



**CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO LUCAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CLAUDINEY MANRICH  
VINICIOS PEREIRA CARDOSO**

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

**Porto Velho  
2022**

CLAUDINEY MANRICH  
VINICIOS PEREIRA CARDOSO

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

Monografia de conclusão de curso  
apresentada ao Curso de Engenharia Civil  
do Centro Universitário São Lucas, como  
requisito parcial à conclusão do curso.

Orientador: Prof. Ms. Alex Gomes Pereira

Porto Velho

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP**

M285a     Manrich, Claudiney.

Avaliação do comportamento geotécnico de um solo estabilizado com resíduo de cerâmica vermelha. / Claudiney Manrich, Vinícios Pereira Cardoso. – Porto Velho, 2022.  
28 f. ; 30 cm.

Monografia (Graduação) – Centro Universitário São Lucas Porto Velho, 2022.

Orientação Prof. Ms. Alex Gomes Pereira, Coordenação de Engenharia Civil.

1. Engenharia Civil. 2. Resíduo Cerâmico. 3. Estabilização. 4. Geotecnia. I. Título. II. Cardoso, Vinícios Pereira. III. Pereira, Alex Gomes.

CDU 624.131

**CLAUDINEY MANRICH**  
**VINICIOS PEREIRA CARDOSO**

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

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário São Lucas, como requisito de aprovação para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Ms. Alex Gomes Pereira

Porto Velho, 15 de junho de 2022.

Resultado: Aprovado.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.º M.º Rafael Luis da Silva

Centro Universitário São Lucas

---

Prof.º M.º Benício de Moraes Lacerda

UNAMA

---

Prof.º M.º Alex Gomes Pereira

Centro Universitário São Lucas

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos amigos,  
que muito colaboraram para sua  
realização.

## **AGRADECIMENTOS**

### **Vinicius Pereira Cardoso**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui.

Aos meus pais Orlândia Pereira e Sebastião Nunes, por toda paciência e dedicação para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e prazeroso durante esses anos.

Agradecer a minha namorada Emily Maiara, por toda dedicação oferecida e pelos momentos de companheirismo.

Agradecer em especial ao professor Alex Gomes Pereira, que esteve sempre disposto a ajudar, contribuindo sempre com a melhoria deste trabalho.

Agradecer ao meu parceiro Claudiney Manrich, por ter topado esse desafio e ter contribuído para cada passo deste trabalho.

Por fim sou grato a todos que de alguma forma participaram para realização deste trabalho.

### **Claudiney Manrich**

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por me proporcionar saúde e condições para que pudesse alcançar essa etapa de minha vida.

Agradeço a toda minha família, meus irmãos; Claudcir Manrich, Juceli Manrich e Juliane Manrich por sempre me apoiarem nessa caminhada durante minha graduação, e principalmente minha mãe Hilda Manrich, que nos deixou no ano de 2020, que em vida sempre me incentivou muito a estudar e a não desistir dos meus sonhos, sempre me dando carinho e broncas quando necessário.

Agradeço a todos meus amigos que são minha família de coração e que sempre me apoiaram, deram forças e me ajudaram de alguma forma para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço imensamente ao meu professor e orientador Alex Gomes Pereira, por todo apoio ao longo de suas matérias, TCC e por me incentivar a não trancar o curso durante o duro período da pandemia.

Agradeço ao meu colega de turma e parceiro nesse trabalho de conclusão de curso Vinicius Pereira Cardoso pelo companheirismo ao longo do curso.

Agradeço a todo corpo docente do Centro Universitário São Lucas pela dedicação e compromisso para com seus alunos.

Agradeço a toda equipe de limpeza e manutenção do Centro Universitário São Lucas, por manterem sempre a instituição limpa e em condições de nos receberem.

Enfim gostaria de agradecer a todos em geral que de alguma forma contribui na minha jornada acadêmica até o presente momento.

## 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 cerâmicos 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.

## **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 ceramic residue as a soil stabilizer.

**Keywords:** Ceramic residue, Stabilization, Geotechnics.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Local de retirada das amostras de solo, via imagem de satélite (Google Earth) .....      | 16 |
| Figura 2: a) Tijolo cerâmico quebrado; e b) Material passante na peneira 4,8mm ...                 | 17 |
| Figura 3: a) Secagem do solo ao ar livre, e b) Armazenamento dos solos em sacos plásticos .....    | 18 |
| Figura 4: Procedimento de mistura solo + 10% de RCV .....                                          | 19 |
| Figura 5: Corpos de prova após confecção .....                                                     | 20 |
| Figura 6: Ensaio de RCNC: a) Preparação do corpo-de-prova; e b) Corpo-de-prova após o ensaio ..... | 21 |
| Figura 7: Curvas de Compactação .....                                                              | 23 |
| Figura 8: RCNC das misturas aos 0 e 7 dias .....                                                   | 24 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Frações granulométricas .....                                                                                                    | 21 |
| Tabela 2: Características físicas do solo.....                                                                                             | 22 |
| Tabela 3: Teores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima para as composições de solo original e de misturas solo-RCV..... | 22 |
| Tabela 4: Resultados da RCNC .....                                                                                                         | 24 |

## LISTA DE SIGLAS

|        |                                                                    |
|--------|--------------------------------------------------------------------|
| RCV    | Resíduos Cerâmicos Vermelhos                                       |
| RO     | Rondônia                                                           |
| RCNC   | Resistência à Compressão Não-Confinada                             |
| LP     | Limite de Plasticidade                                             |
| LL     | Limite de Liquidez                                                 |
| DNER   | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem                       |
| SUCS   | Unified Soil Classification System                                 |
| ASTM   | American Society for Testing Materials                             |
| TRB    | Transportation Research Board                                      |
| AASHTO | American Association of State Highway and Transportation Officials |
| CL     | Argila Siltosa                                                     |
|        |                                                                    |
|        |                                                                    |
|        |                                                                    |

## SUMÁRIO

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                     | 11 |
| 1.1 Objetivos .....                                    | 11 |
| 1.1.1 Objetivo Geral .....                             | 11 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....                      | 11 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....                           | 13 |
| 2.1 Solo .....                                         | 13 |
| 2.1.1 Granulometria do solo .....                      | 13 |
| 2.2 Estabilização ou melhoramento de solos .....       | 13 |
| 3 METODOLOGIA .....                                    | 16 |
| 3.1 Materiais Utilizados.....                          | 16 |
| 3.1.1 Solo .....                                       | 16 |
| 3.1.2 RCV .....                                        | 16 |
| 3.2 Métodos .....                                      | 17 |
| 3.2.1 Caracterização física das amostras de solo ..... | 17 |
| 3.2.2 Dosagem experimental das composições .....       | 18 |
| 3.2.3 RCNC .....                                       | 19 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                        | 21 |
| 4.1 Caracterização física do solo natural.....         | 21 |
| 4.2 Ensaio de Compactação .....                        | 22 |
| 4.3 RCNC .....                                         | 24 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                           | 26 |
| REFERÊNCIAS .....                                      | 27 |

## **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.

### **1.1 Objetivos**

#### **1.1.1 Objetivo Geral**

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

#### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- a) Comparar a mistura original relativa à composição referência solo natural-RCV (10%, 20% e 30%);

- b) Analisar o efeito do material cerâmico no comportamento mecânico, segundo o ensaio de resistência à compressão não-confinada (RCNC); e
- c) Propor uma alternativa de destinação final ao RCV.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Solo**

De acordo com Rocha (2018) o solo é um recurso natural renovável, encontrado em diferentes posições no meio terrestre. Knappett e Craig (2015) explicam que para o Engenheiro Civil, o solo é qualquer agrupamento de partículas minerais soltas ou cimentadas, formada pela decomposição das rochas, sendo os espaços entre os grãos ocupados por água ou ar.

Para Pinto (2000), os solos têm sua origem na decomposição das rochas que integrava inicialmente a crosta terrestre, sendo a decomposição decorrente de agentes físicos e químicos. Os solos apresentam propriedades e características que os diferenciam, fato que decorre a partir da ação dos processos de intemperismo a que são submetidos às formações rochosas. São influenciados diretamente pelos fenômenos físicos, químicos e biológicos que atuam sobre a matriz rochosa formando um aglomerado de partículas não consolidadas (PICANÇO, 2012).

#### **2.1.1 Granulometria do solo**

A descrição quantitativa da textura de um solo é realizada por meio de sua granulometria, ou seja, das dimensões de seus grãos e da distribuição percentual dos grãos, em peso, em intervalos de dimensões determinadas por métodos de classificação de solos. As frações comumente utilizadas são: pedregulho, areia, silte e argila, sendo que os limites entre as frações podem apresentar pequenas variações de acordo com a norma (FRANÇA, 2003).

### **2.2 Estabilização ou melhoramento de solos**

A execução de obras de pavimentação requer, cada vez mais, a utilização de recursos disponíveis nas áreas de implantação da obra (OLIVEIRA, 2011). Entretanto, Dalla (2009), explica que se tratando de pavimentação, em alguns casos faz necessário ter bases granulares para realizar o pavimento, estas por vezes se localizam distantes da obra, ocasionando alto custo financeiro além da deterioração do meio ambiente pela exploração de jazidas. Por consequência, faz necessário se

adequar às condições da área de serviço, tendo como alternativa o melhoramento destes solos com o emprego de métodos de estabilização.

Para Senço (2001) a técnica de estabilizar um solo consiste em oferecer resistência de modo a resistir aos esforços oriundo do tráfego, ao longo de um certo período e ao emprego para o qual foi planejado. Misturas estabilizadas ocorrem em obras de pavimentação, empregando materiais granulares, solos ou ainda misturas de ambos, nas camadas de base, sub-base e reforços de subleito (BALBO, 2007).

Guimarães (2002) expõe que o procedimento de estabilização dos solos pode ser feito por diferentes técnicas, os quais são divididas em dois grupos:

a) Aqueles que utilizam métodos mecânicos: correção da granulometria e da plasticidade por meio da adição ou remoção de frações constituintes dos solos, até a obtenção de características de aplicabilidade exigidos pelas normas de regulamentação;

b) Aqueles que empregam procedimentos químicos: uso de aditivos, como o cimento Portland, a cal, silicatos de sódio, materiais asfálticos, resinas, compostos de fósforos, entre outros.

### 2.3.1 Estabilização granulométrica

A estabilização granulométrica, também conhecida como estabilização mecânica compreende na combinação e manuseio de solos, em proporção apropriada, de modo a obter um material final com características geotécnicas maior que os solos de originais, e adequado para a utilização situações específicas (VILLIBOR, 1982).

Para Souza (2014) a estabilização granulométrica possibilita a obtenção de um solo híbrido, a partir do processo de mistura de solos, com uma distribuição granulométrica bem graduada. Vale destacar que o processo de estabilização granulométrica é empregado para solos granulares com argilosos ou siltosos, objetivando obter parcela de resistência coesiva ao solo granular e, por outra perspectiva, resistência por atrito ao solo argiloso ou siltoso. O método também é utilizado para estabilizar agregados minerais, tornando-os mais densos.

Ainda de acordo com Souza (2014) o método é o mais tradicional, visto que a compactação dos solos sempre é necessária em qualquer obra geotécnicas, objetivando-se o aumento da massa específica aparente e à redução de vazios, o que possibilita, o que lhe confere aumento da resistência e rigidez e menor permeabilidade, além de exigir, em caso da utilização de algum tipo aglomerante (cimento, asfalto, cal e outros), o mínimo consumo desse aglomerante (SENÇO, 2001).

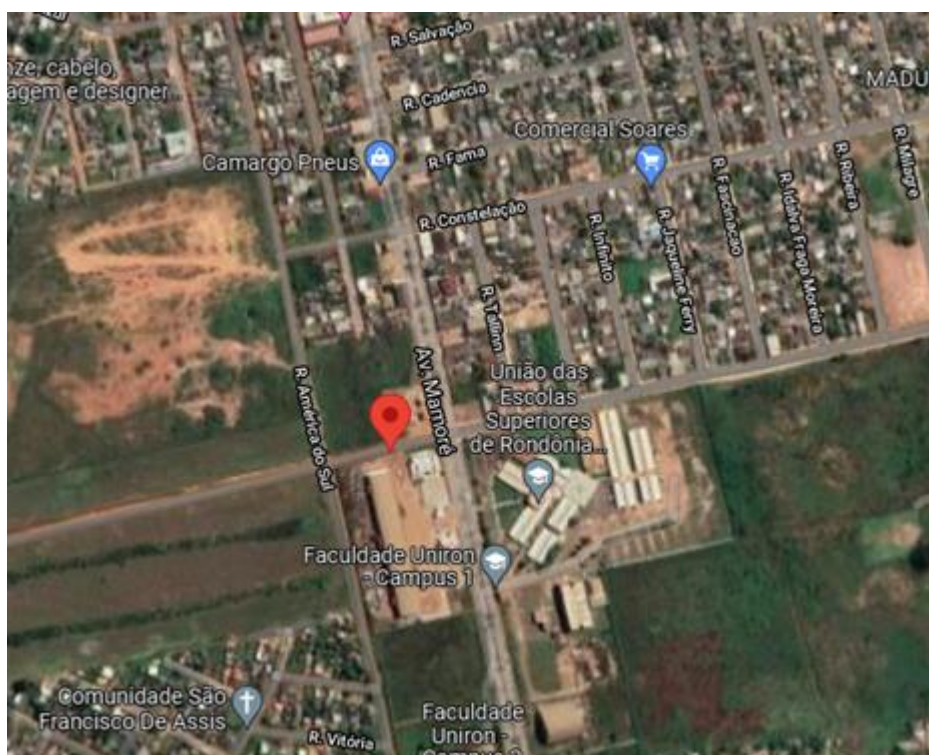
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais Utilizados

##### 3.1.1 Solo

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

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



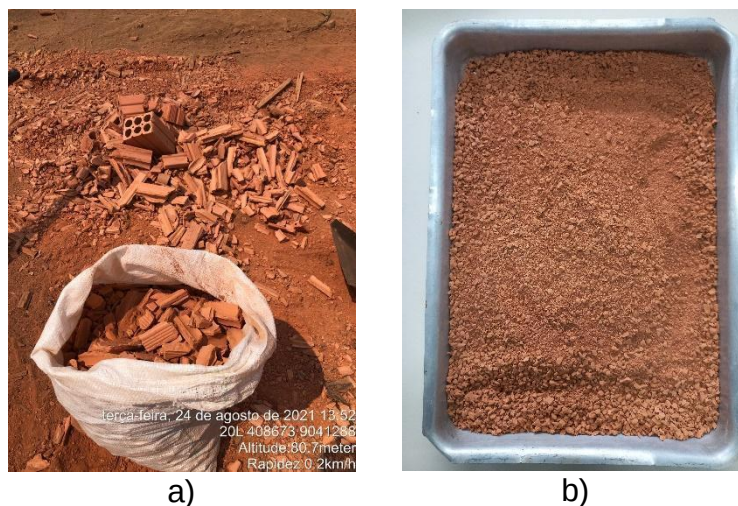
Fonte: Autores (2022).

##### 3.1.2 RCV

O RCV (Figura 2) utilizado foi obtido em uma em uma fábrica de cerâmica localizada na região de Porto Velho/RO. Após a coleta, as amostras foram submetidas ao processo de trituração, obtendo um material semelhante a granulometria de um solo com textura arenosa. Posteriormente ao procedimento de fragmentação do

material, o produto foi passado na peneira de 4,8mm, sendo utilizado para as misturas apenas o material passante na peneira de 4,8mm.

Figura 2: a) Tijolo cerâmico quebrado; e b) Material passante na peneira 4,8mm



Fonte: Autores (2022).

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Caracterização física das amostras de solo

Para realização dos ensaios convencionais de caracterização física, as amostras de solos foram secadas ao ar livre (Figura 3a), destorroadas, peneiradas e armazenadas em sacos plásticos (Figura 3b) para sua utilização nos respectivos ensaios geotécnicos, conforme prescritos pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), conforme a norma DNER-ME 041/1994 (Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização).

Figura 3: a) Secagem do solo ao ar livre, e b) Armazenamento dos solos em sacos plásticos



Fonte: Autores (2022).

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.

### 3.2.2 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 (SRCV-80/20) e amostra de solo com 30% de RCV (SRCV-70/30), em relação ao peso seco do solo. A Figura 4 ilustra o processo de mistura do solo e 10% de RCV.

Figura 4: Procedimento de mistura solo + 10% de RCV



Fonte: Autores (2022).

### 3.2.3 RCNC

Para determinação do ensaio de RCNC de cada uma das misturas foram moldados 5 corpos de prova para cada mistura (Figura 5). Os ensaios de RCNC foram realizados nos tempos de cura de 0 e 7 dias.

Figura 5: Corpos de prova após confecção



Fonte: Autores (2022).

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 (mm<sup>2</sup>).

O equipamento utilizado foi uma máquina universal para ensaio de tração e compressão, localizada no Laboratório da empresa Betontech Tecnologia de Concreto Ltda. Na Figura 6 é mostrado o procedimento experimental de ruptura dos corpos de prova.

Figura 6: Ensaio de RCNC: a) Preparação do corpo-de-prova; e b) Corpo-de-prova após o ensaio



Fonte: Autores (2022).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização física do solo natural

Nas Tabelas 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 <sup>3</sup> ) | 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 Tabelas 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 original é classificado como argila siltosa (CL), na prática, o solo trata-se de um material inadequado para utilização em subcamadas de pavimento rodoviário (DAS, 2014).

#### 4.2 Ensaio de Compactação

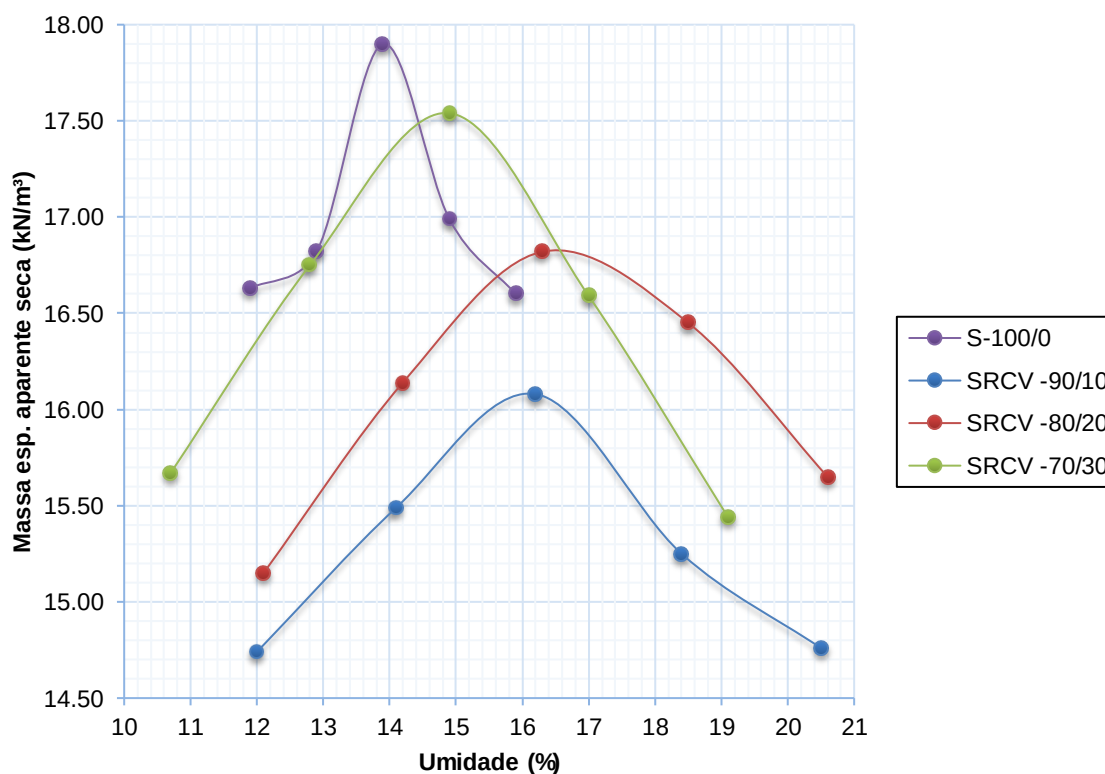
As curvas de compactação na energia normal são mostradas na Tabela 3 e na Figura 7 estão apresentados os resultados obtidos dos ensaios de compactação realizados com energia normal do ensaio Proctor.

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 <sup>3</sup> ) |
|------------|-------------------|------------------------------------------------------------|
| 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 (2021).

Figura 7: Curvas de Compactação



Fonte: Autores (2022).

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.

### 4.3 RCNC

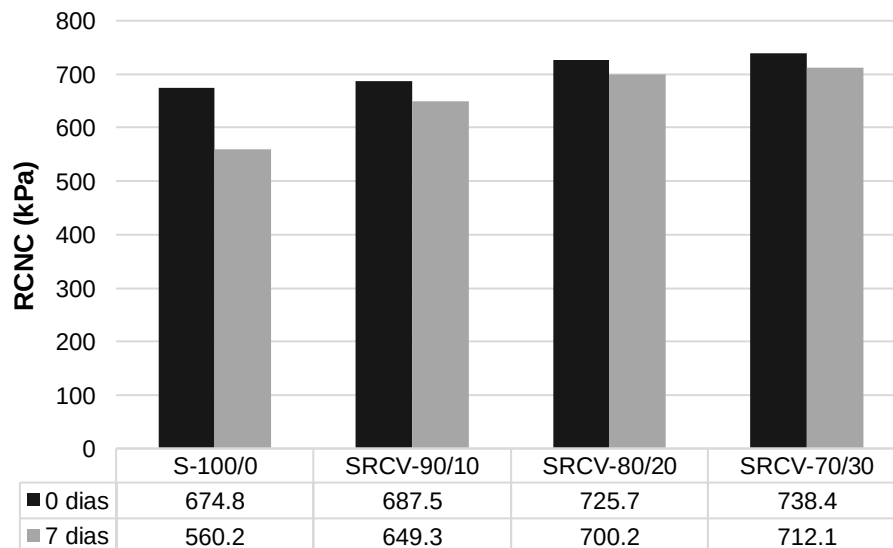
Os resultados do ensaio de RCNC encontram-se dispostos na Tabela 4 e Figura 8.

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 8: RCNC das misturas aos 0 e 7 dias



Fonte: Autores (2022).

Pelos resultados presentes na Tabela 4 e Figura 8, 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.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

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.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal**. Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil 2ª ed. São Paulo: Pini, 2002.

KNAPPETT, 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.

SOUSA, I. M. **Utilização de resíduo oleoso proveniente da indústria de petróleo aplicando a técnica de estabilização/solidificação em camadas de base de pavimentos,** UFERSA, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil, 2014.

VILLIBOR, D. F. **Estabilização Granulométrica ou Mecânica.** São Carlos, 1982.