

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE UM SOLO ESTABILIZADO COM RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA

Claudiney Manrich (Centro Universitário São Lucas) E-mail: c.manrich.cm@gmail.com

Vinícios Pereira Cardoso (Centro Universitário São Lucas) E-mail: vinicioscardoso441@gmail.com

Lucas Matheus Star Mendonça Domingos (Centro Universitário São Lucas) E-mail:

lucas.ms.lms7@gmail.com

Patrick de Aguilheira Diniz (Centro Universitário São Lucas) E-mail:

patrickaguilheiradiniz1905@gmail.com

Rafael Luis da Silva (Centro Universitário São Lucas) E-mail: rafaeluismat@gmail.com

Alex Gomes Pereira (Centro Universitário São Lucas) E-mail: alexgp885@gmail.com

Resumo:

Os resíduos sólidos, como a cerâmica vermelha, têm sido reutilizados pela construção civil com o objetivo principal de diminuir suas áreas de disposição e, por conseguinte, os impactos ambientais ocasionados. Deste modo, o presente trabalho apresenta um estudo da utilização de resíduo cerâmico em misturas com solo para o emprego no ramo da pavimentação e obras de terra, buscando a melhoria das propriedades geotécnicas e mecânicas do solo em estudo. Para cumprimento do objetivo, foram estudadas três proporções (10%, 20% e 30%) de resíduos cerâmicos vermelhos (RCV) em um solo característico de Porto Velho/Rondônia (RO). Para avaliação geotécnica e mecânica das misturas, foram utilizados os ensaios de compactação e de resistência à compressão não-confinada (RCNC). Os resultados mostraram uma redução na massa específica aparente seca máxima e aumento na umidade ótima de compactação. Além disso, nos ensaios de RCNC, foi possível observar um acréscimo na resistência dos três solos com RCV, mostrando assim a viabilidade da utilização do resíduo cerâmico como estabilizante de solo.

Palavras-chave: Resíduo cerâmico, Estabilização, Geotecnia.

EVALUATION OF THE GEOTECHNICAL BEHAVIOR OF A SOIL STABILIZED WITH RED CERAMIC RESIDUE

Abstract: Solid waste, such as red ceramic, has been reused by civil construction with the main objective of reducing their disposal areas and, therefore, the environmental impacts caused. In this way, the present work presents a study of the use of ceramic residues in mixtures with soil for the use in the field of paving and earth works, seeking to improve the geotechnical and mechanical properties of the soil under study. To fulfill the objective, three proportions (10%, 20% and 30%) of red ceramic residues (RCV) were studied in a characteristic soil of Porto Velho/Rondônia (RO). For geotechnical and mechanical evaluation of the mixtures, compaction and unconfined compressive strength (NCCR) tests were used. The results showed a reduction in the maximum dry bulk density and an increase in the optimal compaction moisture. In addition, in the RCNC tests, it was possible to observe an increase in the resistance of the three soils with RCV, thus showing the feasibility of using the ceramic residue as a soil stabilizer.

Keywords: Ceramic residue, Stabilization, Geotechnics.

1. Introdução

A malha rodoviária brasileira desempenha um papel fundamental no desenvolvimento do nosso país tendo em vista que o modal rodoviário é o principal meio de transporte do Brasil, sendo encarregado pela movimentação de grande parte das pessoas (95%) e mercadorias (61%). Por consequência, as infraestruturas rodoviárias federais, estaduais e municipais, devem apresentar bom estado de conservação. Todavia, observa-se uma crescente falha nas técnicas de recuperação desses sistemas construtivos, o que impede

e limita o escoamento das mercadorias de forma mais rápida e eficaz, gerando assim, impactos negativos ao desenvolvimento socioeconômico.

De acordo com Balbo (2007) o pavimento é uma estrutura composta por múltiplas camadas de diferentes materiais compactados, com objetivo de atender estrutural e operacionalmente ao tráfego. Entretanto, com as técnicas empregadas e o uso de materiais convencionais associados ao constante aumento do volume de tráfego, o pavimento, em diversos cenários, não tem atendido aos requisitos de resistência e durabilidade requeridos, apresentando problemas precoces de trincamento por fadiga, envelhecimento, desagregação do revestimento asfáltico, afundamento de trilha de roda, entre outros (MELO, 2014).

A degradação precoce dos pavimentos, somada à falta de manutenção e o crescente aumento do tráfego impõe a necessidade do estudo de novos materiais, buscando melhorar o desempenho dos pavimentos rodoviários.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar experimentalmente o uso dos RCV como material estabilizante de um solo característico da região de Porto Velho, capital do estado de Rondônia (RO).

2. Metodologia

2.1 Materiais utilizados

2.1.1 Solo

O solo utilizado nesta pesquisa foi coletado na rua Itatiaia, no município de Porto Velho, Rondônia (RO), cujo local tem as coordenadas geográficas $8^{\circ}46'43''S$ e $63^{\circ}49'32''W$, conforme mostrado na Figura 1.

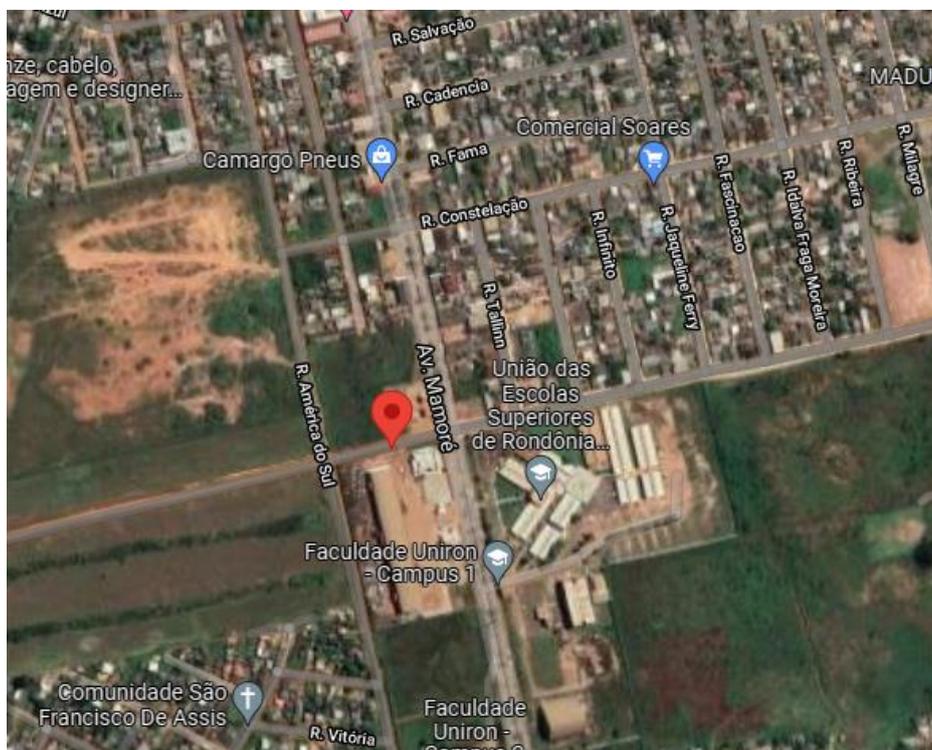


Figura 1 – Local de retirada das amostras de solo, via imagem de satélite (*Google Earth*)

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterização física das amostras de solo

As amostras de solo foram avaliadas por meio dos ensaios de granulometria, limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL) e compactação, conforme métodos de ensaio da ME 080 (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, 1994), ME 082 (DNER, 1994), ME 122 (DNER, 1994) e ME 129 (DNER, 1994), respectivamente.

2.2.2 Dosagem experimental das composições

Para avaliar a potencial viabilidade do RCV como estabilizante foram estudadas as seguintes composições: solo natural (S-100/0), amostra de solo com 10% de RCV (SRCV -90/10), amostra de solo com 20% de RCV (S RCV-80/20) e amostra de solo com 30% de RCV (S RCV-70/30), em relação ao peso seco do solo.

2.2.3 RCNC

Para determinação do ensaio de RCNC de cada uma das misturas foram moldados 5 corpos de prova para cada mistura. Os ensaios de RCNC foram realizados nos tempos de cura de 0 e 7 dias. Os corpos de prova foram compactados na umidade ótima (wot) determinada no ensaio de compactação. Após a ruptura dos corpos de prova, a resistência será obtida pela Equação 1.

$$RCNC = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde:

$RCNC$ = Resistência à Compressão Não-Confinada (MPa);

F = Carga de ruptura (N); e

A = Área média da seção transversal do corpo de prova (mm²).

O equipamento utilizado foi uma máquina universal para ensaio de tração e compressão, localizada no Laboratório da empresa Betontech Tecnologia de Concreto Ltda.



Figura 2 – Ensaio de RCNC: a) Preparação do corpo-de-prova; e b) Corpo-de-prova após o ensaio

3. Resultados e Discussões

3.1 Caracterização física do solo natural

Nas Tabela 1 e 2 são apresentados os resultados de caracterização geotécnica do solo da amostra do solo original.

Tabela 1: Frações granulométricas

Fração	Solo natural (S-100/0)
Pedregulho	-
Areia Grossa	2,4
Areia Média	12,2
Areia Fina	10,1
Silte + Argila	75,3

Fonte: Autores (2022).

Tabela 2: Características físicas do solo

Parâmetro	S-100/0
Limite de Liquidez (%)	39,8
Limite de Plasticidade (%)	17,8
Índice de Plasticidade (%)	22,0
Massa Específica Aparente Seca Máxima (kN/m ³)	17,90
Teor de Umidade Ótima (%)	13,9
Índice de Suporte Califórnia (CBR) (%)	14,2
Expansão (%)	1,23

Fonte: Autores (2022).

A partir dos valores apresentados nas Tabela 1 e 2 foi possível classificar o solo estudado. No sistema *Unified Soil Classification System* (SUCS), segundo a norma técnica D2487-17 (*American Society for Testing Materials* - ASTM, 2017), e *Transportation Research Board* (TRB), sob a norma técnica M145-91 (*American Association of State Highway and Transportation Officials* - AASHTO, 2008), o solo é classificado como argila siltosa (CL), tratando-se de um material inadequado para utilização em subcamadas de pavimento (DAS, 2014).

3.2 Compactação

As curvas de compactação na energia normal são mostradas na Figura 3 e na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos dos ensaios de compactação realizados com energia normal do ensaio Proctor.

Tabela 3: Teores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima para as composições de solo original e de misturas solo-RCV

Mistura	Umidade Ótima (%)	Massa Específica Aparente Seca Máxima
		(kN/m ³)
S-100/0	13,9	17,90
SRCV-90/10	16,2	16,08
SRCV-80/20	16,3	16,82
SRCV-70/30	14,9	17,54

Fonte: Autores (2022).

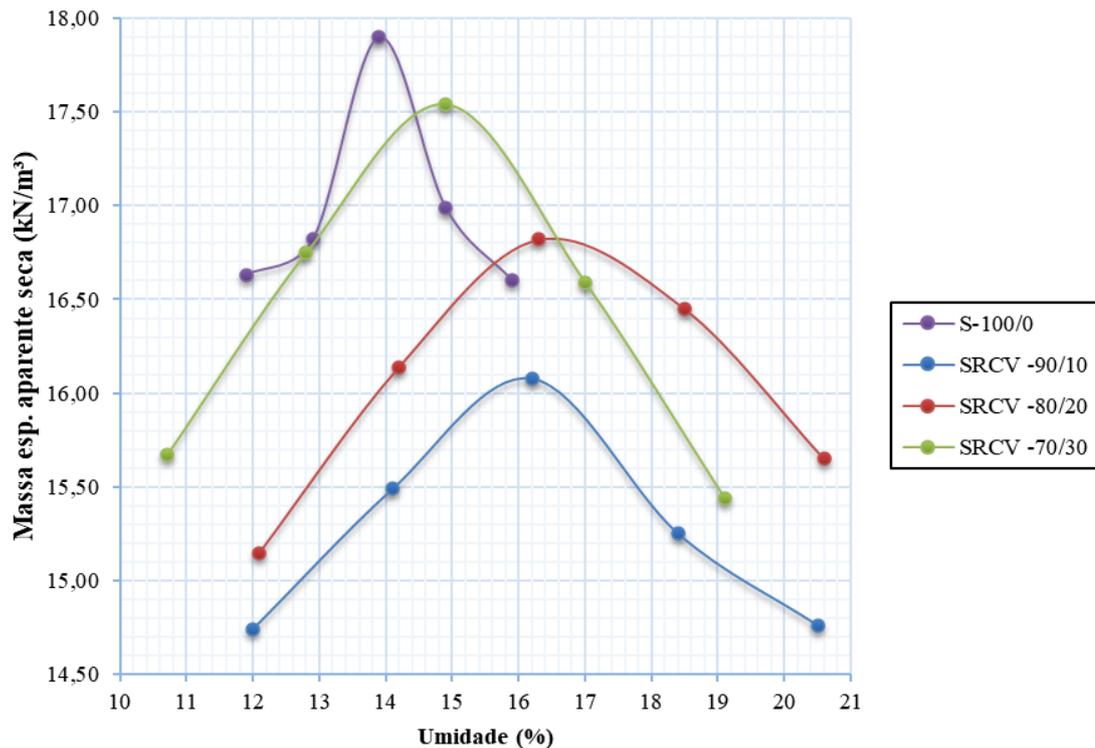


Figura 3: Curvas de Compactação

Observa-se que houve ganhos do teor de umidade com a adição do resíduo, para ambos os solos. Houve também uma tendência de diminuição do peso específico aparente seco máxima com a adição do rejeito. Sendo verificado para a composição original (S-100/0) um teor ótimo de umidade igual a 13,9% e um peso específico igual a 17,90 kN/m³. Quando adicionado o teor de 10% do RCV, houve um incremento da umidade ótima de 16,55% e uma redução de 10,17% no valor do peso específico, resultando em 16,08 kN/m³. Relativo à fração de 20% de RCV, a umidade ótima apresentou um aumento de 17,27% e uma redução de 6,03% no peso específico. No caso da composição SRCV-70/30 está constatou uma diminuição de 2,01% do peso específico e um acréscimo de 7,19% no teor de umidade ótima.

Os resultados obtidos não estão em concordância com os resultados encontrados na literatura e prática (SENÇO, 2001; CASTRO et al., 2019), visto que o esperado é o oposto, ou seja, adição de material estabilizante no solo implica no aumento do peso específico e a diminuição do teor de umidade ótima.

3.3 RCNC

Os resultados do ensaio de RCNC encontram-se dispostos na Tabela 4 e Figura 4.

Tabela 4: Resultados da RCNC

Amostra / Período de cura	RCNC (kPa)
S-100/0 / 0 dias	674,8
SRCV-90/10 / 0 dias	687,5
SRCV-80/20 / 0 dias	725,7
SRCV-70/30 / 0 dias	738,4
S-100/0 / 7 dias	560,2
SRCV-90/10 / 7 dias	649,3
SRCV-80/20 / 7 dias	700,2
SRCV-70/30 / 7 dias	496,5

Fonte: Autores (2022).

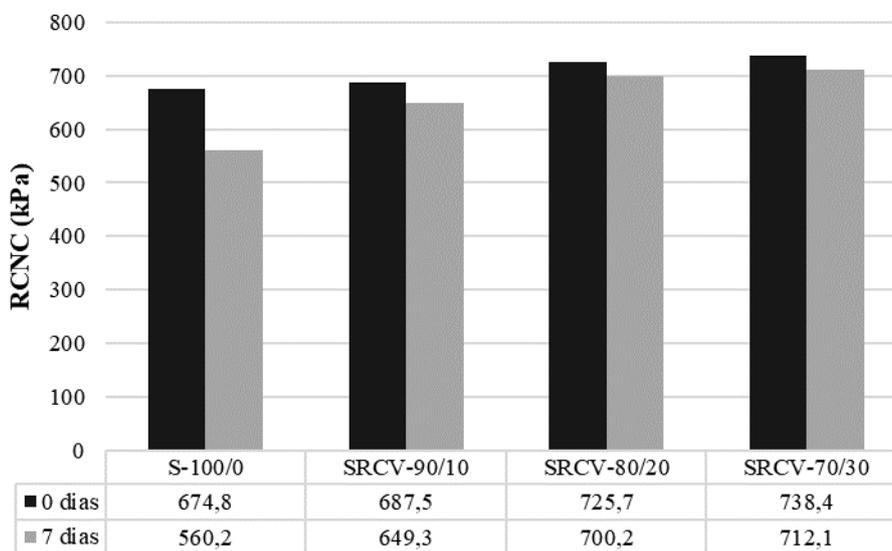


Figura 4: RCNC das misturas aos 0 e 7 dias

Pelos resultados presentes na Tabela 4 e Figura 4, pode-se observar os valores de resistência à compressão resultantes, para cada formulação pesquisada. Em geral, nota-se que resistência das misturas com RCV mostraram-se superiores comparada a resistência de S-100/0, com exceção de SRCV-70/30 com tempo de cura de 7 dias. Em termos percentuais, a presença do RCV nas proporções de 10%, 20% e 30% geraram um acréscimo de 1,85%, 7,01% e 8,61 %, respectivamente, para o período de cura de 0 dias, e para o tempo de cura de 7 dias, os mesmos teores de adição de RCV apresentaram um aumento de resistência de 13,72%, 19,99% e 21,33%, respectivamente.

De modo geral, os valores encontrados no presente estão em conformidade com os trabalhos de Patricio (2015) e Machado et al. (2017), o qual ambos autores em seus trabalhos mostraram aumento de resistência com adição de resíduo na matriz de solo. Com base nos resultados, fica evidente que a inclusão RCV contribuiu para a melhoria da resistência do solo.

4. Conclusão

A presente pesquisa teve como finalidade principal estudar a estabilização de um solo com RCV. Por meio dos valores encontrados, e em vista das particularidades desta pesquisa, verificou-se que a adição de RCV no solo proporcionou uma tendência de melhoria no comportamento mecânico de ambas as misturas estabilizadas, sendo constatado ainda uma nítida tendência de crescimento nos valores de resistência à medida que se aumenta a fração de resíduo no solo.

Como conclusão final, avalia-se como positiva o emprego de RCV para estabilização de solos, tendo-se com isso um benefício econômico, por utilizar um material de baixo valor agregado e possibilitar a destinação correta do resíduo em estudo. Todavia, mais estudo devem ser realizados, como por exemplo, estudos com outros solos, teores de adição e ensaios.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). **ASTM D2487: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)**. USA, 2017.
- THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **AASHTO M 145-91: Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes**. USA, 2021.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: projeto, materiais e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- 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.
- DALLA, A. R. **Estudo dos parâmetros-chave no controle da resistência de misturas solo-cinza-cal**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2009.
- DAS, B.M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Cengage Learning, 2015.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **DNER-ME 082/94: Solos - determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **DNER-ME 080/94: Solos - análise granulométrica por peneiramento**. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **DNER-ME 122/94: Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito**. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **DNER-ME 129/94: Solos - compactação utilizando amostras não trabalhadas**. Rio de Janeiro, 1994.
- FRANÇA, F. C. **Estabilização Química de Solos para Fins Rodoviários: Estudo de Caso com o Produto "RBI Grade 81"**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2003.
- KNAPPELT, J. A.; CRAIG, R. F. **Craig Mecânica dos Solos**. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- 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.
- MELO, J. V. S. **Desenvolvimento e estudo do comportamento reológico e desempenho mecânico de concretos asfálticos modificados com nanocompósitos**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- OLIVEIRA, R. F. V. **Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos**. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.
- 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.

PICANÇO, H. M. **Incorporação de resíduo cerâmico a um solo argiloso superficial de Manaus visando seu emprego em pavimentos.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Amazonas. 2012.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** São Paulo, 2000.

ROCHA, G. S. **Efeito da cal na resposta mecânica de um solo residual maduro: análise da resistência à compressão não confinada, permeabilidade, compressibilidade e efeito da cura acelerada na resistência mecânica.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2018.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação: volume 2.** São Paulo: Pini, 2001. 671p.