

LIGNINA KRAFT PARA A ESTABILIZAÇÃO DE SOLO EXPANSIVO

GUSTAVO LUÍS CALEGARO¹; LUIZA BEATRIZ GAMBOA ARAÚJO MORSELLI²;
TALISSON NATAN TOCHTENHAGEN³; BRUNO NUNES HUBNER⁴; RAFAEL
RODRIGUES DE LIMA CHIQUINE⁵; RAFAEL DE AVILA DELUCIS⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – gustavoccalegaro@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – luiza_morselli@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – talissonnatantochtenhagen@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – hubnerbruno9@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – rafael04942@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – rafael.delucis@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Solos que contêm argilominerais do grupo das esmectitas apresentam comportamento expansivo significativo, dificultando sua aplicação em obras de engenharia. Esses minerais, de estrutura atômica 2:1, possuem alta capacidade de absorção de água, resultando em deformações volumétricas, instabilidade e aumento da suscetibilidade à erosão, especialmente em áreas de retroerosão (D'ÁVILA et al., 2008).

A estabilização de solos é uma técnica essencial na construção civil, amplamente empregada para melhorar propriedades mecânicas e a durabilidade de solos naturais, com aplicações em projetos de infraestrutura, como estradas, barragens e subleitos rodoviários. Os estabilizantes de solo desempenham um papel importante na melhoria do desempenho mecânico e na mitigação dos desafios ambientais associados a esses projetos. Ao serem incorporados, os estabilizantes promovem um aumento significativo na resistência e coesão dos solos, tornando-os mais adequados para suportar cargas e resistir à degradação natural, como a erosão (HUANG et al., 2021).

Nesse sentido, existe uma busca por alternativas sustentáveis aos aditivos tradicionais, como cimento e cal, a fim de reduzir seus impactos ambientais (ZHANG et al., 2017). A lignina, subproduto da produção de celulose, surge como uma alternativa sustentável para a estabilização de solos, com alguns resultados promissores já publicados na literatura. Por exemplo, estudos conduzidos por TINGLE et al. (2007) indicaram que lignosulfonatos são eficazes para a estabilização de solos granulares, onde eles criam uma película adesiva que une as partículas do solo. Em solos mais finos, como aqueles com alta plasticidade, sua eficácia pode ser limitada devido à sua capacidade de revestir as partículas de solo de forma menos eficiente. Além disso, os lignosulfonatos têm uma capacidade limitada de troca iônica, o que pode ser um mecanismo secundário de estabilização. O presente estudo visou avaliar a estabilização de um solo expansivo utilizando lignina Kraft em pó.

2. METODOLOGIA

O solo utilizado neste estudo, denominado “solódico |do Quartier”, foi coletado no bairro Quartier, em Pelotas/RS. Trata-se de uma areia argilosa com frações finas compostas por argilominerais do grupo das esmectitas, com estrutura atômica 2:1 que manifestam de comportamento expansivo, alta erosividade e baixa resistência em condições úmidas (D'ÁVILA et al., 2008). O pó de lignina Kraft foi gentilmente

doado pela Suzano Papel e Celulose (Brasil), que o obteve por um processo semelhante ao método Lignoboost® a partir de um licor negro à base de eucalipto.

Primeiramente, uma massa do fino do solo, passante em malha # 200 e seca a 60 °C, foi homogeneizada com a lignina nas concentrações de 3% e 6%, ambos em seu estado seco. O primeiro passo da caracterização foi a classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical), que utiliza corpos de prova moldados em formato de pastilhas circulares de 21 mm de diâmetro e 5 mm de espessura.

No método expedito das pastilhas, o solo passou por peneiras de malha #200, sendo preparado com espatulação até que a penetração de uma agulha padrão indicasse 1 mm. As pastilhas foram moldadas em anéis de PVC com diâmetro de 21 mm e altura de 5 mm, então foram secas em estufa a 60 °C por 24 horas. Após a secagem, foi medida a contração diametral e uma triplicata de pastilhas foi submetida a reabsorção de água, sendo avaliada a penetração, trincas e expansão (FORTES et al., 2002).

Também foi avaliada a resistência a seco do solo em corpos de prova esféricos com diâmetro de 30 e 35 mm, utilizando material passante em peneira #4. Esses corpos de prova foram rompidos em prensa manual com anel dinamométrico de 500 kgf, conforme os métodos propostos por D'ÁVILA et al. (2008). As leituras foram convertidas para kgf a partir da curva de correção de PACHECO (2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao observar os resultados obtidos com o ensaio expedito das pastilhas, procedeu-se para a classificação da amostra controle a partir das leituras de contração diametral e penetração da agulha após reabsorção. Assim, o solo foi classificado como "solo siltoso não laterítico", de acordo com FORTES et al., (2002). Verificou-se evidente expansão após 30 minutos, com pequenos trincamentos visíveis nas superfícies. Já para ambas as concentrações de lignina (3% e 6%), após o processo de secagem, foi constatado um ligeiro aumento da contração diametral de aproximadamente 1,3 mm, referente às pastilhas controle que apresentaram valores de cerca de 1,2 mm, ou seja, um aumento de cerca de 8% a contração média, conforme é possível verificar na Figura 2(A).



Figura 1 – Pastilha controle (A) e pastilhas com concentrações 3% lignina (B) e 6% de lignina (C), todas capturadas após um período de 2 horas.

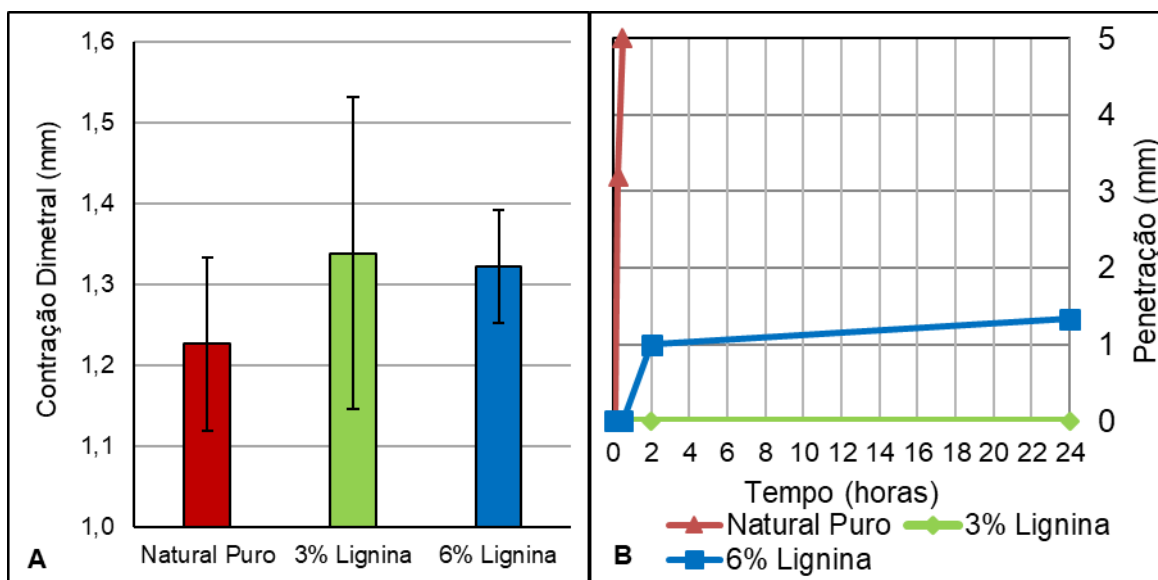


Figura 2 - Contração diametral das pastilhas após secagem (A), Penetração da agulha em função do tempo de reabsorção de água nas pastilhas (B).

No estágio de reabsorção de água, as pastilhas com as duas concentrações de lignina apresentaram menor expansão em comparação às amostras de controle, enquanto as amostras com 6% de lignina apresentaram um ligeiro maior grau de amolecimento a partir das penetrações da agulha de, em média, 1 mm, observadas passado o período de 2 horas, porém com a manifestação de algumas trincas, conforme é possível observar na Figura 1 logo a baixo e a evolução das medidas de penetração da agulha em todo o período de 24 horas logo a seguir na Figura 2(B). SEVASTYANOVA et al. (2014) explicaram que o comportamento térmico e higroscópico da lignina Kraft é influenciado pela sua estrutura heterogênea, composta por grupos funcionais como hidroxila, fenólicos e alifáticos. Esses grupos afetam tanto a contração das pastilhas após a secagem, quanto seu comportamento expansivo, relacionado à afinidade das hidroxilas por moléculas de água.

Nos ensaios de resistência a seco, a incorporação de lignina se mostrou deficiente, induzindo uma queda da resistência à compressão aos CP's de cerca de 29% para concentrações de 3% lignina e 22% para 6% de lignina, conforme é mostrado na Figura 3. De acordo com Sevastyanova et al. (2014), a queda na resistência a seco dos corpos de prova em comparação aos controles pode ser atribuída à reatividade e distribuição desigual das frações de lignina no solo. A lignina parece interferir na formação de uma estrutura coesa e densa após a secagem, possivelmente pela criação de uma rede molecular menos resistente ou pela limitação das ligações fortes entre as partículas de solo e lignina. Essa interação, especialmente após a secagem a 60 °C, pode resultar na redução da resistência à compressão observada no ensaio destrutivo.

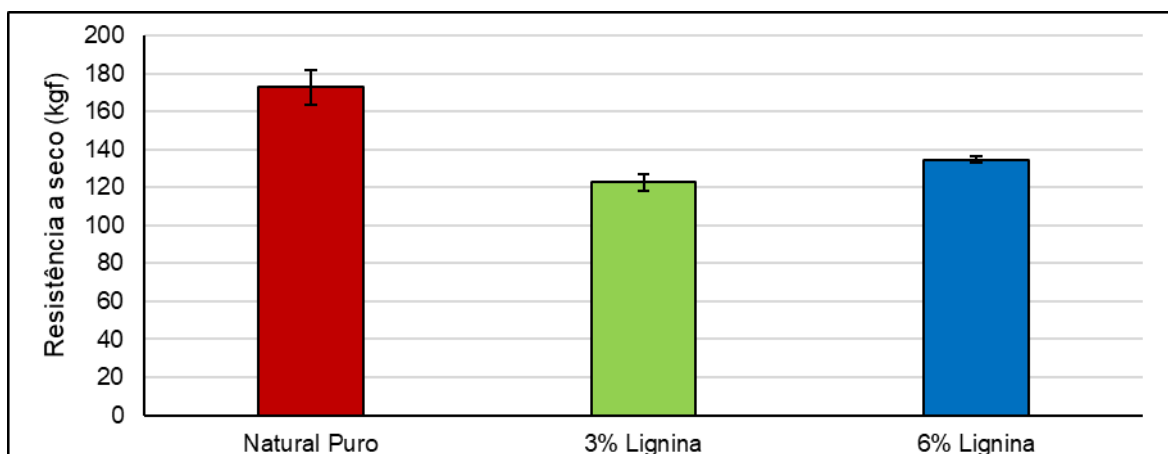


Figura 3 - Resistência à compressão a seco de CP's.

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que a incorporação de lignina à fração fina do solo apresenta um grande potencial para a estabilização de solos expansivos. A adição de lignina nas concentrações de 3% e 6% reduziu significativamente a expansividade do solo. Os dados obtidos ainda sugerem que há uma "concentração ótima" para maximizar os resultados. A concentração de 3% demonstrou o melhor desempenho, com penetração nula da agulha após a reabsorção de água, evidenciando melhores propriedades mecânicas e maior resistência à umidade. Esses resultados confirmam o potencial da lignina como um aditivo sustentável para melhorar propriedades físico-químicas do solo, reduzindo sua suscetibilidade à expansão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- D'ÁVILA, A. M., HAX, S. E FREITAS, P.C. Especificação Expedita de Materiais para Vias Não Pavimentadas - 4^a Aproximação. In: **XI CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA E IV CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA**, 2008, Coimbra, Portugal.
- FORTES, M.R, MERIGHI, J.V. e ZUPPOLINI Neto, A. Método das Pastilhas para Identificação Expedita de Solos Tropicais. In: **2º Congresso Rodoviário Português. Lisboa, Portugal**, 18 a 22/novembro,2002.
- HUANG, J. et al. A state-of-the-art review of polymers used in soil stabilization. **Construction and Building Materials**, v. 305, p. 124685, out. 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124685
- PACHECO, E. P. Uso de prensa manual como alternativa para determinação da compressibilidade de solos agrícolas. Aracaju: **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2010. 6 p. (Comunicado Técnico, 111).
- 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, 15 set. 2014. DOI: 10.1002/app.40799
- TINGLE, J. S. et al. Stabilization Mechanisms of Nontraditional Additives. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1989–2, n. 1, p. 59–67, jan. 2007. DOI: 10.3141/1989-49
- 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, jan. 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.002