XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/75

Caracterização Física e Química de um Solo Laterítico Estabilizado com Resíduo Grits

Angelo Dotto Ragagnin Prior
Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, angelodrprior@hotmail.com

Patricia Rodrigues Falcão
Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, falcao.rodrigues.patricia@gmail.com

Dêreck Hummel Becher
Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, dereckhbecher@gmail.com

José Leonardo dos Santos
Graduando de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, js6400@hotmail.com

Magnos Baroni
Professor, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, magnos.baroni@ufsm.br

RESUMO: O uso recorrente de agentes estabilizadores convencionais em solos, como o cimento Portland, envolve elevados custos energéticos e significativas emissões de CO_2, motivando a busca por alternativas mais sustentáveis. Nesse contexto, destaca-se o resíduo grits, subproduto da indústria de celulose, caracterizado por seu potencial para o melhoramento dos solos, devido à elevada presença de óxido de cálcio (CaO). O presente trabalho tem por objetivo caracterizar física e quimicamente um solo laterítico do Rio Grande do Sul, o resíduo grits e as misturas solo-grits, com teores de adição de 5, 10 e 15 %. As análises compreenderam distribuição granulométrica por peneiramento e sedimentação, granulometria a laser, limites de Atterberg, massa específica dos sólidos, ensaio de compactação e termogravimetria. Os resultados indicaram grande perda de massa entre 600°C e 800°C no grits, associada à decomposição de carbonato de cálcio. Verificou-se aumento do peso específico aparente seco máximo e redução da umidade ótima com a incorporação do resíduo para o ensaio de compactação, além de diminuição da fração argilosa e aumento das frações de silte e areia nas análises granulométricas; tais tendências de resultados são análogas às obtidas com a adição de cimento Portland. Com isso, verifica-se que o resíduo pode ser uma alternativa sustentável, além de contribuir para a pegada de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização, Resíduo, Sustentabilidade, Grits, Celulose, Emissão de $C0_2$.

ABSTRACT: The recurrent use of conventional stabilizing agents in soils, such as Portland cement, involves high energy costs and significant CO_2 emissions, motivating the search for more sustainable alternatives. In this context, grits residue stands out, a byproduct of the pulp industry, characterized by its potential for soil improvement due to the presence of calcium oxide (CaO). The present study aims to physically and chemically characterize a natural lateritic soil from Rio Grande do Sul, the grits residue, and soil-grits mixtures with contents of 5, 10, and 15%. The analyses included particle size distribution by sieving and sedimentation, laser particle size analysis, Atterberg limits, specific mass of solids, compaction test, and thermogravimetry. The results indicated a large mass loss between 600°C and 800°C in the grits, associated with the decomposition of calcium carbonate. An increase in the maximum dry apparent specific weight and a reduction in the optimum moisture content were observed with the incorporation of the residue in the compaction test, in addition to a decrease in the clay fraction and an increase in the silt and sand fractions in the granulometric analyses; such trends are analogous to those obtained with the addition of Portland cement. Thus, it is verified that the residue may be a sustainable alternative, in addition to contributing to the carbon footprint.

KEYWORDS: Stabilization, Residue, Sustainable, Grits, Pulp, Emissions of CO_2.

1 INTRODUÇÃO

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2023) afirma que, ao passo que são aumentadas as emissões de gases do efeito estufa, tornam-se mais recorrentes eventos climáticos extremos. Exemplo disso, foram as precipitações que o sul do Brasil sofreu em 2024, gerando inúmeros problemas geotécnicos. Segundo Cirolini et al. (2024), apenas entre os dias 01 e 05 de maio de 2024, ocorreram 20 deslizamentos de grande proporção na região Centro-Oeste do Rio Grande do Sul. Diante da recorrência de eventos climáticos extremos, a resistência natural do solo tende a ser reduzida, necessitando a implementação de soluções geotécnicas. Portanto, nota-se a importância de pesquisas que abordam possíveis maneiras de melhoramento de solos para a utilização em obras geotécnicas (FILHO et al., 2022; FRATOLOCCHI et al., 2020; ATTOM et al., 2018; CONSOLI et al., 2013; INDIRAMMA et al., 2019).

De forma convencional, a melhoria das propriedades mecânicas dos solos é realizada por meio da incorporação de estabilizantes cimentantes, tais como cal, cimento e cinza volante (DIAMBRA et al., 2018). Contudo, a fabricação desses insumos demanda alto consumo de energia e está relacionada a significativas emissões de CO_2 (DUXSON et al., 2007). Essas observações têm estimulado o desenvolvimento e a adoção de materiais alternativos, ambientalmente sustentáveis e com menor pegada ecológica (SUJATHA et al., 2021). Nesse contexto, destaca-se o resíduo grits, subproduto sólido do processo Kraft da indústria de celulose, caracterizado por sua composição predominantemente cálcica, o que viabiliza seu potencial uso como agente de estabilização de solos. O grits é um resíduo sólido de coloração acinzentada e granulometria diversificada (MAIA et al., 2014). Em geral, o interesse para utilização de grits em solos se deve aos seus constituintes químicos, em especial o óxido de cálcio (CaO), que demonstra um grande potencial para o melhoramento dos solos (PEREIRA et al., 2006).

O resíduo grits é um subproduto não reutilizável dentro do processo de produção da celulose e, em geral, é alocado em aterros industriais. A disposição em aterros é indesejável, devido aos custos para a implantação e manutenção do maciço (MAEDA et al., 2011; BELLOTE et al., 1998). Nessa perspectiva, o emprego do grits para o melhoramento dos solos mostra-se relevante, visto que pode auxiliar não só no melhoramento mecânico, mas também em perspectivas ambientais e econômicas por parte das empresas geradoras. Conforme postulado por Torres et al. (2020), a cada tonelada de celulose produzida cerca de 5 kg de grits são gerados. O Brasil produziu, aproximadamente, 25 milhões de toneladas de celulose em 2022 (IBÁ, 2023), o que representaria 125 mil toneladas de grits que poderiam ser utilizadas para a estabilização dos solos.

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar física e quimicamente um solo laterítico natural do Rio Grande do Sul, o resíduo grits proveniente de uma indústria de celulose do sul do Brasil e as misturas solo-grits com teores de 5, 10 e 15%. Para isso, foram realizadas análises granulométricas a laser, termogravimetria, granulometria por peneiramento e sedimentação, limites de Atterberg, massa específica dos sólidos e ensaios de compactação, de tal forma a possibilitar uma relevante caracterização do solo melhorado com este material.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O solo laterítico em estudo é oriundo do município de Cruz Alta, do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica da Universidade de Cruz Alta, no Rio Grande do Sul, no qual foram coletadas amostras deformadas no primeiro metro de profundidade. O resíduo grits é proveniente de uma fábrica de celulose da região sul do Brasil, sendo a coleta realizada pelos próprios colaboradores e encaminhada para o Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. O grits recebido possuía uma granulometria variada, desde pedregulhos até frações mais finas. Assim, o resíduo foi submetido a um moinho de bolas por 1 hora e passado na peneira de n° 100 (0,15 mm), de modo a apresentar a configuração ilustrada na Figura 1 (c).

A priori, foram realizadas as preparações de cada material para a posterior mistura. O solo foi preparado de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2024), sendo este seco previamente ao ar até atingir sua umidade

higroscópica, destorroado e passado na peneira de n° 10 (diâmetro equivalente a 2,00 mm). O grits passante na peneira n° 100 foi armazenado em ambiente seco com temperatura verificada, sendo contida na margem de 20°C ± 3°C. Após a preparação e acondicionamento dos materiais, foram realizadas as adições de grits ao solo laterítico, as quais foram de 5% de grits, 10% de grits e 15% de grits.

2.2 Plano experimental

Em relação às investigações executadas para o subproduto, avaliou-se o tamanho das partículas do material, por meio da análise granulométrica a laser, e as características térmicas do resíduo pelo ensaio de termogravimetria. Já as análises do solo, bem como das misturas solo-grits, compreenderam os limites de Atterberg (ABNT, 2025a; ABNT, 2025b) análise granulométrica (ABNT, 2025c) e massa específica dos sólidos (ABNT, 2025d).

Os ensaios de compactação para a energia normal foram baseados na normativa DNIT 228 (2023), a qual preconiza a compactação em equipamento de pequeno porte. Tal procedimento foi escolhido,pois, quando comparado com as metodologias tradicionais (como exemplo, Proctor Normal), necessita de uma quantidade menor de material para sua realização. A comparação entre as metodologias de compactação para o solo de referência é apresentada por Becher et al. (2024). Para isso, foi utilizado um molde cilíndrico de 50,0 mm de diâmetro e 130,0 mm de altura, soquete de aço leve de 2270,0 g e altura de queda de 30,5 cm. O número de golpes correspondente para solos lateríticos, nesta energia de compactação, é de 10 golpes, sendo estes aplicados metade em cada face. Para cada ponto da curva de compactação foi separada uma quantidade de 190,0 g de solo, com umidade de 20% ± 1 e passante na peneira n° 10. Com o solo nesta condição, foram adicionadas as porcentagens de grits supracitadas, mantendo as misturas dentro de sacos plásticos por 1 hora, a fim de garantir sua homogeneização. Posteriormente, adicionava-se a água ou não a depender do ponto da curva em análise e realizava-se a compactação do material. Após a compactação, o corpo de prova foi extraído do molde, pesado e anotadas suas dimensões, como também foram retiradas parcelas do seu interior para a aferição da umidade correspondente.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização do grits

A Figura 1 (a) apresenta a análise granulométrica a laser do resíduo, após sua moagem no moinho de bolas. A partir desta, atenta-se para a distribuição de partículas finas (<1000 µm) que compõem o material. Além disso, foi possível identificar o diâmetro equivalente médio das partículas, de 176,83 µm. Os diâmetros equivalentes a 10, 50 e 90% de distribuição foram de 45,91, 133,87 e 364,81 µm, respectivamente.

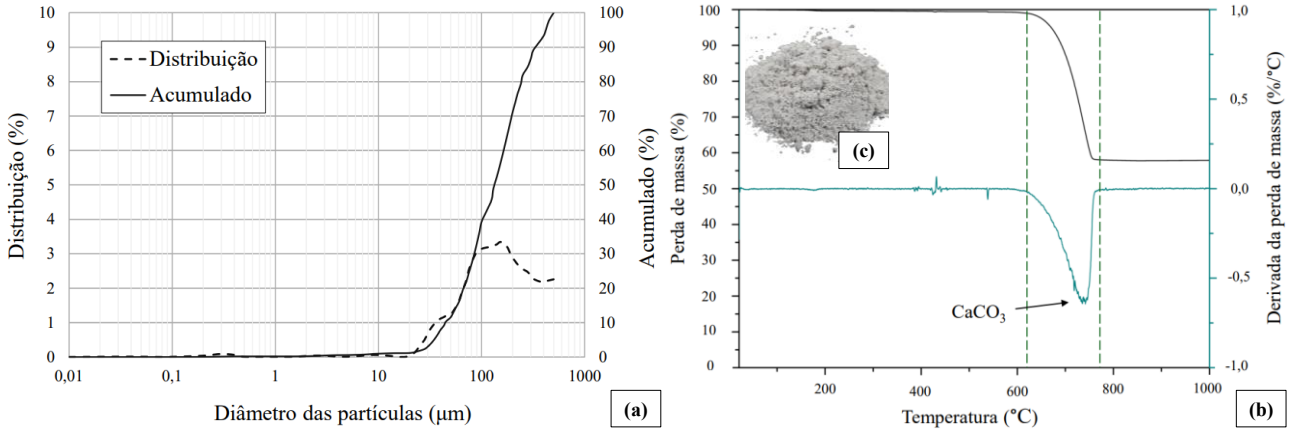


Figura 1. (a) Análise granulométrica a laser; (b) Termogravimetria; (c) Resíduo grits.

A Figura 1 (b) apresenta os resultados da análise termogravimétrica do resíduo grits. A partir desta é possível observar uma perda de massa de, aproximadamente, 93,2% nas temperaturas entre 600°C e 800°C. Esta significativa redução de massa está atrelada, principalmente, à decomposição do carbonato de cálcio ($CaCO_3$), visto que grande parte da composição do resíduo grits é oriunda do CaO, conforme postulado por Oliveira (2024) e Torres et al. (2020). Essas características evidenciam o potencial do resíduo para estabilização de solos argilosos, devido à sua capacidade de troca catiônica e formação de compostos cimentantes.

3.2 Caracterização do solo e das misturas

As análises granulométricas das misturas são demonstradas na Figura 2 (a). As curvas granulométricas foram realizadas com defloculante (CD) e sem defloculante (SD), sendo usado como agente dispersor o hexametafosfato de sódio. Diante disso, é possível verificar que o solo se trata de uma argila areno-siltosa, a qual possui um alto teor de partículas finas, com 65% de argila e 16% de silte, corroborando o índice de plasticidade elevado de 16% (Tabela 1). Os solos lateríticos são formados por processos de lixiviação, que resultam na concentração de materiais cimentantes, como óxidos e hidróxidos hidratados de ferro e alumínio (PAIGEGREEN et al., 2015; FALCÃO et al., 2023). Estes elementos contribuem para a formação de agregações entre as partículas. Dessa forma, pode-se visualizar que, em todos os casos, a utilização de hexametafosfato de sódio auxiliou na dispersão destas agregações, visto que aumentou significativamente a porcentagem de argila nas misturas.

Ressalta-se que, além das cimentações naturais oriundas do processo de formação do solo laterítico, as adições atuaram como um agente cimentante. Esses materiais, ao se hidratarem, formam compostos que preenchem os vazios e conectam as partículas do solo. Maia et al. (2014) realizaram análises granulométricas de um solo com incorporações de grits de 5, 10 e 20%, os autores registraram uma diminuição da quantidade passante na peneira de n° 200 à medida que foi elevada a porcentagem. Para a presente pesquisa, ocorreu um mecanismo semelhante, porém, não para a peneira n° 200, mas sim para diâmetros menores que 0,002 mm (argila).

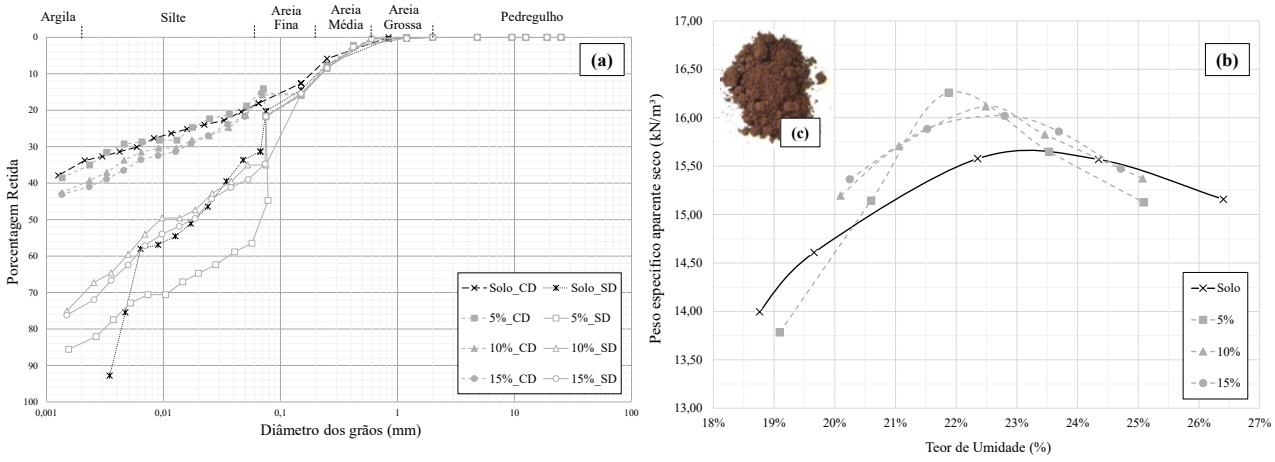


Figura 2. (a) Análise granulométrica; (b) Curvas de compactação; (c) Solo laterítico analisado sem adições.

A Figura 2 (b) contém os resultados dos ensaios de compactação. Diante do exposto, é possível inferir que em todas as misturas existiu um aumento do peso específico aparente seco máximo (γ_d) e uma diminuição da umidade ótima ($W_{ót}$) em relação ao solo, sem adições. Tal comportamento é também evidenciado por Machado et al. (2003) ao incorporarem 10% de grits com diferentes tratamentos térmicos em um solo. Os autores observaram, em todos os casos, um aumento do γ_d e uma diminuição da $W_{ót}$. Além disso, Machado et al. (2007) usaram adição de 24% de grits para dois tipos de solo, um com textura argilosa e outro arenosa, para as energias de compactação intermediária e modificada. No caso do solo argiloso, para os dois tipos de energia de compactação, o γ_d aumentou e a $W_{ót}$ diminuiu em relação ao solo natural, bem como demonstrado no presente estudo.

Cabe mencionar que, ao aumentar o teor de resíduo de celulose de 5%, para 10% e 15%, o $W_{ót}$ aumentou de 21,9%, para 22,1% e 22,5%, respectivamente. Em contraste, o peso específico aparente seco máximo diminuiu de 16,30, para 16,25 e 16,20 kN/m³, respectivamente. Nesse contexto, conforme obtido no ensaio de termogravimetria, o resíduo usado apresenta um percentual de 93,2% de $CaCO_3$, o que faz com que seus resultados sejam comparáveis aos da cal, que também contém uma quantidade significativa desse componente. Tang et al. (2023) verificaram que o aumento da dosagem de cal hidratada resulta em um aumento no teor ótimo de umidade e uma leve diminuição no γ_d, assim como identificado na Figura 2 (b). Esses resultados são consistentes com os encontrados por Osinubi (1998) e Millogo et al. (2012), que observaram tendências semelhantes na relação entre a adição de estabilizantes com alto percentual de $CaCO_3$ e as propriedades do solo.

A Tabela 1 evidencia os resultados dos limites de consistência. Ao adicionar 10% e 15% de resíduo, o limite de plasticidade (LP) diminuiu, em termos totais, 17,8% e 20,4%, com relação ao incremento de 5% de grits, respectivamente. Já quando ponderado o limite de liquidez (LL), estes mesmos decréscimos foram de 24,7% e 25,2%. Pereira (2005) avaliou os limites de consistência para dois solos com incrementos de grits, no caso do solo com textura mais argilosa, para porcentagens de grits entre 4 e 28%, o LP manteve-se constante, sem grandes variações, corroborando os resultados apresentados na Tabela 1, na qual a adição de grits resultou em um desvio padrão de 8,5. Considerando o estudo supracitado, quando mencionado o LL, existiu um decréscimo com relação à amostra de referência (solo) e posteriormente, uma estabilização nos valores de LL. Para o presente estudo, a estabilização do LL também ocorreu após uma certa quantidade de resíduo, entretanto, ao invés de um decréscimo com relação ao solo, para a porcentagem de 5%, ocorreu um acréscimo.

Tabela 1. Limites de consistência e peso específico real dos grãos.

Material	Limite de plasticidade (%)	Limite de liquidez (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico real dos grãos (kN/m³)
Solo	30,0	46,0	16,0	27,32
5%	30,9	58,7	27,8	25,47
10%	25,4	44,2	18,9	25,59
15%	24,6	43,9	19,3	25,69

A Tabela 1 também apresenta os resultados de peso específico real dos grãos (γ_s). O peso específico real dos grãos de 27,32 kN/m³ para o solo justifica-se em virtude da presença de óxidos de ferro, os quais tendem a elevar a massa específica dos sólidos. Somada a isso, a classificação visual de um latossolo vermelho-escuro com textura argilosa (Figura 2 (c)), corrobora com materiais oriundos do intemperismo de rochas basálticas e com as características descritas ao longo do artigo. Nessa perspectiva, observa-se que o incremento de grits tende a reduzir o γ_s em relação ao solo isolado. A amostra com 5% de grits apresenta um γ_s de 25,47 kN/m³, representando uma redução de, aproximadamente, 6,8%, em relação ao valor de 27,32 kN/m³ do solo de referência. Quando a quantidade de grits aumenta para 15%, o γ_s é de 25,69 kN/m³, resultando em uma redução de 6,0%, em comparação ao solo original. Pereira (2005) afirmou que essa queda no valor do γ_s é esperada, uma vez que o resíduo apresenta um baixo valor para esse índice.

4 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo caracterizar física e quimicamente um solo laterítico, o resíduo grits e as misturas solo-grits com teores de 5%, 10% e 15%, visando avaliar o potencial do resíduo como agente estabilizante. Para isso, foram realizados ensaios de caracterização granulométrica, termogravimetria, limites de Atterberg, massa específica dos sólidos e ensaios de compactação.

Os resultados indicaram que o grits apresenta predominância de partículas finas e composição majoritariamente associada ao $CaCO_3$, evidenciada pela significativa perda de massa observada na análise termogravimétrica entre 600°C e 800°C. Esse comportamento confirma a natureza predominantemente cálcica do resíduo e reforça seu potencial de atuação como agente modificador das propriedades físico-químicas do solo.

A incorporação do resíduo promoveu alterações na distribuição granulométrica das misturas, com redução da fração argilosa e aumento relativo das frações de silte e areia, além de evidenciar efeitos associados à agregação e à cimentação entre partículas, especialmente quando analisadas as curvas com e sem defloculante.

Nos ensaios de compactação, verificou-se que a adição de grits resultou em aumento do peso específico aparente seco máximo e redução da umidade ótima em relação ao solo de referência. Entretanto, com o aumento progressivo do teor de grits, observou-se elevação da umidade ótima e pequena redução do peso específico seco máximo, comportamento compatível com materiais ricos em cálcio.

Quanto aos limites de consistência, a incorporação de grits promoveu alterações tanto no limite de liquidez quanto no limite de plasticidade, evidenciando redução progressiva desses parâmetros para teores mais elevados do resíduo, com tendência de estabilização dos valores nas maiores dosagens avaliadas. Além disso, observou-se diminuição do peso específico real dos grãos com o aumento do teor de grits, comportamento esperado em função da menor massa específica do resíduo em comparação ao solo laterítico.

De modo geral, os resultados demonstram que o resíduo grits possui potencial técnico para aplicação na estabilização de solos lateríticos, contribuindo simultaneamente para o aproveitamento de um subproduto industrial e para a mitigação de impactos ambientais associados à sua disposição em aterros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo à pesquisa e à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) por todo o apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2024). NBR 6457. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025a). NBR 6459. Solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025b). NBR 7180. Solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025c). NBR 7181. Solo - Análise Granulométrica. Rio de janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025d). NBR 17212. Determinação da massa específica dos sólidos da fração passante na peneira com abertura de 2,0mm. Rio de Janeiro.

Attom, M. F., El-Emam, M. M., Khan, Z. H., Vandanapu, R. (2018) Reducing the collapsibility of clay using a cement-polymeric fibre admixture. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 171, p. 38-48.

Becher, D. H., Falcão, P., Pascoal, P. T., Baroni, M., Cirolini, M., Nascimento, L. A., Prior, A. D. R. (2024) Diferentes metodologias de compactação em dois solos do Rio Grande do Sul, Brasil: análise no impacto de parâmetros. Revista Caderno Pedagógico, 21(7).

Bellote, A. F. J., Silva, H. D., Ferreira, C. A., Andrade, G. C. (1998) Resíduos da indústria da celulose em plantios florestais. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 37, p. 99-106.

Cirolini, M. F., Pascoal, P. T., Becher, D. H., Baroni, M. (2024) Resiliência climática sob ponto de vista da Geotecnia de infraestrutura rodoviária. *Revista Estradas*.

Consoli, N. C., Festugato, L., Rocha, C. G., Cruz, R. C. (2013) Key parameters for strength control of rammed sand-cement mixtures: Influence of types of portland cement. *Construction and Building Materials*, 49, p. 591-597.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2023). DNIT 228–ME. Solos - Ensaios de compactação em equipamento miniatura - Método de Ensaio. Rio de Janeiro.

Diambra, A., Festugato, L., Ibraim, E., Peccin da Silva, A., Consoli, N. C. (2018) Modelling tensile/compressive strength ratio of artificially cemented clean sand. *Soils and Foundations*, 58(1), p. 199-211.

Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., van Deventer, J. S. J. (2007) Geopolymer technology: the current state of the art. *Journal of Materials Science*, 42(9), p. 2917-2933.

Falcão, P., Baroni, M., Masutti, G. C., Pinheiro, R. J. B., Fagundes, D. F. (2023) Assessment of the impact of inundation on the strength of lateritic and collapsible soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 41, p. 4761-4773.

Filho, H. C. S., Miguel, G. D., Consoli, N. C. (2022) Durability response of a cemented clayey sand over a wide range of porosities and cement contents. *Cleaner Materials*, 5, p. 100-117.

Fratalocchi, E., Sante, M., Mazzieri, F., Pasqualini, E. (2020) Prediction of shear strength parameters in soil–lime mixture design - part 2: hydrated lime. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 3, p. 159-169.

Indiramma, P., Sudharani, C., Needhidasan, S. (2020) Utilization of fly ash and lime to stabilize the expansive soil and to sustain pollution free environment – An experimental study. *Materialstoday: Proceedings*, 22, p. 694-700.

Industria Brasileira de Árvores - IBÁ. (2023) *Relatório Anual IBÁ, 2023*. Disponível em: <https://www.iba.org/publicacoes/relatórios>. Acesso em: setembro. 2024.

Machado, C. C., Pereira, R. S., Pires, J. M.M. (2003) Influência do tratamento térmico do resíduo sólido industrial (grits) na resistência mecânica de um latossolo para pavimentos de estradas florestais. *Revista Árvore*, 27(4).

Machado, C. C., Pereira, R. S. P., Lima, D. C., Carvalho, C. A. B., Pires, D. M. (2007) Caracterização tecnológica de mistura solo-grits para pavimentos de estradas florestais: influência do tratamento térmico do grits na resistência mecânica das misturas. *Revista Árvore*, 31(3), p. 487-494.

Maeda, S., Silva, H. D., Costa, E. R. O., Bognola, I. (2011) Aplicação de lodo celulósico em plantio de pínus. *Colombo: Embrapa Florestas*.

Maia, E. S., Souza, M. M., Aguiar, M. F. P., Oliveira, F. H. L. (2014) Estudo do melhoramento de solo com utilização de resíduo de indústria de celulose. *Revista Tecnologia, Fortaleza*, 35(2), p. 78–88.

Millogo, Y., Morel, J., Traoré, K., Ouedraogo, R. (2012) Microstructure, geotechnical and mechanical characteristics of quicklime-lateritic gravels mixtures used in road construction. *Construction and Building Materials*, 26(1), p. 663-669.

Paigegreen, P., Pinard, M., Netterberg, F. (2015) A review of specifications for lateritic materials for low volume roads. *Transportation Geotechnics*, 5, p. 86-98.

Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. (2023) *Mudança do Clima, 2023*. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-omcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf>. Acesso em: outubro. 2025.

Pereira, R.S. (2005) *Viabilidade técnica do emprego de resíduos da indústria de celulose para construção de estradas florestais*. Universidade Federal de Viçosa / UFV.

Pereira, R. S., Machado, C. C., Lima, D. C. (2006) Compactação de misturas solo-grits para emprego em estradas florestais: influência do tempo decorrido entre mistura e compactação na resistência mecânica. *Revista Árvore*, 30(3), p. 421-427.

Oliveira, Y. S., Costa, E. B. C., Motta, L. A. (2024) Uso de dregs e grits em substituição parcial ao cimento: caracterização e resistência mecânica. *Ambiente Construído*, 24.

Osinubi, K. J. (1998) Permeability of lime-treated lateritic soil. *Journal of Transportation Engineering*, 124(5).

Sujatha, E. R., Atchaya, S., Sivasaran, A., Keerdthe, R. S. (2021) Enhancing the geotechnical properties of soil using xanthan gum—an eco-friendly alternative to traditional stabilizers. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80, p. 1157-1167.

Tang, K., Zeng, F., Shi, L., Zhu, L., Chen, Z., Zhang, F. (2023) Mechanical behavior of hydrated-lime-liquid-stabilizer-treated granular lateritic soils. *Sustainability*, 15(10).

Torres, C. M., Silva, C.M., Pedroti, L.G., Fernandes, W. E. H., Ballotin, F. C., Zanuncio, A. J. V. (2020) Dregs and grits from kraft pulp mills incorporated to Portland cement clinker. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, p. 851-861.