



## Viabilidade de misturas de solo laterítico argiloso com cinza do bagaço da cana para construção de estradas rurais

### *Feasibility of lateritic clayey soil mixed with sugarcane bagasse ash for the construction of rural roads*

Gabriela Oliveira Baracho<sup>1</sup>, Natalia de Souza Correia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil

Contato: [barachogabriella@gmail.com](mailto:barachogabriella@gmail.com)

#### Palavras-Chave

estradas rurais  
solo laterítico  
resíduos industriais  
cinza  
ação pozolânica

#### Key-word

rural roads  
lateritic soil  
industrial waste  
ash  
pozzolanic action

#### RESUMO

A necessidade da redução do uso de recursos naturais é premissa para o desenvolvimento sustentável, unida a propagação do ideal de construções com a utilização de materiais locais, onde se destaca-se o uso de agrowastes. Estudos com cinzas do bagaço da cana-de-açúcar tem demonstrado potencial viabilidade na substituição parcial de solos naturais para a construção de estradas rurais. Neste estudo, são avaliadas propriedades de um solo laterítico argiloso misturado com cinzas do bagaço da cana (5%, 10%, 15% e 20% em massa de solo seco) por meio de análises físicas, químicas e mecânicas. Foram realizados ensaios de limites de consistência, compactação, resistência à compressão simples (7 e 28 dias), pH, bem como avaliação de retração em amostras compactadas. A adição da cinza reduziu a plasticidade e alterou significativamente os parâmetros de compactação do solo natural. Verificou-se que a cinza promoveu maior resistência ao solo. Quanto ao tempo de cura, verificou-se maiores incrementos de resistência à compressão para 28 dias, confirmando a ação pozolânica da cinza da cana. Verificou-se tendência de aumento do pH com o acréscimo de cinza e não interferência nas cargas elétricas do solo. Verificou-se que existe uma influência do teor de cinza no desenvolvimento de trincas de dessecação neste solo.

#### ABSTRACT

*The need to reduce the use of natural resources is a premise for sustainable development, together with the propagation of the ideal of building structures with the use of local materials, as the use of agrowastes. Studies with sugarcane bagasse ash (5%, 10%, 15% and 20% in soil dry mass) have demonstrated potential feasibility in partially replacing natural soils for the construction of rural roads. In this study, properties of a lateritic clayey soil mixed with sugarcane bagasse ash are presented through physical, chemical and mechanical tests. Consistency limit, compaction, unconfined compressive strength (7 and 28 days), pH, as well as shrinkage in compacted samples, were evaluated. Sugarcane bagasse ash were used in relation to dry mass of soil. The addition of sugarcane ash reduced plasticity and significantly altered the soil compaction parameters. It was found that sugarcane bagasse ash promoted superior strength to the clayey soil. As for the curing time, larger increments of compressive strength occurred for 28 days, confirming the pozzolanic action of the sugarcane ash. A trend of increase in pH with the addition of sugarcane ash was evidenced, not interfering soil electric charges. Research evidenced an influence of the ash content in the development of desiccation cracks in the soil.*

#### Informações do artigo

Recebido: 31 de janeiro, 2020  
Aceito: 24 de maio, 2021  
Publicado: 31 de agosto, 2021

## Introdução

A utilização dos resíduos agroindustriais assiste à redução do consumo de energia e da degradação ambiental causada pela disposição destes no meio ambiente, tornando a reciclagem e a reutilização uma alternativa bastante atrativa. Um dos resíduos agroindustriais que são potencialmente aplicados como material de reuso, são as cinzas do bagaço da cana. Neste caso, a usina promove a queima do bagaço da cana-de-açúcar para a produção de energia, a qual gera a cinza em grande quantidade. O bagaço de cana consiste em aproximadamente 50% de celulose, 25% de hemiceluloses e 25% de lignina (MAHESH et al., 2017). O teor de carbono é responsável pela cor preta das cinzas e é provavelmente o resultado de condições de combustão descontroladas (KATARE e MADUWAR, 2017).

Com relação ao reuso e aplicações de cinzas na estabilização de solos, estudos tem demonstrado que cinzas podem atuar como agentes estabilizadores para a substituição total ou parcial de estabilizadores químicos de solo tradicionais, como o cimento e a cal (HATMOKO e SURYADHARMA, 2017; YADAV et al., 2017, SILVA, 2017, BHOI et al. 2020, MOURA et al. 2021). Mehta e Parikh (2018), ao adicionar 5% de cinzas de bagaço de cana observaram um aumento de 2,5 vezes na resistência de um solo argiloso. Salahudeen et al. (2017) observaram um aumento da resistência à compressão de um solo argiloso em 3 vezes, ao adicionar 8% de cinzas a este solo. Na pesquisa de Yadav et al. (2017), a resistência à compressão do solo misturado com 7,5% de cinza do bagaço da cana aumentou em 27%. Masued (2017) avaliou, além do comportamento físico e de compactação de misturas de cinza do bagaço da cana com solo argiloso, seu comportamento químico, mostrando o potencial pozolânico deste material. Hasan et al. (2016) apresenta em seus resultados de resistência à compressão simples que, o uso de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com adição de cal, misturados a um solo argiloso de alta plasticidade, é mais efetivo do que apenas com cal. De acordo com Bueno et al. (2009), apesar da eficiência da argila compactada, estas podem apresentar contração das camadas, resultando em trincas e, conseqüentemente, diminuição de sua eficiência.

Assim, esta pesquisa tem como objetivo avaliar as propriedades geotécnicas de um solo laterítico argiloso do interior de São Paulo, misturado com cinzas do bagaço da cana-de-açúcar para fins de reuso na construção de estradas rurais.

## Materiais e Métodos

O solo utilizado nesta pesquisa consiste em uma argila laterítica residual de basalto, proveniente de uma jazida localizada no Jardim Parque Florida na cidade de Santa Gertrudes-SP. De forma a conhecer as propriedades do solo, foram realizados os ensaios de Granulometria (ABNT NBR 7181), Massa Específica dos grãos (ABNT NBR 6458), Limite de Liquidez (ABNT NBR 6459), Limite de Plasticidade (ABNT NBR 7180), Parâmetros de

compactação dos solos (ABNT NBR 7182), Difração de Raio-X (ASTM D4452-14) e Ph (Embrapa, 2011).

As cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) utilizadas nesta pesquisa foram fornecidas por uma usina localizada na cidade de Jaú, no interior do estado de São Paulo. A Figura 1 apresenta as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar que foram utilizadas nesta pesquisa.

Figura 1. Cinzas do bagaço da cana-de-açúcar utilizadas na pesquisa



Fonte: Autores (2021)

De modo a preparar as misturas solo-cinza, o solo foi destorroado, seco ao ar, passado na peneira #4 e manualmente misturado até que a amostra apresentasse aspecto homogêneo. As CBCA foram peneiradas na malha 4.8 mm previamente antes da mistura com o solo, para remoção de grandes partículas. Posteriormente, para a confecção das misturas, adicionou-se os teores de 5, 10, 15 e 25% de CBCA, sendo cada um desses teores em relação à massa seca do solo. Os incrementos de teor de CBCA foram determinados em 5 (cinco) unidades percentuais de forma que as possíveis alterações no comportamento do solo pudessem ser evidenciadas.

Para identificar alterações na plasticidade das misturas solo-cinza, foram realizados ensaios de limites liquidez e plasticidade, respectivamente, de acordo com ABNT NBR 7180 (ABNT, 2016) e ABNT NBR 6459 (ABNT, 2016).

De forma a verificar alterações nos parâmetros de compactação devido à presença das cinzas, foram realizados ensaios de compactação (energia Proctor Normal), de acordo com a ABNT NBR 7182 (ABNT, 1986). Com os resultados dos teores ótimos de compactação para cada situação, procedeu-se a moldagem dos corpos-de-prova (com grau de compactação de 95%) para a realização dos ensaios de resistência à compressão uniaxial.

Os ensaios de resistência à compressão uniaxial não confinada foram conduzidos de acordo com ABNT NBR 12025 (ABNT, 2012) de modo a verificar as alterações no comportamento de resistência do solo após a adição das cinzas.

Os corpos de prova foram rompidos após 7 e 28 dias de moldagem. Para a aceitação dos resultados, utilizou-se um coeficiente de variação máximo de 15% entre três corpos de prova ensaiados.

Para avaliar o comportamento das misturas com CBCA quanto a alterações no pH e cargas elétricas, foram realizados ensaios conforme especificações do Manual da Embrapa (2011), realizando-se os ensaios de pH em água e KCL.

Já para identificar trincas de dessecação, as amostras de mistura solo-cinza da cana nos teores de 5 a 20%, bem como o solo natural, foram compactadas com teor de umidade 10% acima da ótima (próximo ao limite de liquidez), em cápsulas de 5 cm de diâmetro e colocadas em estufa a 60°C por um período de 15 dias. Análise similar foi realizada por Wan et al. (2019).

## Resultados e Discussões

### Propriedades do solo

A Tabela 1 reúne os resultados das propriedades geotécnicas do solo utilizado. A Figura 2 apresenta os resultados do ensaio de Difração de Raio-X do solo, o qual apresenta os principais argilominerais encontrados na amostra de solo natural. De acordo com a análise de difração de raios-X, os argilominerais predominantes neste solo são Caulinita, Illita e Hematita. Nestes solos, é comum a agregação de partículas de argila e silte, devido à ação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que geram características típicas de comportamento de solos laterizados.

De acordo com a Tabela 1, verifica-se que o solo, apesar de ser classificado como uma argila, apresenta considerável parcela de areia, resultante da agregação de partículas e presença de quartzo. Este comportamento também é comum em solos lateríticos.

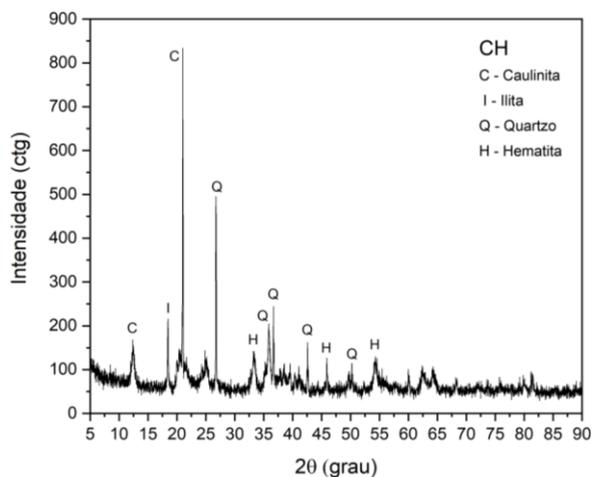
Tabela 1. Propriedades do solo argiloso

Propriedade	Valor	Referência
Fração areia (%)	36,0	ABNT NBR 7181
Fração silte (%)	14,0	
Fração argila (%)	50,0	
Peso específico dos grãos (kN/m <sup>3</sup> )	2,9	ABNT NBR 6458
Limite de liquidez (%)	51,0	ABNT NBR 6459
Limite de plasticidade (%)	29,0	ABNT NBR 7180
Índice de plasticidade (%)	22,0	-
Peso específico seco máx (g/cm <sup>3</sup> )	1,705	ABNT NBR 7182
Teor de umidade ótimo (%)	24,0	

Fonte: Autores (2021)

De acordo com os resultados, este solo é classificado como argila inorgânica de alta plasticidade ou *high plasticity clay* (CH) na classificação unificada dos solos (SUCS) (ASTM D2487 - 17e1) e classificado como solo laterítico LG' na classificação metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) desenvolvida para caracterizar solos tropicais com fins de utilização em pavimentos de baixo custo (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Figura 2. Difração de Raio-X do solo



Fonte: Autores (2021)

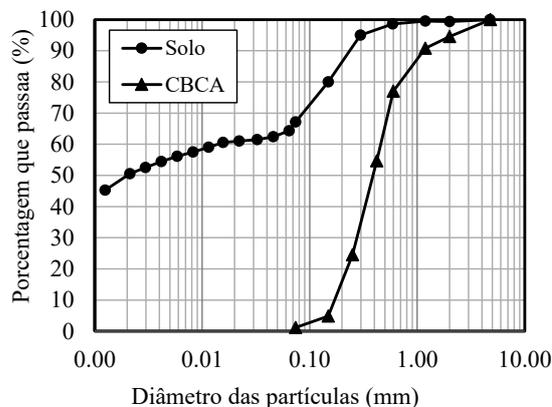
A Figura 3 apresenta a mistura de solo com 20% de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. A Figura 4 apresenta uma comparação entre as curvas granulométricas dos materiais, evidenciando a fração mais granular da CBCA em relação ao solo argiloso.

Figura 3. Mistura de solo argiloso com 20% de CBCA



Fonte: Autores (2021)

Figura 4. Comparação entre curvas granulométricas do solo argiloso e da CBCA



Fonte: Autores (2021)

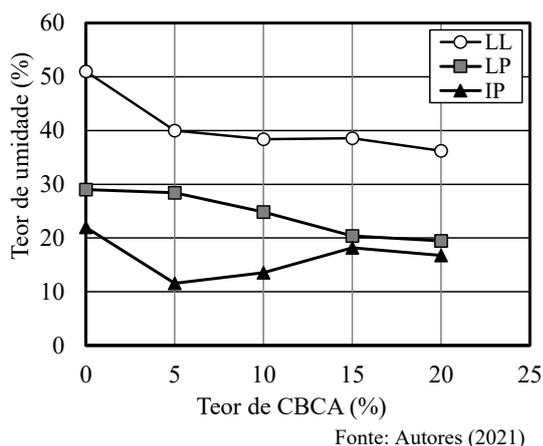
### Análise da plasticidade das misturas solo-cinza da cana

A Figura 5 apresenta as alterações nos limites de liquidez (LL), limites de plasticidade (LP) e índices de plasticidade (IP) das misturas solo-cinza da cana. Verifica-se nas análises que a presença da CBCA reduziu significativamente os LL do solo.

Já os LP foram reduzindo de forma gradativa com o aumento do teor de CBCA. Em consequência, o Índice de plasticidade (IP) do solo argiloso foi alterado para os teores de 5 e 10% de cinza, apresentando menores valores. No entanto, para maiores teores de CBCA, ou seja, com uma maior parcela fina presente no solo devido à adição de cinzas, o IP aumentou novamente, embora não tenha atingido o valor inicial do solo natural.

Assim, as CBCA adicionadas ao solo promoveram uma melhor condição para o solo quanto à plasticidade e conseqüente comportamento de deformação na presença de água. Em geral, solos com menores IPs são preferidos para a construção de estradas ou sub-base de pavimentos rodoviários por serem menos plásticos.

Figura 5. Limites de consistência das misturas solo argiloso com diferentes teores de cinza

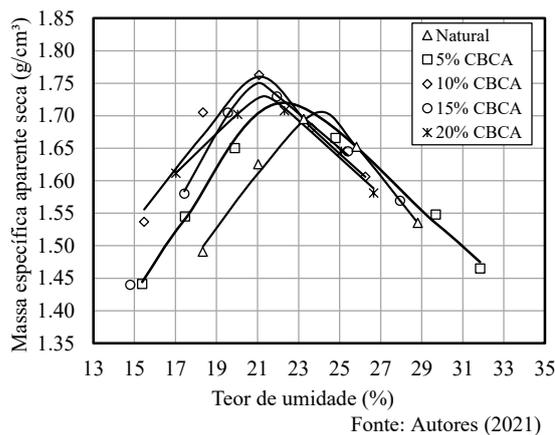


### Análise dos parâmetros de compactação das misturas solo-cinza da cana

A Figura 6 apresenta as curvas de compactação do solo argiloso comparadas com cada uma das curvas de compactação das misturas com CBCA avaliadas. Verifica-se na Figura 6, que a adição da CBCA ao solo natural alterou o comportamento da curva de compactação dos solos. De modo geral, é esperado que para solos mais grossos, a curva se desloque para a esquerda (menores teores de umidade) e para cima (maiores valores de massa específica aparente seca).

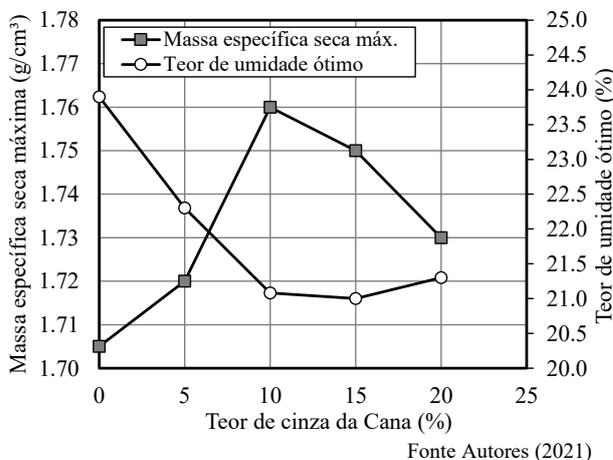
Este comportamento ocorre devido a presença de materiais com partículas grossas, como é o caso das partículas da cinza da cana em relação as partículas do solo argiloso (Figura 4).

Figura 6. Curvas de compactação do solo argiloso natural comparado com misturas de CBCA



A Figura 7 apresenta as alterações nos parâmetros ótimos de compactação das misturas solo argiloso com diferentes teores de cinza em comparação aos parâmetros de compactação do solo argiloso natural. Observa-se na Figura 6 que a adição das cinzas alterou a massa específica aparente seca do solo de 1,705 g/cm³ para até 1,76 g/cm³ com a adição de cinza. Já o teor de umidade ótimo de compactação foi alterado de 24% para até 21%. Estes resultados foram utilizados na confecção dos corpos-de-prova para a realização dos ensaios de resistência à compressão uniaxial, para cada condição de mistura CBCA avaliada.

Figura 7. Parâmetros ótimos de compactação do solo natural e das misturas com diferentes teores de CBCA

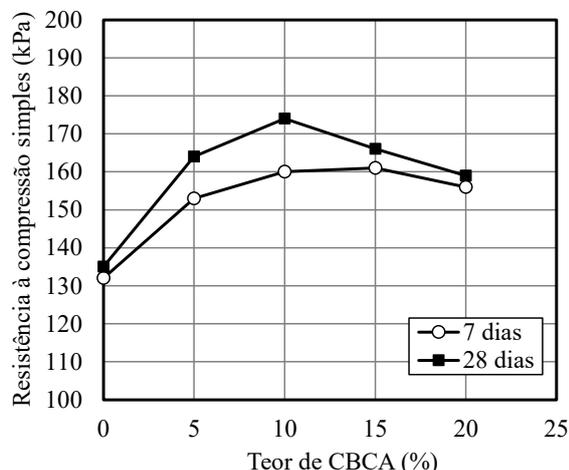


### Análise da resistência e deformabilidade das misturas solo-cinza

Na Figura 8, são apresentados os resultados das tensões de ruptura à compressão uniaxial para misturas solo-CBCA realizados após 7 e 28 dias de cura. Os resultados referem-se a curvas obtidas para pelo menos dois corpos-de-prova, com coeficiente de variação abaixo de 15%. Ainda na Figura 8, verifica-se que a adição de CBCA causou um aumento na resistência à compressão uniaxial do solo argiloso natural, o que foi verificado com todos os teores de cinza, tanto para 7 dias como para 28 dias de cura. Quanto ao tempo de cura, verificou-se maiores incrementos de resistência à compressão para 28 dias para todos os teores de CBCA, confirmando a ação

pozolânicas da cinza. Os resultados apresentaram valores de resistência à compressão uniaxial entre 150 e 155 kPa após 7 dias de cura e 158 e 174 kPa após 28 dias de cura. As Figuras 8 e 9 apresentam os corpos de prova pós-ruptura à compressão uniaxial, respectivamente após 7 e 28 dias.

Figura 8. Tensões máximas de ruptura à compressão do solo argiloso com diferentes teores de cinza e dias de cura



Fonte Autores (2021)

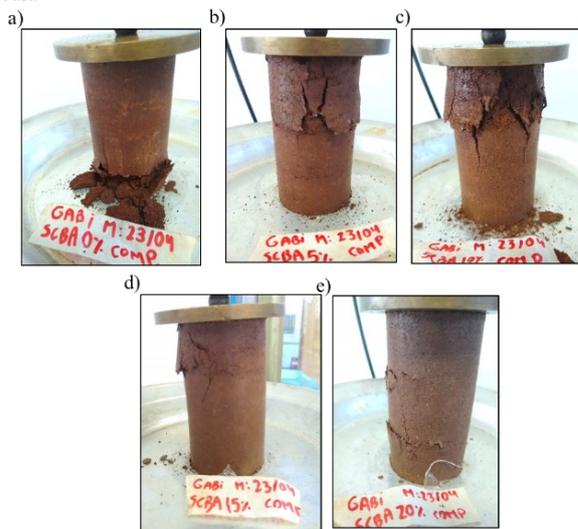
Observa-se também na Figura 8 que, para 10% de teor de cinza no solo argiloso, foram obtidas as maiores resistências à compressão atingindo um aumento de cerca de 32%. Esse resultado deve-se, provavelmente, aos resultados de compactação, onde a massa específica aparente seca máxima teve aumento expressivo para o teor de cinza de 10%. Estes resultados corroboram com os resultados do estudo de Yadav et al. (2017), onde um comportamento similar foi visto com solo misturado com 7,5% de cinza do bagaço da cana, com aumentos de 27% na resistência à compressão uniaxial em comparação ao solo natural. No entanto, os resultados desta pesquisa foram inferiores aos resultados das pesquisas de Mehta e Parikh (2018) e Salahudeen et al. (2017), onde verificou-se no mínimo 2,5 vezes de incremento na resistência à compressão do solo com CBCA. As Figuras 9 e 10 apresentam os corpos de prova pós-ruptura à compressão uniaxial após 7 e 28 dias, respectivamente.

De modo geral, nesta pesquisa, o incremento mínimo de resistência à compressão do solo foi de 18%, evidenciando a potencial aplicação da CBCA para melhorar a capacidade de carga de solos argilosos. Tal como evidenciado por Lal et al. (2020), o uso da cinza do bagaço da cana em aplicações geotécnicas melhora características geotécnicas de solos com características mais compressíveis.

De acordo com DNER-ME 201/94 (1994), misturas solo-cimento devem apresentar o valor mínimo de 2,1 MPa (210 kPa) de resistência à compressão uniaxial aos 7 dias para uso como camada de pavimento. Assim, as misturas utilizadas nesta pesquisa não poderiam ser utilizadas para camadas de bases de pavimentos, porém apresentaram resultados satisfatórios para se enquadrarem como camada de solo estabilizado para uso em sub-bases (DNER-ME180-94, 1994) com resistência à compressão uniaxial aos 7 dias entre 1,2 a 2,1 MPa (120 e 210 kPa).

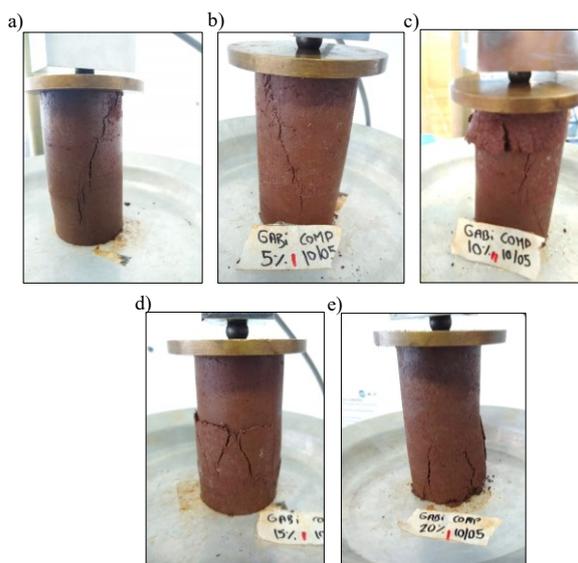
Como verificado na Figura 7, o valor mínimo obtido para misturas solo-CBCA foi de 150 kPa após 7 dias de cura e 5% de CBCA.

Figura 9. Corpos de prova pós-ruptura à compressão uniaxial após 7 dias de cura



Fonte Autores (2021)

Figura 10. Corpos de prova pós-ruptura à compressão uniaxial após 28 dias de cura



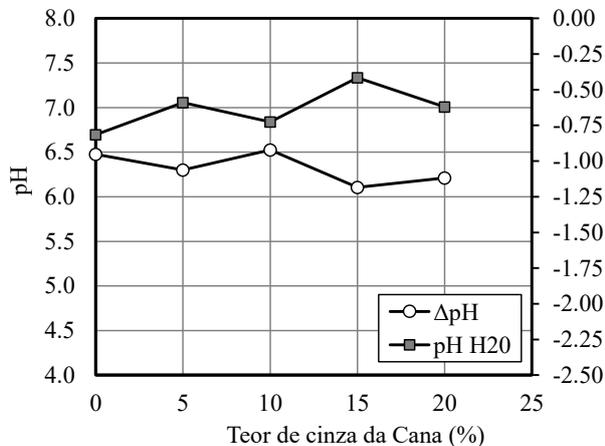
Fonte Autores (2021)

## Análise do pH das misturas solo-cinza da cana

A Figura 11 apresenta os resultados de  $pH_{H_2O}$  do solo argiloso com diferentes teores de cinza, bem como resultados de  $\Delta pH$ . O pH exerce uma grande influência em solos tropicais devido a presença de minerais de cargas variáveis. Já o  $\Delta pH$  pode ser um indicativo da instabilidade mineralógica do solo. Na Figura 10, são apresentados os resultados das análises de  $pH_{H_2O}$  das misturas solo-cinza da cana, bem como as análises  $\Delta pH$  correspondentes as análises de  $pH_{KCl} - pH_{H_2O}$ . De acordo com os resultados da Figura 11, houve tendência de aumento do pH com o acréscimo de cinza da cana, levando o solo a uma condição mais básica ( $pH > 7.0$ ).

De acordo com Bhoi (2020), isso se deve o pH da CBCA ser em torno de 8. Poucas alterações foram observadas nos valores de  $\Delta pH$ , mantendo-se negativo para todo os teores de cinza da cana, não interferindo assim nas cargas elétricas do solo.

Figura 11. Resultados de  $pH_{H_2O}$  do solo argiloso com diferentes teores de cinza



Fonte Autores (2021)

### Análise de trincas de dessecação

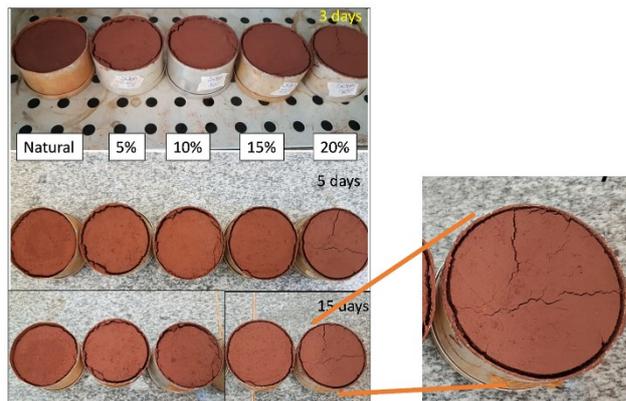
A Figura 12 apresenta imagens das trincas de dessecação na superfície das amostras compactadas de solo-cinza em comparação ao solo natural. Verifica-se na Figura 12 que a amostra de solo natural e as amostras até 15% de CBCA não desenvolveram trincas de dessecação no tempo estudado, enquanto a amostra com 20% já apresentou trincas.

Trincas de borda mais significativas foram verificadas nas amostras de solo natural, seguidas de amostras com 5 e 10%, sendo que a amostra com 15% de cinza da cana apresentou melhor comportamento. Embora o desenvolvimento de trincas tenha sido aleatório, verificou-se que existe uma influência do teor de CBCA no desenvolvimento de trincas de dessecação desse solo argiloso, que de modo geral, não ocorreram significativamente até 15% de CBCA.

Os resultados corroboram com a resposta dos ensaios mecânicos, onde o melhor comportamento de incremento de resistência ocorreu para os teores de CBCA entre 5 e 15%.

De modo geral, esta análise de trincas pode indicar um aumento na taxa de evaporação da água do solo, criando canais para movimentação de água (WAN et al. 2019), fazendo com o solo não recupere seu estado original e tenha sua capacidade de suporte reduzida.

Figura 12. Imagens das trincas de dessecação na superfície das amostras compactadas de solo-cinza



Fonte Autores (2021)

## Conclusões

Neste estudo, foram avaliadas propriedades de um solo laterítico argiloso misturado com cinzas do bagaço da cana por meio de análises físicas, químicas e mecânicas. Verificou-se que a adição das cinzas reduziu a plasticidade e alterou significativamente os parâmetros ótimos de compactação do solo, principalmente reduzindo o teor de umidade ótimo e elevando a massa específica aparente seca máxima. A adição de cinzas no solo argiloso comprovou ainda que a resistência à compressão uniaxial do solo foi aumentada, e que é influenciada também pelo tempo de cura. Com relação a aplicabilidade das misturas utilizadas nesta pesquisa, estas não poderiam ser utilizadas para bases de pavimentos, mas se enquadrariam como solo tratados para uso em sub-bases de pavimentos. Quanto às análises químicas, foram verificadas tendências de aumento no pH do solo para todos os teores de cinza da cana, e não foi verificada interferência nas cargas elétricas do solo. Verificou-se que existe uma influência do teor de cinza no desenvolvimento de trincas de dessecação deste solo argiloso.

## Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

## Referências

- ABNT NBR 6459. **Solo – Determinação o limite de liquidez.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT NBR 7180. **Solo - Determinação do limite de plasticidade.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT NBR 7181. **Solo - Análise Granulométrica.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2016.

- ABNT NBR 7182. **Solo - Ensaio de Compactação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT NBR 6458. **Solo - Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2017.
- ASTM D4452-14. **Standard Practice for X-Ray Radiography of Soil Samples**, ASTM International, West.
- ASTM D2487-17e1. **Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017
- BHOI, A. K. MANDAL, J. N., JUNEJA, A. Feasibility Study of Bagasse Ash as a Filling Material. **GeoMEast 2019**, SUCI, p. 81–94, 2020.
- BUENO, B. S.; ZORNBERG, J. G.; LODI, P. C. Uma breve visão sobre geossintéticos aplicados a aterros sanitários, **Revista Tecnologia**. v. 30. N. 2. p. 188-197. 2009.
- DNER-ME201-94 – **Solo-cimento – Compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994.
- DNER-ME180-94 – **Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada – determinação da resistência à compressão simples**, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994.
- GRAU, F.; CHOO, H.; HU, J. W.; JUN, J. Engineering behavior and characteristics of wood ash and sugarcane bagasse ash. **Materials Journal**, ed. 8, USA, p. 6962-6977, 2015, DOI: 10.3390/ma8105353
- HASAN, H.; DANG, L.; KHABBAZ, H.; FATAHI, B.; TERZAGHI, S. Remediation of expansive soils using agricultural waste bagasse ash. **Procedia Engineering Journal of Elsevier**, v. 143. International Conference on Transportation Geotechnics, Australia, p. 1368-1375, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.161>
- HATMOKO, J. T.; SURYADHARMA, H. Shear behavior of calcium carbide residue – bagasse ash stabilized expansive soil. **Procedia Engineering Journal of Elsevier**, ed. 171, Indonesia, p. 476-483, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.359>
- KATARE, V. D.; MADUWAR, M. V. Experimental characterization of sugarcane biomass ash: a review. **Construction and Building Materials**, v. 152, p. 1-15, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.142>
- Lal D., Kumar M.J., Kumar K.N., Sindhu K., Kumar A. Soil Stabilization Using Bagasse Ash. In: Saride S., Umashankar B., Avirmeni D. (eds) *Advances in Geotechnical and Transportation Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 71. Springer, Singapore, 2020, <https://doi.org/10.1007/978-981-15-3662>
- MAHESH, B. et al. Usage of sugarcane bagasse ash in concrete. **International Journal of Engineering Research and General Science**, v. 5, p. 218-224, 2017.
- MASUED, G. G. Effect of sugar cane bagasse ash on the physical properties of subgrade layer. **Journal of Engineering and Sustainable Development**, v. 21, Iraque, p. 143-158, 2017.
- MEHTA, P.; PARIKH, A. Soil stabilization of using bagasse ash. **International Journal of Pure and Applied Research in Engineering and Technology**, v. 6, India, p. 154-161, 2018.
- MOURA, E. M. DE; SALES, J. N. B. D; NASCIMENTO, N. C. DO; SOUSA, V. M. Z. DE; COSTA E SILVA, D. D.; LIBERA JUNIOR, V. D. Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo-cimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 69-80, jan/mar. 2021, <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100494>
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995. 240p.
- SALAHUDEEN, A. B.; OCHEPO, J. Effect os bagasse ash on some engineering properties of lateritic soil. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 9, Nigeria, p. 468-476, 2015.
- SILVA, M. J. **Reforço de solos utilizados em base e sub-base de pavimentos rodoviários com cinza e com alto teor de cálcio**. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- WAN, Y.; et al. Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil. **Science of the Total Environment**, 654, p. 576–582, (2019), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.123>
- WUBSHET, M. **Bagasse ash as a Sub-grade Soil Stabilizing Material**. ADDIS ABABA UNIVERSITY (Thesis), 108p, Ethiopia, 2013.
- YADAV, A. K.; GAURAV, K.; KISHOR, R.; SUMAN, S. K. Stabilization of alluvial soil for soil subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads. **International Journal of Pavement Research and Technology**, v10, India, p. 254-261, 2017, 10.1016/j.ijprt.2017.02.001