar con dos muestras para cada contenido de lodo de cal al contenido óptimo de humedad determinado en especímenes en miniatura. El lodo de cal es un residuo del proceso de industrialización del papel y la pulpa, utilizado como corrector de la acidez del suelo y agente aglutinante, además de reducir la expansión térmica y contracción del suelo, resistiendo a las variaciones climáticas. Sin embargo, los estudios sobre su uso en la estabilización del suelo son escasos pero factibles, contribuyendo a la preservación del medio ambiente al reducir la cantidad de residuos depositados en vertederos. Basándonos en los resultados obtenidos de las pruebas mini-CBR y CBR estándar, es posible aplicar el lodo de cal en pavimentos asfálticos en las capas de sub-base y refuerzo del sublecho, ya que todos los resultados cumplen con las regulaciones actuales.

PALABRAS CLAVE: Lodo de Cal. Pavimento Asfáltico. Estabilización de Suelo.

1 INTRODUÇÃO

Um material usualmente utilizado na construção de estradas é o solo, devido a sua disponibilidade e baixo custo, porém nem todo tipo de solo é apropriado para fins de pavimentação. O uso de solo para tal função requer estabilização mecânica ou química, com melhorias para que a sua utilização se torne viável. A busca por elementos que melhorem as propriedades dos solos, aliada à necessidade de minimizar o impacto ambiental, desperta o interesse em pesquisar maneiras para utilizá-los em misturas.

A pavimentação rodoviária desempenha papel crucial na infraestrutura de transportes, fornecendo conexões vitais para o comércio, mobilidade e desenvolvimento econômico. Cada vez mais a busca por soluções sustentáveis e ambientalmente amigáveis ganha destaque. Uma abordagem promissora é a utilização de rejeitos de celulose, provenientes da indústria de papel e celulose, para a estabilização de solos.

Os rejeitos de celulose são subprodutos ricos em fibras, obtidos a partir do processamento da madeira. Geralmente esses materiais são descartados em aterros, gerando impactos significativos, ou são utilizados para fins secundários de baixo valor agregado. De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2020), o Brasil é o segundo maior produtor de celulose do mundo, com cerca de 21 milhões de toneladas ao ano, e o maior exportador de celulose do mundo, exportando aproximados 15,6 milhões de toneladas ao ano.

A lama de cal, também conhecida como lama-cal, é um resíduo proveniente do processo de industrialização do papel e da celulose utilizado regularmente em áreas de cultivo para corrigir a acidez dos solos. Possui coloração branca e sua composição é predominante o carbonato de cálcio (CaCO_3) (IBÁ, 2020). Contudo, poucos estudos apontam a viabilidade de utilização da lama-cal para a estabilização de solos com vistas à pavimentação rodoviária.

A estabilização do solo com rejeitos de celulose oferece várias vantagens. Esses materiais podem atuar como agentes aglomerantes, aumentando a coesão e a resistência do solo. Além disso, contribui para a redução da expansão e a contração térmica do solo, minimizando os efeitos das variações climáticas sobre a estrutura das estradas. A sua utilização como estabilizante de solos diminui a necessidade de extração de recursos naturais, além de possuir baixa energia incorporada, se comparada aos materiais convencionais.

Porém, a lama-cal pode liberar compostos orgânicos voláteis ou a lixiviação de substâncias químicas prejudiciais ao meio ambiente. Investir em pesquisas para desenvolver tecnologias mais eficientes e eficazes garante melhor adequação às condições específicas das estradas e atende os requisitos de segurança e desempenho. O seu uso deve ser avaliado de acordo com o tipo de solo utilizado, que varia de acordo com a região de cada projeto. A adoção dessa abordagem sustentável tem o potencial de beneficiar tanto a indústria de papel e celulose quanto o setor de infraestrutura.

Até o momento, são escassos os estudos e pesquisas que abordam a estabilização de solos com rejeitos de celulose para pavimentação rodoviária. Portanto, a justificativa para a escolha desse tema reside na necessidade de buscar soluções inovadoras e sustentáveis para a estabilização de solos, contribuindo para a preservação do meio ambiente, a redução de resíduos descartados e a promoção do desenvolvimento sustentável na pavimentação rodoviária.

2 OBJETIVO

Com o objetivo de minimizar o descarte de toneladas de resíduos da produção de celulose na natureza, e mitigar os impactos ambientais, alguns estudos estão em pauta a fim de propor diferentes alternativas de uso para esses materiais. É necessário analisar os resultados obtidos da lama-cal no solo para avaliar a sua viabilidade econômica e estabelecer diretrizes claras para a sua utilização, de forma a garantir a segurança, a eficiência e a sustentabilidade das estradas pavimentadas com solos estabilizados com rejeitos de celulose.

a) Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é estudar a estabilização física e mecânica de solo, adicionado de lama de cal, para aplicação em uma camada de pavimentos rodoviários.

b) Objetivos Específicos

Como objetivos específicos destacam-se: analisar a mistura com teores de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de rejeitos de celulose no solo, fabricando 5 amostras de cada teor; analisar a expansão do solo e a sua resistência à penetração com a finalidade de definir o teor de umidade ótima e avaliar a possível aplicabilidade do solo com lama-cal em cada teor estipulado pelo mini California Bearing Ratio¹ (CBR).

Com a umidade ótima de cada teor, realizar os mesmos ensaios previstos para o CBR de tamanho padrão, a fim de verificar os resultados obtidos com o mini-CBR.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais e Equipamentos

O solo empregado como referência neste trabalho provém de jazida localizada em Ilha Solteira-SP, denominada Torre. A lama-cal resulta da produção de celulose, cuja indústria está instalada também nesta região. As misturas estabilizadas de solo-lama-cal foram avaliadas em dosagens controladas de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de lama-cal no solo, sem substituição.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil – FEIS/UNESP de Ilha Solteira e os principais equipamentos utilizados, foram:

- Peneiras #10 e #30;
- Estufa;
- Balança de precisão digital;
- Molde cilíndrico metálico;
- Compactador com soquete;
- Extensômetro;
- Prensa de penetração.

3.2 Métodos

Não foram observados, no contexto da pavimentação rodoviária, métodos de ensaios

¹ Do inglês, Índice de Suporte Califórnia.

definidos em normas técnicas com uso da lama-cal. Desta forma, adotaram-se ensaios usuais da área de geotecnia para definir os parâmetros de classificação e caracterização do solo e das misturas de solo-lama-cal. Os dados do solo *in natura* servem como referências para observar a contribuição do resíduo nas misturas.

O ensaio de classificação do solo observou o método proposto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 172/2016-ME). Os ensaios de compactação, CBR e expansão do solo e das misturas foram executados em equipamento miniatura, conforme DNIT 228/2023-ME.

As misturas foram submetidas ao ensaio de compactação para determinar as suas propriedades ótimas: massa específica aparente seca máxima e teor ótimo de umidade. A energia empregada foi a do Proctor normal. Para os ensaios de CBR e expansão empregaram-se aquelas condições ótimas e a norma DNIT 254/2023-ME.

Cada amostra foi separada em sacos plásticos individuais, adicionados os respectivos teores de umidade e após a homogeneização foram armazenadas por 24 horas, no mínimo, antes da compactação. A compactação foi realizada em corpos-de-prova com tamanhos reduzidos e de acordo com a norma do DNIT (DNIT 228/2023-ME) com a energia normal.

As amostras compactadas permaneceram imersas em água 24 horas, como uma etapa do ensaio e para medir a expansão. Após o tempo de imersão, os corpos-de-provas foram submetidos ao ensaio de penetração do mini-CBR. Os dados de CBR e expansão são regularmente adotados como referências para indicar o potencial uso dos materiais em pavimentação e em camadas dos pavimentos.

Numa segunda etapa, os ensaios de compactação, CBR e expansão foram repetidos, mas, desta vez, em cilindros maiores. As normas respectivas adotadas como referências foram: DNIT 164/2013-ME, DNIT 172/2016-ME e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 9895 (2016). Para cada amostra foram feitas 2 (duas) repetições com o intuito de observar e corrigir possíveis variações nos procedimentos e dados obtidos.

4 RESULTADOS

4.1 Compactação (mini-Proctor), mini-CBR e expansão

O quadro 1 resume os resultados obtidos para o ensaio de compactação (mini-Proctor) e mini-CBR em corpos-de-prova com tamanhos reduzidos e energia do Proctor normal. A amostra identificada como 0% indica o solo *in natura*. As demais amostras registram as dosagens de lama-cal adicionadas ao solo seco, sem substituição, $\rho_{d \max}$ (g/cm³) corresponde à massa específica aparente seca máxima e W_{ot} (%) equivale ao teor ótimo de umidade.

Quadro 1 – Resultados dos ensaios de compactação, mini-CBR e expansão.

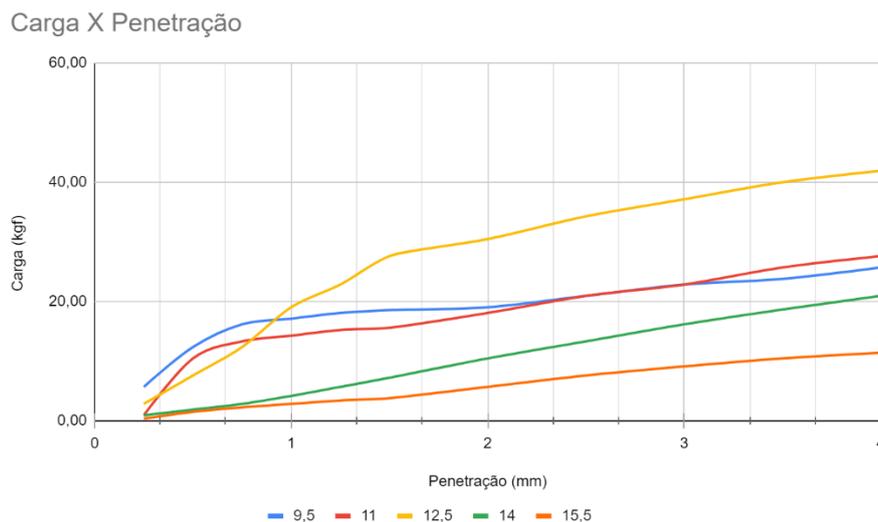
Amostra solo + lama-cal	Teores ótimos		Mini-CBR (%)	Expansão (%)
	$\rho_{d \text{ max}}$ (g/cm ³)	W_{ot} (%)		
0%	1,962	12,3%	29,3%	-
10%	1,945	12,5%	13,1%	0,079%
20%	1,825	13,0%	21,1%	0,000%
30%	1,739	14,0%	15,4%	0,000%
40%	1,710	17,5%	19,9%	0,059%
50%	1,650	17,5%	18,5%	0,100%

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Observou-se que a utilização da lama-cal no solo modifica a cor e o cheiro da água, além de causar oxidação das peças utilizadas durante a imersão, mesmo untando os acessórios com vaselina. Algumas amostras apresentaram retração apesar de estarem imersas (não expandiram), e todos os valores abaixo de 1,0%. Estes resultados sugerem que a lama-cal não interfere negativamente na propriedade de expansão do solo.

Para avaliar a resistência do solo o ensaio de penetração é essencial, a partir dos valores obtidos é possível calcular o valor do CBR para as amostras analisadas. As Figuras 1 a 5 mostram gráficos de penetração versus carga correspondente a cada material empregado nesse estudo para as amostras de tamanho miniatura.

Figura 1 - Ensaio de Penetração – 10%.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Figura 2 - Ensaio de Penetração – 20%.

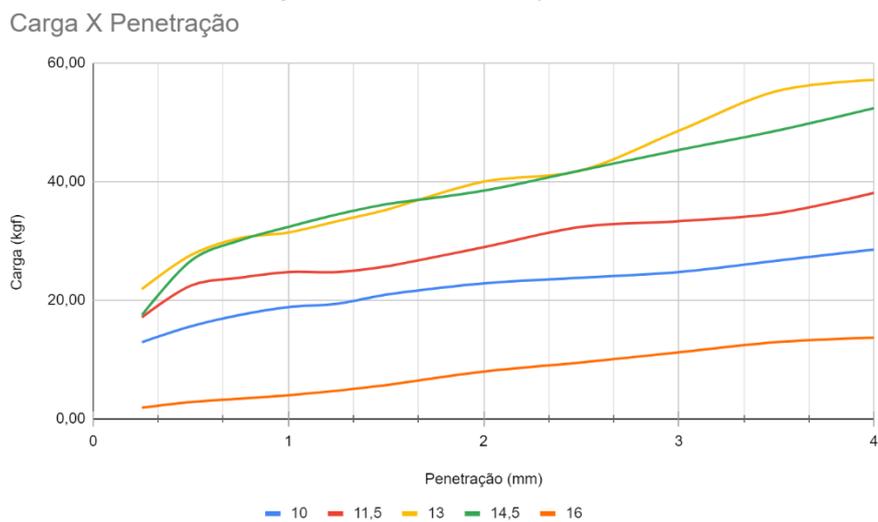


Figura 3 - Ensaio de Penetração – 30%.

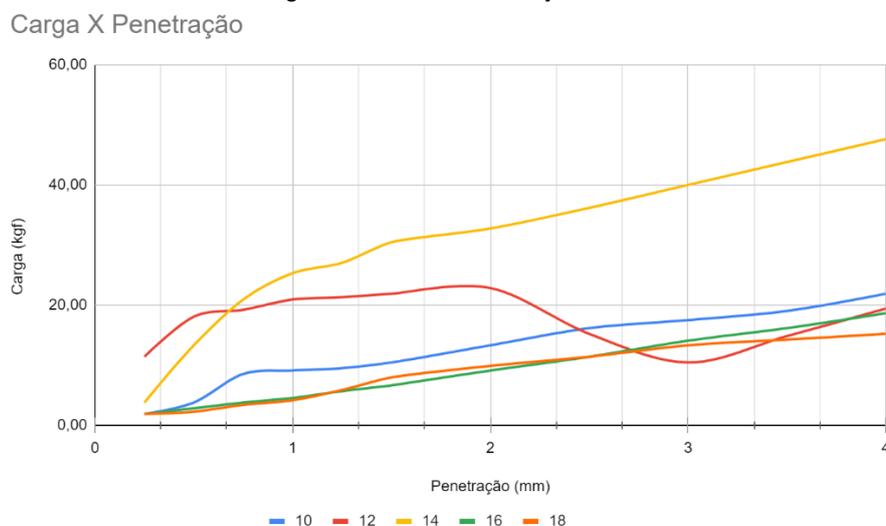


Figura 4 - Ensaio de Penetração – 40%.

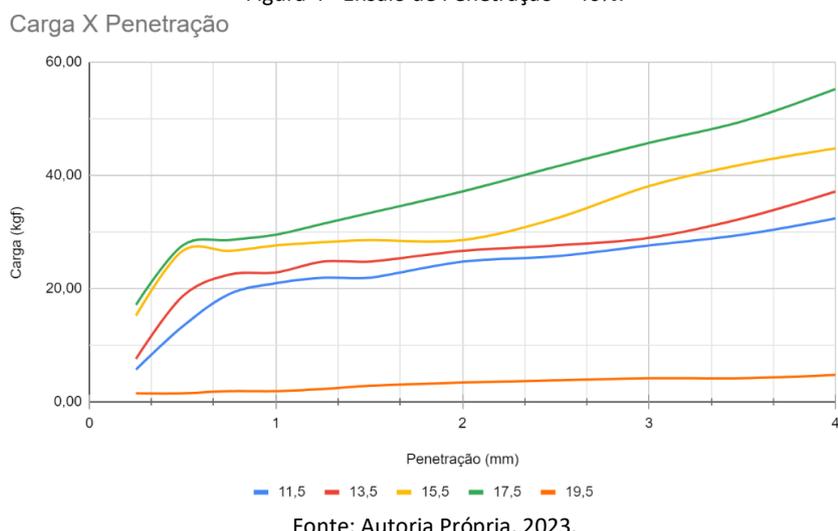
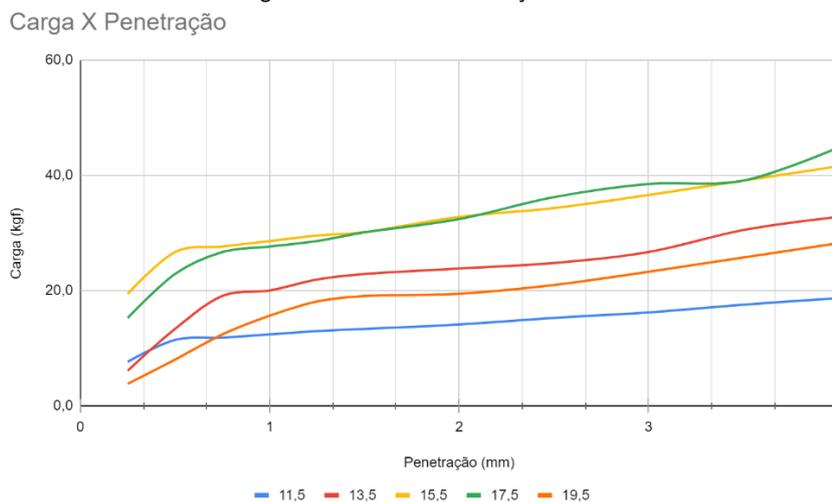


Figura 5 - Ensaio de Penetração – 50%.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Todos corpos-de-prova com as misturas solo-lama-cal apresentaram lamelas. Este tipo de comportamento pode estar relacionado à distribuição da energia e ao efeito do confinamento nas amostras com tamanho miniatura durante a compactação. Por este motivo, foram realizados ensaios em corpos-de-provas com medidas maiores (padrão).

4.2 Compactação, CBR e expansão em corpos-de-prova padrão

Neste caso, adotaram-se as mesmas rotinas anteriores para a preparação das amostras e das misturas. Da mesma forma, preservaram-se as condições de compactações (energia normal) e o teor ótimo de umidade determinado nos ensaios mini-Proctor. Para cada amostra foram realizadas duas repetições visando corrigir eventuais dispersões nos procedimentos. O quadro 2 resume os resultados para os teores ótimos de compactação, CBR e expansão em corpos-de-prova padrão.

Quadro 2 – Resultados de CBR e expansão para corpos-de-prova padrão.

Amostra solo + lama-cal	Teores ótimos		CBR (%)	Expansão (%)
	$\rho_{d\ max}$ (g/cm ³)	W _{ot} (%)		
0%	1,876	12,3%	33,2%	-
10%	1,866	12,5%	16,4%	0,011%
10%	1,864	12,5%	16,1%	0,015%
20%	1,751	13,0%	27,5%	0,018%
20%	1,787	13,0%	20,3%	0,018%
30%	1,703	14,0%	20,0%	0,028%
30%	1,718	14,0%	25,8%	0,035%
40%	1,685	17,5%	4,4%	0,010%
40%	1,676	17,5%	14,4%	0,059%
50%	1,538	17,5%	21,3%	0,049%
50%	1,526	17,5%	17,6%	0,052%

Fonte: Autoria Própria, 2023.

O solo possui classificação laterítico 1 – 2 – 6 (4), siltoso com índice de grupo igual a 4, podendo ser aplicado como sub-base da pavimentação asfáltica. A expansão apresentou resultados positivos em todas as amostras analisadas, ficando bem abaixo do valor de 1% estabelecido nas normas.

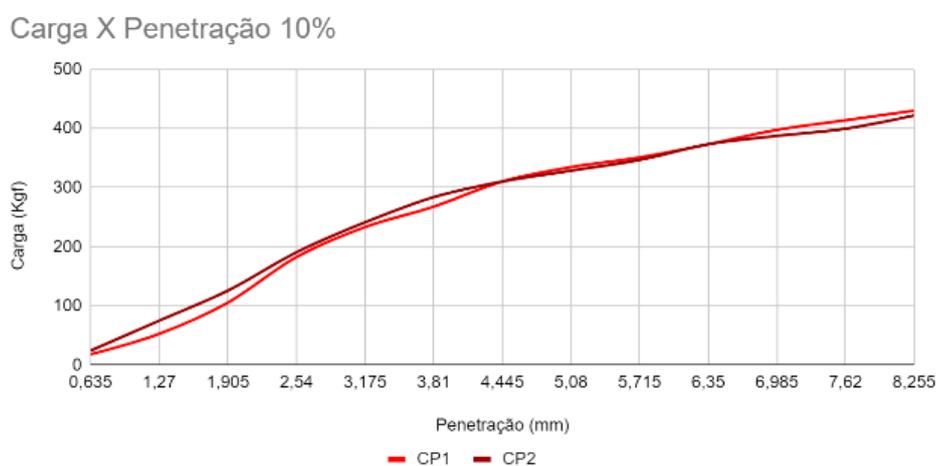
Em relação à massa específica aparente seca máxima há uma queda conforme o teor de lama-cal aumenta na amostra e não houve grandes diferenças entre os corpos-de-prova em miniatura e os de tamanho padrão. O teor de umidade ótima também aumenta conforme o teor de lama-cal se torna maior, com grande quantidade de finos a necessidade de água se torna maior.

Quanto ao CBR obtido pode-se notar que os resultados em miniatura estão próximos aos das amostras de tamanho padrão, mas ocorreram divergências. Os teores de 20% e 40% em miniatura podem ser usados como sub-base, mas os de 20% e 30% em tamanho padrão mostram que podem ser utilizados como sub-base. Sendo os demais aplicados apenas no reforço do subleito.

Além dos resultados primários medidos nos ensaios, as curvas de penetração versus carga no teste de CBR podem agregar informações valiosas para explicar propriedades e comportamentos dos materiais. No caso das misturas estabilizadas de solo-lama-cal, com limitado acervo de dados, estas informações parecem mais relevantes. Neste sentido, as Figuras 5 a 10 mostram gráficos de penetração versus carga correspondente a cada material empregado nesse estudo para as amostras de tamanho padrão.

Como no caso das amostras miniaturas, aqui também foram verificadas lamelas nos corpos-de-prova deformados. A formação das lamelas pode estar relacionada à quantidade de finos presentes nas misturas, requerendo, portanto, estudos complementares sobre esse assunto.

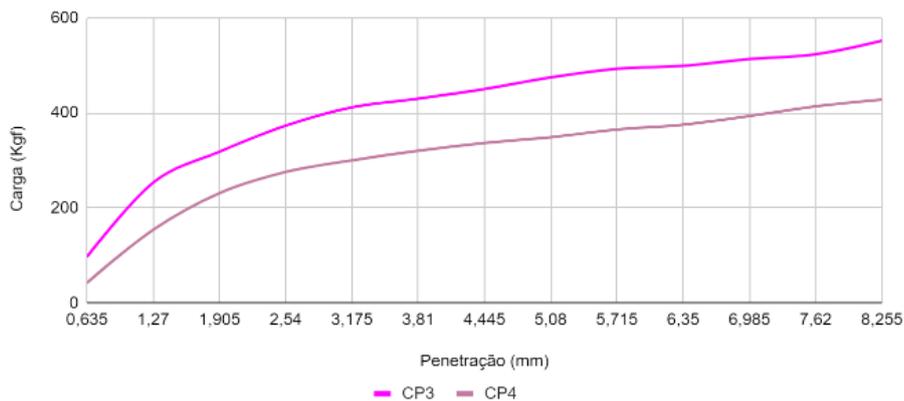
Figura 5 - Ensaios de Penetração – 10%.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Figura 6 - Ensaio de Penetração – 20%.

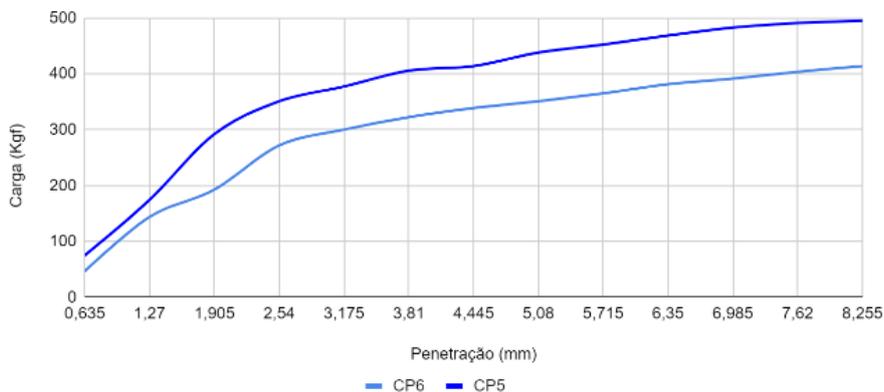
Carga X Penetração 20%



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Figura 7 - Ensaio de Penetração – 30%.

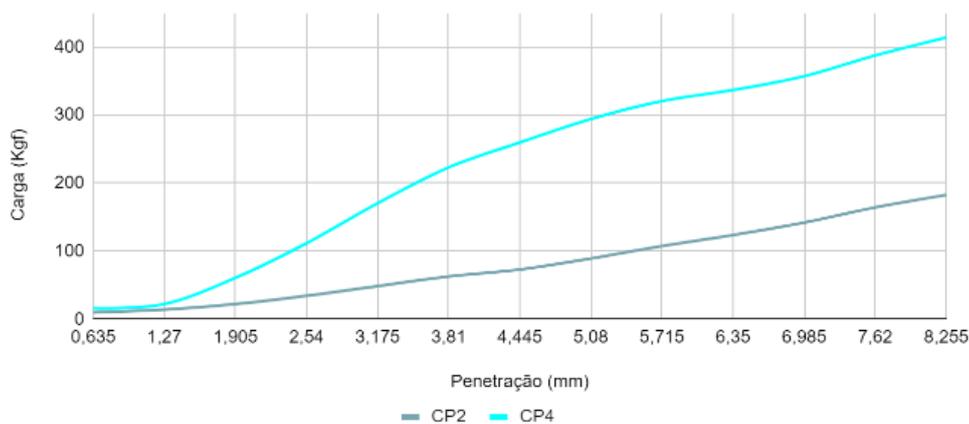
Carga X Penetração 30%



Fonte: Autoria Própria, 2023.

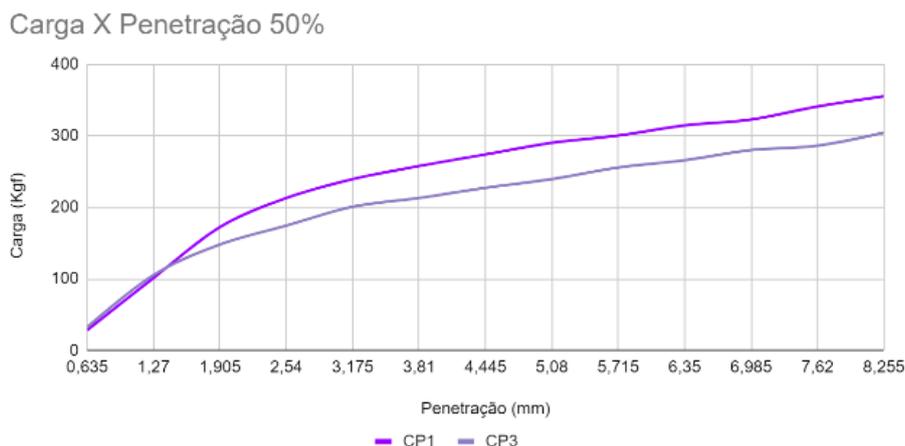
Figura 9 - Ensaio de Penetração – 40%.

Carga X Penetração 40%



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Figura 10 - Ensaio de Penetração – 50%.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os resultados encontrados foram bem próximos aos do mini-CBR, inclusive sobre a massa específica seca máxima, com a porcentagem de CBR entre 13% a 27%. Segundo DNIT (2006), no manual de pavimentação são apresentadas características de cada camada de solo, como espessura mínima e carga máxima suportada. Obtendo o CBR do solo é possível determinar em qual camada o solo pode ser utilizado. O pavimento flexível é composto de subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento.

Para o subleito, a espessura mínima é de 15 cm, o CBR deve ser maior ou igual a 2% e a expansão do solo não pode ultrapassar 2%. No reforço do subleito, o CBR deve ser maior que o valor do subleito, porém a expansão não pode ultrapassar 1%. Para a sub-base, o CBR deve ser maior ou igual a 20%, porém seu índice de grupo tem que ser igual a zero e a expansão não pode ultrapassar 1%. Para a base, o CBR deve ser maior ou igual a 80%, a expansão não pode ultrapassar 0,5% (DNIT, 2006).

5 CONCLUSÃO

O solo utilizado para o ensaio é classificado como laterítico, mesmo sendo siltoso e com grande quantidade de material fino. Para referência, realizou-se o ensaio para mini-proctor, obtendo mini-CBR e CBR para corpo-de-prova tamanho padrão. Com os resultados obtidos, pode ser aplicado como sub-base da pavimentação asfáltica, pois apresenta mini-CBR e CBR maior que 20%.

Ao comparar os resultados da massa específica aparente seca máxima do solo in natura com as amostras com lama-cal em 10%, 20%, 30%, 40% e 50% houve diminuição de, respectivamente, 0,90%, 7,0%, 9,5%, 13,0% e 18,0%. Essa diminuição ocorre devido ao aumento de material fino no solo, pois a lama-cal também possui maior composição de finos. Houve diminuição da plasticidade e resistência à compressão.

O ensaio de imersão não apresentou valores acima do recomendado pela norma, onde todas as amostras analisadas expandiram entre 0,0% até 0,1%. Algumas apresentaram retração devido ao baixo teor de umidade, mas as que estavam na umidade ótima apresentaram retração.

Os valores obtidos do mini-CBR mostram que há possibilidade de utilizar o solo com lama-cal nas proporções de 20% e 40% como sub-base do pavimento flexível. Para os demais teores analisados o mini-CBR está abaixo de 20%, podendo ser aplicado como reforço do subleito.

Para o CBR de tamanho padrão as amostras com 20% e 30% de lama-cal podem ser utilizadas na camada de sub-base e o restante destinado para reforçar o subleito, de modo a melhorar a capacidade de suporte do pavimento.

Houve uma divergência de valores do CBR nas amostras de 30% e 40%, ao se comparar os resultados das amostras em miniatura e as de tamanho padrão, o que indica que a umidade utilizada nos ensaios não era a mais otimizada para os teores ensaiados, pois todo o procedimento foi realizado sob orientação técnica e seguindo as normas vigentes.

Os solos com 40% e 50% de lama-cal possuem grande quantidade de material fino, necessitando de teor de umidade maior que os demais, o que inviabiliza a utilização nessa proporção para pavimentação asfáltica, pois em casos de chuva, o solo se tornaria instável, com mais características de lama, prejudicando o pavimento.

Um fato inesperado durante os ensaios ocorreu durante a imersão dos corpos-de-prova, a mistura apresentou um caráter corrosivo para materiais metálicos, enferrujando o molde cilíndrico e o suporte metálico. Dessa forma, a aplicação da lama-cal em pavimentos seria limitada, pois ela possui um potencial corrosivo ao entrar em contato com água, podendo danificar os equipamentos e maquinários utilizados na construção de estradas, em caso de contato direto e prolongado.

A lama-cal possui propriedades químicas desconhecidas, um estudo mais aprofundado da composição química deste material poderia lhe atribuir melhor desempenho na pavimentação asfáltica.

De maneira geral, a adição de lama-cal pode melhorar a qualidade do solo, tornando-o mais coeso e resistente. O seu uso no reforço do subleito pode trazer estabilização a solos que são expansivos devido à mudanças na umidade. Com a diminuição da plasticidade causada pela lama-cal o solo se torna menos suscetível a deformações e recalques, contribuindo para uma maior durabilidade da pavimentação.

A lama-cal também contribui com o aumento da resistência à umidade, tornando o solo menos vulnerável a danos causados pela água, como erosão e perda de suporte. Porém, é importante ressaltar que a eficácia da adição da lama-cal depende das condições locais e das características do solo, sendo fundamental realizar uma análise detalhada da mistura para cada caso.

Portanto, para o solo analisado, o teor mais indicado para aplicação é com 20% de lama-cal, pois apresentou bons resultados nos ensaios analisados, estando de acordo com as normativas existentes e se mantendo constante quando ao mini CBR e CBR em tamanho padrão, apresentando resultados acima de 20% em nas três análises realizadas.

AGRADECIMENTOS

À UNESP, à CAPES e ao Assistente Técnico Ozias da Silva Porto, do Departamento de Engenharia Civil, pelo auxílio durante a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 14 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA E RODAGEM. **DNER-ME 228**: Solos - compactação em equipamento miniatura. Brasília: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 254**: Solos – Compactação em equipamento miniatura – Mini CBR e expansão – Método de ensaio. Brasília: DNIT, 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 172**: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Brasília: DNIT, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 164**: Solos – Determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Brasília: DNIT, 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. 3.ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274 p. (IPR. Publ., 719).

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2022**. São Paulo: IBÁ, 2022, 96 p. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em 20 de junho de 2023.