

Análise do comportamento mecânico de solo estabilizado com resíduo de açaí

Este trabalho procurou avaliar a viabilidade técnica do uso do resíduo de açaí como estabilizante de um solo granular. Para isto, foram estudadas misturas de solos constituídas por percentagens de 0%, 10% e 20% de resíduo de açaí, em termos de massa seca total da mistura. Caracterizou-se o material 'in natura' e suas composições alusivo às propriedades geotécnicas (granulometria, limite de liquidez, plasticidade e compactação) e de resistência mecânica, Índice de Suporte Califórnia (CBR) e resistência à compressão não confinada (RCNC). Os resultados indicaram que houve significativa melhora nas propriedades do solo regional quando aditivado pelo resíduo de açaí, do ponto de vista físico e mecânico, com ênfase para amostra com adição de 20% de resíduo.

Palavras-chave: Solo; Melhoramento de Solo; Resíduos Sólidos; Pavimento.

Analysis of the mechanical behavior of soil stabilized with açai residue

This work sought to evaluate the technical feasibility of using açai residue as a stabilizer for a granular soil. For this, soil mixtures made up of percentages of 0%, 10% and 20% of açai residue were studied, in terms of the total dry mass of the mixture. It was characterized the material 'in natura' and its compositions alluding to the geotechnical properties (granulometry, liquidity limit, plasticity and compaction) and mechanical resistance, California Support Index (CBR) and resistance to unconfined compression (RCNC). The results indicated that there was a significant improvement in the properties of the regional soil when added by the açai residue, from the physical and mechanical point of view, with emphasis on the sample with addition of 20% of residue.

Keywords: Soil; Soil Improvement; Solid Waste; Pavement.

Topic: Engenharia Geotécnica

Received: 03/04/2021

Approved: 26/04/2021

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Alex Gomes Pereira 
Centro Universitário São Lucas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1676454293636622>
<http://orcid.org/0000-0003-3563-4161>
alexgp885@gmail.com

Rafael Guimarães Nascimento 
Centro Universitário São Lucas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4698966458365290>
<http://orcid.org/0000-0001-9109-9760>
rafagui826@gmail.com

Douglas Oliveira de Sá 
Centro Universitário São Lucas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9237650276423550>
<http://orcid.org/0000-0003-1924-8324>
douglas.pvhtv@gmail.com

Damião da Silva 
Centro Universitário São Lucas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8499713635669066>
<http://orcid.org/0000-0002-1681-5509>
damiaogujajara@gmail.com

Cristiano da Silva Vieira 
Centro Universitário São Lucas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9113769006196884>
<http://orcid.org/0000-0002-1276-0336>
cristiano.vieira@saolucas.edu.br

Rafael Luis da Silva 
Centro Universitário São Lucas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3368127484992279>
<http://orcid.org/0000-0002-9485-479X>
rafaeluismat@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0019

Referencing this:

PEREIRA, A. G.; NASCIMENTO, R. G.; SÁ, D. O.; SILVA, D.; VIEIRA, C. S.; SILVA, R. L.. Análise do comportamento mecânico de solo estabilizado com resíduo de açaí. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.4, p.221-228, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0019>

INTRODUÇÃO

No cenário atual, em que a escassez de recursos naturais é uma preocupação cada vez mais frequente, o emprego de resíduos sólidos tem se mostrado um excelente alternativa como material estabilizantes de solos para utilização em camadas de pavimentos e em diversas obras geotécnicas.

Neste cenário, ao longo dos anos diversos pesquisadores estudaram a utilização de resíduo sólido para estabilização de solos (LUO et al., 2012; IRANPOUR et al., 2016; POONI et al., 2019; SANTOS et al., 2020; GHASEMZADEH et al., 2020; CHINDAPRASIRT et al., 2020).

Luo et al. (2012), por exemplo, estudaram a adição de resíduo de cinza de lama de esgoto/cimento (15%) e óxido de nanoalumínio (0, 1, 2 e 3%) em um solo argiloso (A-6). As amostras de solo foram avaliadas por meio dos ensaios de resistência à compressão não confinada (RCS), potencial de expansão, Índice de Suporte Califórnia (CBR) e permeabilidade. Os resultados indicaram que os amostras com resíduo de cinza de lama de esgoto/cimento (15% SSA/cimento) e 1% de óxido de nanoalumínio apresentaram valores de RCS e CBR superiores aos resultados do solo não tratado. Além disto, o potencial de inchamento foi efetivamente reduzido pelo uso de 15% SSA/cimento quando comparado ao solo natural e a amostras de 1% de óxido de nanoalumínio apresentou o melhor desempenho.

Em outra linha de estudo, Rocha et al. (2017) analisaram a estabilização química de um cascalho laterítico empregado na camada de base de uma rodovia. Foi estudada uma mistura, a qual é composta por 78% cascalho, 20% de areia e 2% de cimento. Sendo utilizados os teores de 2, 4 e 6% de cimento e de cal hidratada. As misturas foram submetidas aos ensaios laboratoriais de expansão, CBR, compressão simples e triaxial dinâmico para três tempos de cura (0 e 7 dias).

Em geral, os autores apontaram que para o tipo de solo estudado, as misturas estabilizadas com cal pouco contribuíram com o aumento dos parâmetros de resistência, ou seja, a utilização de pequenos teores de cal não seria recomendada. Quanto aos resultados das amostras com adição de cimento, os autores verificaram resultados positivos.

Neste contexto, o presente trabalho tem como principal objetivo analisar a viabilidade técnico-ambiental da utilização de resíduo de açaí triturado na estabilização de um solo característico do município de Porto Velho.

METODOLOGIA

Para a obtenção dos resultados apresentados nesta pesquisa, o programa experimental compreendeu aos ensaios de caracterização física e os ensaios de resistência mecânica, CBR e resistência à compressão não confinada (RCNC).

Materiais utilizados

Solo

O solo utilizado nesta pesquisa é proveniente da região de Porto Velho, capital do estado de

Rondônia. As amostras do solo foram coletadas em uma área interna do Centro Universitário São Lucas (UniSL), campus 2, localizada Rua João Goulart, 666 - Bairro Mato Grosso, cujo local tem as coordenadas geográficas 8°46'20"S e 63°53'18"W (Figura 1).



Figura 1: Local de retirada da amostra, via imagem de satélite (Google Earth).

Os procedimentos de coleta constituíram na extração, empregando-se picareta e pá, ensacamento em sacos plásticos e transporte das amostras para o Laboratório de Solos do departamento de Engenharia Civil do UniSL, campus 2.

Preparação das amostras

Para realização dos ensaios convencionais de caracterização física, as amostras foram secas ao ar livre, destorroadas, peneiradas e armazenadas em sacos plásticos para sua utilização nos respectivos ensaios geotécnicos, conforme prescritos pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem/Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER/DNIT), conforme a norma DNER-ME 041/1994 (Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização).

Os ensaios de caracterização geotécnica foram realizados no Laboratório de Solos pertencente ao departamento de (UniSL). A Tabela 1 apresenta os ensaios realizados e suas respectivas normas de regulamentação.

Tabela 1: Caracterização do solo.

Propriedades	Norma
Limite de Plasticidade	ME 082/1994
Limite de Liquidez	ME 122/1994
Análise granulométrica	ME 080/1994

Com os resultados dos ensaios de caracterização descritos na Tabela 1, classificou-se as amostras de solo pelos sistemas *Unified Soil Classification System* (SUCS), segundo a norma técnica D 2487-11 (ASTM, 2011), e *Transportation Research Board* (TRB), sob a norma técnica D3282 (ASTM, 2015).

Resíduo de açaí

O resíduo de açaí (Figura 2) utilizado nesta pesquisa foi coletado em uma feira livre localizada em

Porto Velho/RO. Após a coleta, as amostras foram submetidas ao processo de trituração em um triturador elétrico, obtendo um material semelhante a granulometria de cimento Portland, já que se trata do material usual para estabilização dos solos da região rondoniense.

E por fim, material sólido resultante do processo de trituração foi acondicionado em bandeja metálica e seco em estufa a temperatura de 100°C até constância de massa.



Figura 2: Resíduo de açaí.

Dosagens das amostras

Considerando-se a intenção de avaliar o desempenho mecânico do solo estabilizado com resíduo de açaí, decidiu-se fazer as misturas dos materiais nas seguintes proporções: solo natural (SN 100/0), solo natural + 10% resíduo de açaí (SN 90/10) e solo natural + 20% resíduo de açaí (SN 80/20). Ressalta-se que as misturas solo + resíduo de açaí foram realizadas manualmente, com a adição de resíduo ao solo e homogeneização da massa.

Comportamento mecânico

Compactação, CBR e Expansão

O ensaio de compactação conforme a norma ME 129 (DNER, 1994) foi utilizado para determinação da massa específica seca máxima ($\gamma_{d\text{máx}}$) e umidade ótima (w_{ot}) na energia do Proctor modificada em cilindro grande e sem reuso de material.

Para o ensaio de CBR e expansão, seguiu-se o preconizado pela norma brasileira ME 172 (DNIT, 2016). Tendo sido aplicado uma carga estática de, aproximadamente, 45N, com velocidade de 1,27mm/min. (0,05pol/min.). Considerou-se como resultado final, à média aritmética de dez valores correspondentes a cada proporção. Resistência à compressão não confinada (RCNC)

Em conformidade com os parâmetros de compactação na energia modificada, determinou-se pela Equação 1 a massa de cada corpo de prova. A moldagem dos corpos de prova, para a análise de RCNC foi realizada de forma manual.

$$M = GC \cdot \gamma_{dmáx} \cdot (w_{ot} + 1) \cdot V_{cilindrico} \quad 1$$

Onde:

M = massa a ser compactada de acordo com a composição (g);

GC = grau de compactação adotado, entre 99% e 100%;

$\gamma_{d\text{máx}}$ = massa específica aparente seca máxima de acordo com a composição (g/cm^3);

W_{ot} = umidade ótima segundo a composição (%); e,

$V_{\text{cilindrico}}$ = volume ao qual o corpo de prova deve se encontrar quando compactado (cm^3).

Os ensaios de RCNC seguiram as recomendações da norma ME 201 (DNER, 1994). Foram moldados dez corpos de prova para cada idade de cura (0 e 7 dias) de cada mistura.

Após o rompimento, a RCNC foi calculada pela Equação 2, sendo utilizado como resultado final, à média aritmética de 10 corpos de prova para cada uma das misturas, com coeficiente de variação máximo de $\pm 10\%$ em torno da média.

$$RCNC = \frac{F}{A} \quad 2$$

Onde:

RCNC = Resistência à compressão não-confinada (MPa);

F = Carga de ruptura (N); e,

A = Área média da seção transversal do corpo de prova (mm^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de granulometria conjunta podem ser observados na Tabela 2. Como é possível observar, o solo estudado apresentou predomínio da fração pedregulho (superior a 50%).

Tabela 2: Frações granulométricas.

Composição granulométrica	
Pedregulho	57,9%
Areia Grossa	5,9%
Areia Fina	4,8%
Silte + Argila	31,4%

Os resultados da caracterização física do solo estão apresentados na Tabela 3. Os limites de consistência classificaram o solo, conforme Burmister (DAS, 2014), com plasticidade mediana (índice de plasticidade ficou entre 7 e 15%), visto que seu índice de plasticidade foi de 8,6%.

Segundo a classificação TRB, esse material é caracterizado como A2-4, conforme as prescrições normativas da norma americana D3282 (ASTM, 2015), o qual pode ser classificado como GC (pedregulho argiloso) de comportamento excelente a bom para aplicação em subleito. No SUCS e a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), o solo pesquisado corresponde a um pedregulho argiloso (GC).

Tabela 3: Características físicas do solo.

Parâmetro	Resultado
Limite de Liquidez	27,6%
Limite de Plasticidade	19,0%
Índice de Plasticidade	8,6%
Classificação TRB	A2-4 (0)

Na Tabela 4 são mostrados os parâmetros de compactação do solo em seu estado natural e das misturas com 10% e 20% de resíduo de aço.

De acordo com os resultados da tabela 4 é possível verificar que o houve acréscimo de massa específica seca máxima com a incorporação do resíduo, o aumento foi na ordem de 12,87% e 16,33%, para

os teores de 10% e 20% de resíduo de açaí, respectivamente. Para o teor de umidade ótima, constatou-se uma redução na ordem de 4,62% e 8,67% nos mesmos teores referenciados anteriormente. Comportamento semelhante registrou-se nos trabalhos de Castro et al. (2019) e Almeida et al. (2019).

Castro et al. (2019), por exemplo, estudaram o comportamento mecânico de um solo argiloso estabilizado com resíduo de vidro pulverizado em moinho de alta energia. Para o solo natural, encontraram para uma umidade ótima de 33,8% e uma massa específica seca máxima igual a 15,0 kN/m³. Após adição do teor de 5% do resíduo de vidro proveniente do moinho de bolas, houve um incremento de 0,67% no valor da massa específica seca máxima, resultando em 15,1 kN/m³. Por sua vez, a umidade ótima apontou decréscimo (32,68%).

Tabela 4: Valores obtidos nos ensaios de compactação das misturas.

Amostras	$\gamma_{d\text{máx}}$ (g/dm ³)	w _{ot} (%)
SN 100/0	1,73	22,8
SN 90/10	1,81	20,2
SN 80/20	1,88	19,6

Os gráficos das Figuras 3 e 4 apresentam as comparações entre os resultados de CBR e expansão obtidas para as misturas estudadas. É possível observar que as adições de 10% e 20% de resíduo de açaí são benéficas para a capacidade de suporte do solo segundo o ensaio CBR. O conjunto dessas informações revela que os maiores valores de CBR foram alcançados com o resíduo de açaí no teor de 20%. Pelo exposto, tem-se que os aumentos nos valores de CBR corrobora com o trabalho desenvolvido por Machado et al. (2017).

Com relação à expansão, verifica-se que as misturas aditivas com 10% e 20% de resíduo apresentaram um aumento de expansão em comparação ao solo natural.

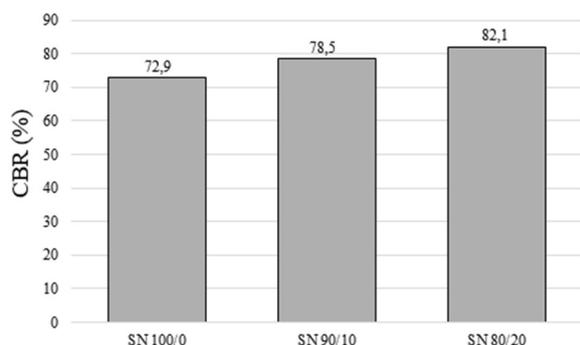


Figura 3: CBR do solo natural e para misturas aditivadas.

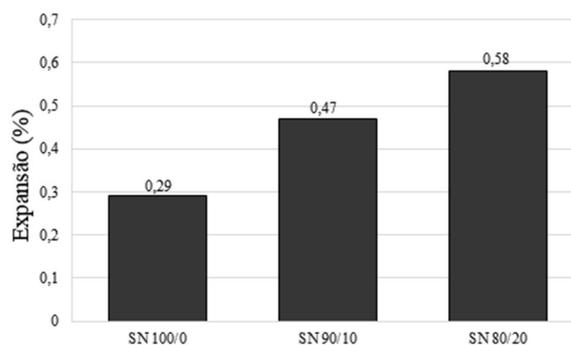


Figura 4: Expansão do solo natural e para misturas aditivadas.

A Figura 5 apresenta os valores de RCNC das diferentes misturas, que permaneceram durante 0 e 7 dias em câmara úmida. Pode-se notar que há uma nítida tendência de crescimento nos valores de RCNC à medida que se aumenta o teor de adição de resíduo no solo.

Consoante aos resultados para solo natural, observa-se uma resistência à compressão de 0,782MPa e 0,908MPa, para os dias 0 e 7. Quando adicionado 10% de resíduo, a composição SN 90/10 mostrou um aumento de resistência, passando de 0,782MPa e 0,908MPa para 0,854MPa e 0,925MPa, e em termos percentuais igual a 9,21% e 1,87%, respectivamente. Para adição de 20%, houve um acréscimo na ordem de 16,88% e 12,44%, nos mesmos tempos de cura referenciados anteriormente. De forma semelhante

registrou nos trabalhos de Patricio (2015) e Machado et al. (2017), em que ambos trabalhos apresentaram acréscimo de resistência com adição de resíduo na matriz de solo.

Além disso, verifica-se que o acréscimo do tempo de cura colabora para o aumento de resistência, podendo-se atingir em média ganhos na ordem de 8%, para a amostra com 10% de resíduo de açaí e 11% para adição de 20% de resíduo.

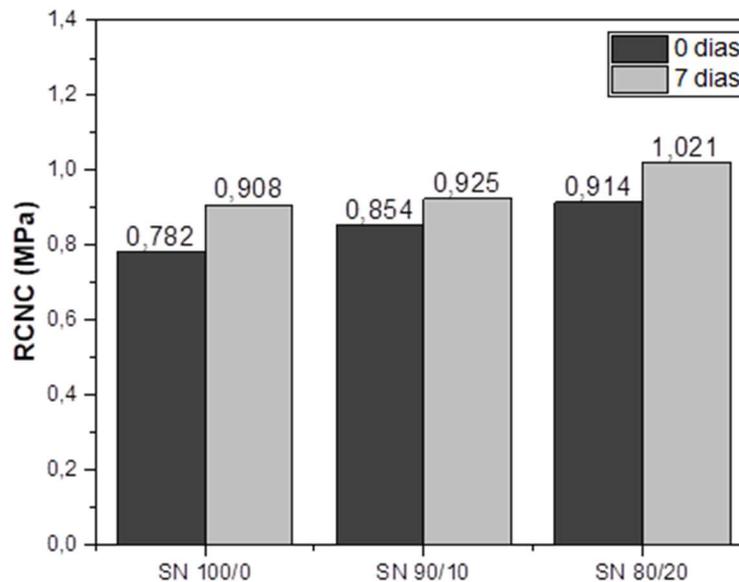


Figura 5: Resistência à compressão não confinada das amostras aos 0 e 7 dias.

CONCLUSÕES

A análise dos dados obtidos nos experimentos permitiu chegar às seguintes conclusões: a) a aplicação de resíduo de açaí como estabilizante de solos mostrou-se ser uma alternativa promissora; b) quanto ao desempenho mecânico, observou-se que as composições aditivas com resíduo de açaí apresentaram resultados superiores em comparação a matriz de solo natural; c) os resultados mais satisfatórios foram observados para as amostras aditivadas com teor de 20% de resíduo em relação à massa seca do solo.

Deste modo, é possível concluir que as misturas com aditivas com resíduo de açaí utilizados nesta pesquisa apresentaram, mediante os ensaios realizados, características físicas e mecânicas que permitem sua utilização como agente estabilizante de solos, além de uma alternativa viável para o descarte deste material.

AGRADECIMENTOS: À empresa Betontech Centro Tecnológico e ao Centro Universitário São Lucas, onde foram realizados os ensaios físicos e mecânicos deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. W. S.; SOUZA, L. H. P.; ALMEIDA, W. M. S.; SILVA JÚNIOR, F. V.. Estabilização química do solo com adição de sílica ativa e cimento, para utilização em camadas de pavimentação rodoviária. *Engineering Sciences*, v.7, n.1, p.11-21, 2019.

ASTM. American Society for Testing Materials. **ASTM D2487:** Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). Washington: ASTM, 2017.

ASTM. American Society for Testing Materials. **ASTM D3282:**

Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. Washington: ASTM, 2015.

CASTRO, C. E. N.; SILVA, R. R. F.; SANTOS, L. F.; MENDES, A. S.; LIMA, C. A. P.; FROTA, C. A.. Comportamento mecânico de solo argiloso estabilizado com resíduo de vidro pulverizado em moinho de alta energia e de bolas. **Matéria**, v.24, n.2, p.e12356, 2019.

CHINDAPRASIRT, P.; KAMPALA, A.; JITSANGIAM, P.; HORPIBULSUK, S.. Performance and evaluation of calcium carbide residue stabilized lateritic soil for construction materials. **Case Studies in Construction Materials**, v.13, p.e00389, 2020.

DAS, B.. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 041/94**: Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 129/94**: Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **ME 201**: Solo-cimento – Compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT-ME 172/2016**: Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2016.

GHASEMZADEH, H.; MODIRI, F.. Application of novel Persian gum hydrocolloid in soil stabilization. **Carbohydrate Polymers**, v.246, p.116639, 2020.

IRANPOUR, B.; HADDAD, A.. The influence of nanomaterials on collapsible soil treatment. **Engineering Geology**, v.205, p.40-53, 2016.

LUO, H. L.; HSIAO, D. H.; LIN, D. F.; LIN, C. K.. Cohesive soil stabilized using sewage sludge ash/cement and nano aluminum oxide. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v.1, p.83-99, 2012.

MACHADO, L. F. M.; CAVALCANTE, E. H.; ALBUQUERQUE, F. S.; SALES, A. T. C.. Adição de uma associação polimérica a um solo argilo-arenoso com vistas à estabilização química de materiais para pavimentos. **Matéria**, v.22, n.3, p.e11870, 2017.

POONI, J.; GIUSTOZZI, F.; ROBERT, D.; SETUNGE, S.; O'DONNELL, B.. Durability of enzyme stabilized expansive soil in road pavements subjected to moisture degradation. **Transportation Geotechnics**, v.21, p.100255, 2019.

PATRICIO, J. D.. **Estudo de Solos Modificados por Adição de Polímeros para Uso em Pavimentos Rodoviários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

ROCHA, M. T.; REZENDE, L. R.. Estudo laboratorial de um solo tropical granular estabilizado quimicamente para fins de pavimentação. **Matéria**, v.22 n.4, p.e-11895, 2017.

SANTOS, L. M. A.; NETO, J. A. S.; AZERÊDO, A. F. N.. Soil characterization for adobe mixtures containing Portland cement as stabilizer. **Matéria**, v.25, p.e-12565, 2020.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.