

AVALIAÇÃO DA LIGNINA COMO ESTABILIZANTE DE SOLO

ESTEVAN ALCÂNTARA HUCKEMBECK¹; TALISSON NATAN TOCHTENHAGEN²; GUSTAVO LUÍS CALEGARO³; MAIARA SCHELLIN PIEPER⁴; RAFAEL DE AVILA DELUCIS⁵; MAURIZIO SILVEIRA QUADRO⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – estevanhuckembeck@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – talissonnatantochtenhagen@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – gustavocalegaro@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – maiarapieper@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – rafael.delucis@ufpel.edu.br

⁶Universidade Federal de Pelotas – mausq@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

As estradas não pavimentadas desempenham um papel crucial no Brasil, especialmente em áreas rurais, onde 78,5% da malha viária não é asfaltada, totalizando mais de 1,3 milhão de quilômetros (CNT, 2024). Essas vias são essenciais para o escoamento da produção agrícola e o deslocamento da população, conectando o campo às áreas urbanas e contribuindo significativamente para o desenvolvimento social e econômico (DALOSTO et al., 2016). A manutenção adequada dessas estradas é fundamental para reduzir custos logísticos, aumentar a competitividade dos produtos agrícolas e melhorar a qualidade de vida da população rural (SHRESTHA, 2020).

No entanto, a exposição a condições climáticas adversas, como chuvas intensas, torna essas estradas vulneráveis a problemas como erosão, buracos e corrugações, o que compromete sua durabilidade e segurança (NUNES, 2003). A erosão do solo é considerada um dos problemas ambientais mais importantes, e a falta de manutenção adequada agrava a situação, resultando em elevados custos de reparo (PITTELKOW, 2013).

A estabilização de solos surge como uma solução promissora para melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais utilizados na construção e manutenção de estradas, aumentando a sua capacidade de carga e resistência à absorção de água (FIROOZI et al., 2017). Embora métodos tradicionais com cimento, cal e asfalto sejam utilizados, eles podem ter custos elevados e impactos ambientais significativos. Diante disso, há uma crescente busca por alternativas mais sustentáveis e econômicas (ZHANG et al., 2017).

Nesse contexto, os materiais lignocelulósicos, como a lignina, um subproduto da indústria de celulose, emergem como uma alternativa viável para a estabilização de solos (Bajpai, 2016). A lignina é um composto orgânico que, juntamente com a celulose e a hemicelulose, confere resistência mecânica e estabilidade ao solo (FARUK et al., 2014). Estudos mostram que a incorporação desses materiais no solo pode melhorar a coesão, a resistência à compressão e a durabilidade, além de reduzir a condutividade hidráulica (MOSLEMI et al., 2020).

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de diferentes concentrações de lignina em um solo de saibreira, utilizado como material de base em estradas. Para isso, o ensaio Expedito das Pastilhas será empregado para analisar a contração diametral do material, com avaliações realizadas no primeiro e no sétimo dia após a aplicação da lignina.

2. METODOLOGIA

As amostras de solo foram coletadas de uma saibreira localizada no interior do município de Chuvisca, Rio Grande do Sul, nas coordenadas -30.843650 e -52.016941. O solo foi transportado para o Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LabMSPav) do Centro de Engenharias (CENG) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Como aditivo, foi utilizada lignina Kraft em pó, em concentrações de 1%, 2% e 3% da massa de solo seca.

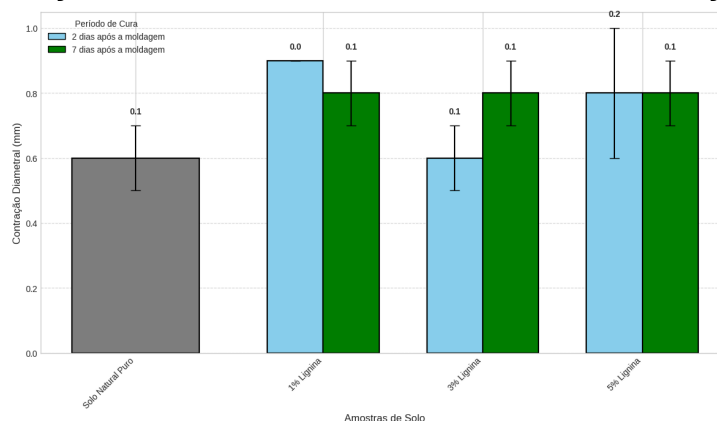
A avaliação do desempenho do aditivo foi realizada por meio do Método Exedito das Pastilhas (FORTES et al., 2002), onde corpos de prova circulares (21 mm de diâmetro por 5 mm de altura) foram moldados a partir da fração fina do solo, que passou pela peneira de malha #200. O material foi umedecido com água destilada até que a penetração de uma agulha padrão indicasse no máximo 1 mm.

As amostras foram avaliadas em dois momentos distintos: dois dias após a moldagem e sete dias posterior à moldagem, antes da análise ocorreu a secagem em estufa a 60°C por 4 horas. Em ambas as avaliações, foram mensuradas a contração diametral e a resistência à reabsorção de água, esta última através do ensaio de penetração da agulha em intervalos de tempo específicos (FORTES et al., 2002). Todas as amostras foram preparadas em triplicata, incluindo um grupo de controle composto apenas por solo natural, para uma análise comparativa completa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da contração diametral (Figura 1) indicam que a adição de lignina, em todos os casos, resultou em uma contração superior à da amostra de solo natural puro (0,6 mm). As amostras com 1% e 5% de lignina após 2 dias de cura apresentaram as maiores contrações, com 0,9 mm e 0,8 mm, respectivamente. Após o período de cura de sete dias, as amostras com 1%, 3% e 5% de lignina apresentaram uma contração uniforme de 0,8 mm. Essa contração pode estar relacionada à capacidade da lignina de se ligar às partículas do solo, resultando em uma estrutura mais densa após a secagem (SEVASTYANOVA et al., 2014). A uniformidade dos valores de contração após sete dias de cura, independentemente da concentração, sugere que a cura prolongada permite a consolidação das ligações e a estabilização da matriz do solo.

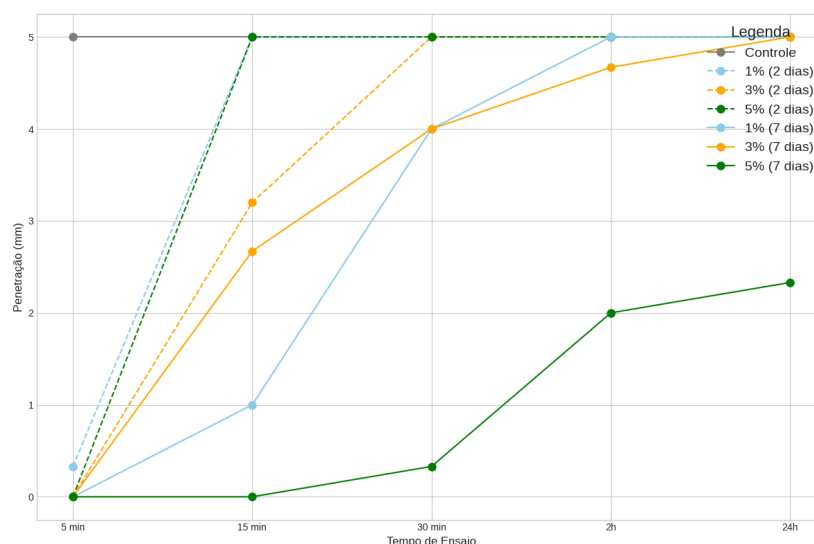
Figura 1: Contração diametral das amostras de solo com a adição de lignina.



Fonte: Autores, 2025.

A análise da penetração (Figura 2), demonstra claramente a eficácia do período de cura na melhoria da resistência do solo à água. A amostra de solo natural puro, utilizada como controle, atingiu a penetração máxima de 5 mm em um tempo muito curto, evidenciando sua baixa resistência a condições úmidas. Em contraste, a amostra com 5% de lignina após 7 dias de cura apresentou os resultados mais significativos. A penetração foi de apenas 0,33 mm após 30 minutos, e a amostra não atingiu a penetração máxima em 24 horas, indicando uma excelente resistência à absorção de água. A melhora na resistência à penetração com o aumento do tempo de cura confirma que a lignina atua como um agente estabilizante eficaz, mas que suas propriedades de ligação e consolidação da matriz do solo precisam de tempo para se desenvolver completamente. Essa ação é crucial para solos expansivos, pois a capacidade da lignina de reduzir a quantidade de água absorvida pelo solo o torna mais sólido e rígido (ANJOS; NEVES, 2011).

Figura 2: Penetração média de acordo com o intervalo de tempo das análises.



Fonte: Autores, 2025.

4. CONCLUSÕES

Podemos concluir que a adição de lignina em um solo de saibreira melhora seu desempenho como material de base em estradas, especialmente quando há um período de cura de sete dias. A lignina aumentou a contração diametral do solo, o que pode indicar uma estrutura mais densa após a secagem. Mais importante, a lignina melhorou significativamente a resistência do solo à absorção de água, com a amostra de 5% de lignina após sete dias de cura apresentando os melhores resultados. Isso mostra que a lignina pode ser uma alternativa sustentável e eficaz para a estabilização de solos em estradas rurais, contribuindo para sua durabilidade e segurança.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAJPAI, P. Estrutura da biomassa lignocelulósica. In: **Pré-tratamento de biomassa lignocelulósica para produção de biocombustíveis**. Singapore: Springer, 2016. p. 11-26. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0687-6_2.
- CNT. **Anuário CNT de Rodovias 2024**. 2024. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2025/03/pesquisa-CNT-anuario-rodovias-2024.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- DALOSTO, J. A.; COLTURATO, S.; PASQUELETTI, A. Estradas vicinais de terra: estudo técnico da rodovia MT-336. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 24, p. 1637-1648, 2016. https://doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_147.
- FARUK, O. et al. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.04.003>.
- FIROOZI, A. A. et al. Fundamentals of soil stabilization. **International Journal of Geo-Engineering**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2017.
- FORTES, M. R.; MERIGHI, J. V.; ZUPPOLINI NETO, A. Método das pastilhas para identificação expedita de solos tropicais. In: **CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS**, 2., 2002, Lisboa, Portugal.
- MOSLEMI, A. et al. Uso do método Taguchi para avaliar a condutividade hidráulica de fibras lignocelulósicas solo reforçado. **Amirkabir Journal of Civil Engineering**, 2020. <https://doi.org/10.22060/ajce.2020.18163.5660>.
- NUNES, T. V. L. **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso das redes neurais artificiais: Trecho de Aquiraz CE**. 2003. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- PITTELKOW, G. C. **Erosion on dirt road in the Campo de Instrução de Santa Maria** (CISM). 2013. **Dissertação** (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- SHRESTHA, S. Roads, market participation, and benefits for farm households: evidence from a topography-based road network in Nepal. **Economic Development and Cultural Change**, v. 68, p. 839-864, 2020. <https://doi.org/10.1086/702226>.
- ZHANG, T.; CAI, G.; LIU, S. Application of lignin-based by-product stabilized silty soil in highway subgrade: a field investigation. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 4243-4257, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.002>.
- ANJOS, C. M.; NEVES, G. A. Utilização do resíduo de caulim para a produção de blocos solo-cal. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6, p.91-96, 2011.
- SEVASTYANOVA, O. et al. Tailoring the molecular and thermo-mechanical properties of kraft lignin by ultrafiltration. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 131, n. 18, p. app.40799, 2014. <https://doi.org/10.1002/app.40799>.