



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GISELLE TOMÉ

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE CERÂMICA
VERMELHA NOS PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO E RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE MISTURAS COM SOLO LATERÍTICO E CIMENTO**

PAU DOS FERROS

2024

GISELLE TOMÉ

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE CERÂMICA
VERMELHA NOS PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO E RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE MISTURAS COM SOLO LATERÍTICO E CIMENTO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Daniel Jales
Silva

PAU DOS FERROS
2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Ti Tomé, Giselle.
 INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE
 CERÂMICA VERMELHA NOS PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO E
 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE MISTURAS COM SOLO
 LATERÍTICO E CIMENTO / Giselle Tomé. - 2024.
 55 f. : il.

 Orientador: José Daniel Jales Silva.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
 2024.

 1. RCV. 2. Incorporação. 3. Desenvolvimento
 sustentável. 4. Resistência. 5. Impacto
 ambiental. I. Jales Silva, José Daniel , orient.
 II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

 Biblioteca Campus Pau dos Ferros
 Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
 CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

GISELLE TOMÉ

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE CERÂMICA
VERMELHA NOS PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO E RESISTÊNCIA
À COMPRESSÃO DE MISTURAS COM SOLO LATERÍTICO E CIMENTO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 17 / 04 / 2024 .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Daniel Jales Silva (UFERSA)

Presidente

Me. Vinícius Navarro Varela Tinoco (UFERSA)

Membro Examinador

Prof. Me. Paulo Leite de Souza Júnior (IFRN)

Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças e por ter feito eu conseguir finalizar esta etapa tão esperada por mim e por minha família, sem Ele eu não seria nada.

Agradeço aos meus avós Tereza e José que também são os meus pais, escutam meus medos, minhas angústias e fazem com que eu seja uma pessoa mais forte, sempre me impulsionam para eu correr atrás dos meus sonhos e daquilo que é importante para mim, essa vitória também é de vocês.

Agradeço a minha mãe Gilzete, por ter feito parte desse sonho e ter me ajudado com tudo que eu precisava, mesmo na distância nunca me desamparou.

Agradeço a minha madrinha e tia Gilvana, suas ligações todos os sábados fizeram a caminhada ficar mais leve, e dividir seus medos da faculdade me fez perceber que não estou sozinha nessa e tenho com quem contar.

Agradeço também aos professores que me ajudaram a chegar aqui, são muitos, mas em especial agradeço ao meu orientador Daniel por ter aceitado me orientar e repassar seus conhecimentos, se esse semestre irei me formar foi graças ao senhor que aceitou o meu convite e não me deixou na mão, você que sempre incentivou e sempre esteve presente quando tinha alguma dúvida, meu muito obrigada por tudo. Aproveito para agradecer também a banca por ter aceitado participar de forma significativa com o trabalho, acrescentando-o e deixando mais enriquecido.

Agradeço as minhas primas e irmãs Thais e Camila, pelas conversas e chamadas, pelos memes trocados nas redes sociais, por fazerem os dias ficarem mais leves e por sempre terem acreditado em mim e no meu potencial.

Agradeço ao meu primo e irmão Victor, que desde o começo sempre esteve comigo, me ensinando tudo e hoje é um profissional excelente, que sempre está apto para me ensinar quando não sei de algo. Essa conquista é nossa!

Agradeço ao meu namorado Marlos por todo apoio, pelas ligações, conversas, por sempre ter me escutado quando mais precisei de alguém e por confiar em mim e na minha capacidade, por sempre ter me incentivado a correr atrás dos meus sonhos e por vibrar junto com as minhas conquistas.

Agradeço a minha tia Lourdes, minha prima Vera, meus bisavós Eliza Uchoa e Victor Do Ó, meu padrinho Luiz, minhas irmãs Manuela e Rafaela, meus tios e primos,

meu pai postigo Marcos, por todo o apoio prestado durante esse tempo, por serem atenciosos e por vibrarem essa conquista junto comigo.

Agradeço aos meus amigos do grupo do whats “Gossipinhas”, vocês que me ampararam, me escutaram, com quem dividi boa parte dos meus dias da faculdade e que deixaram tudo mais leve, foi mais fácil traçar esse percurso ao lado de vocês. Desejo sucesso acada um!

Agradeço a minha duplinha da faculdade pós pandemia, Wanessa, com quem dividi a maioria das disciplinas e sempre estávamos uma ao lado da outra, dividindo os perrengues ou dando boas risadas.

Agradeço aos meus parceiros de laboratório Luan e Henrique, que estavam todos os dias comigo, me ajudando, podia fazer chuva ou sol, vocês não só me ajudaram como também fizeram meu trabalho e meus ensaios juntos, todo agradecimento do mundo ainda é pouco paravocês, foi feito um laço que jamais irá desatar.

Agradeço no geral a todos os meus parentes e amigos que se fizeram presente nessa minha jornada, seja mandando uma mensagem, seja conversando pessoalmente, seja fazendo uma ligação para me fazer ficar bem, vocês sabem das minhas lutas e o quanto foi difícil chegar até aqui, mas o fim está mais perto do que o começo, e falta um passo só para um dos meus sonhos se tornar realidade.

EPIGRAFE

“O tamanho dos seus sonhos deve sempre exceder a sua capacidade de alcança-los. Se os seus sonhos não te assustam, eles não são grandes o suficiente.”

Ellen Johnson Sirleaf

RESUMO

A construção civil tem tido um avanço de forma rápida, e isso faz com que as cidades se desenvolvam mais e a economia tenha um impulsionamento para crescer, no entanto, ao passo que esse avanço acontece se tem também um aumento na quantidade de geração dos resíduos. Muitas vezes não se sabe ao certo o que fazer com esses resíduos e eles são descartados de maneira errada, gerando um impacto ambiental. A busca por alternativas sustentáveis tem sido um desafio encontrado para os Engenheiros Civis, pois ao passo que se tem uma redução nos recursos naturais, eles estarão fazendo o reuso de materiais já existentes abundantemente e fazendo a reciclagem deles, como é o caso do RCV, que é encontrado em olarias e são gerados pelas falhas ocorridas na hora da produção, sendo descartados e não apresentando nenhuma serventia mais para a olaria. O presente trabalho tem como objetivo analisar a incorporação desse resíduo na composição do solo-cimento, trazendo alguns parâmetros para serem discutidos e comparados como a massa específica aparente seca encontrada, umidade ótima, análise granulométrica e compressão simples. De início foram realizadas pesquisas bibliográficas afim de compreender o que seria o resíduo e como ele está disposto nas olarias, incluindo ainda o impacto que ele pode causar se descartado de maneira errada no meio ambiente. Seguindo para os materiais, realizou-se ensaios tanto para o solo puro, como para o solo com adição do cimento, como também para o solo com adição do cimento e do resíduo, afim de caracterizar melhor e obter resultados com os ensaios de massa específica, compactação, LL e LP, compressão simples e análise granulométrica. Para os ensaios houveram diferentes dosagens nos corpos de prova, aqueles com a adição do RCV variaram de 10%, 20% e 30%, como indica a literatura. Durante o estudo percebeu-se que o RCV possui características de um agregado, quando incorporado a mistura de solo-cimento apresenta uma diminuição na massa específica aparente seca máxima. Também se percebeu de imediato que o resultado da resistência a compressão aumentou significativamente quando comparado ao solo puro e ao solo com inserção de cimento, fazendo também que aumentasse a resistência ao passo que era aumentada a porcentagem do resíduo inserido no corpo de prova. Dentre as amostras a que apresentou maior resistência foi a que apresentava o corpo de prova de solo, cimento e 30% de resíduo na composição. Logo, a incorporação do RCV proporciona melhores resultados ao solo-cimento, além de promover o meio ambiente pela redução dos resíduos descartados. Portanto, se recomenda realizar novas pesquisas afim de encontrar parâmetros melhores com maiores resistências e mais qualidade.

Palavras-chave: RCV; solo-cimento; incorporação; desenvolvimento sustentável; resistência; impacto ambiental.

ABSTRACT

Civil construction has been advancing rapidly, and this means that cities are developing more and the economy has a boost to grow, however, as this progress happens there is also an increase in the amount of waste generation. . Often it is not known exactly what to do with this waste and it is disposed of incorrectly, causing an environmental impact. The search for sustainable alternatives has been a challenge faced by Civil Engineers, because while there is a reduction in natural resources, they will be reusing existing materials abundantly and recycling them, as is the case with RCV, which is found in potteries and is generated by failures that occurred during production, being discarded and having no further use for the pottery. The present work aims to analyze the incorporation of this residue in the soil-cement composition, bringing some parameters to be discussed and compared such as the apparent dry mass found, optimum humidity, granulometric analysis and simple compression. Initially, bibliographical research was carried out in order to understand what the waste would be and how it is disposed of in brickworks, including the impact it can cause if disposed of incorrectly in the environment. Moving on to the materials, tests were carried out for both the pure soil, the soil with the addition of cement, as well as the soil with the addition of cement and residue, in order to better characterize and obtain results with the specific mass tests. , compaction, LL and LP, simple compression and granulometric analysis. For the tests, there were different dosages in the specimens, those with the addition of RCV varied from 10%, 20% and 30%, as indicated in the literature. During the study it was noticed that the RCV has characteristics of an aggregate, when incorporated into the soil-cement mixture it presents a decrease in the maximum apparent dry mass. It was also immediately noticed that the compressive strength result increased significantly when compared to the pure soil and the soil with cement insertion, also causing the resistance to increase while the percentage of residue inserted in the specimen was increased. Among the samples, the one that presented the greatest resistance was the one with the soil test piece, cement and 30% residue in the composition. Therefore, the incorporation of RCV provides better results for the soil-cement, in addition to promoting the environment by reducing discarded waste. Therefore, it is recommended to carry out further research in order to find better parameters with greater resistance and better quality.

Keywords: RCV; cement soil; incorporation; sustainable development; resistance; environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Perfil de solo mostrando a divisão entre os horizontes.....	21
Figura 2	– Fluxograma das etapas que foram desenvolvidas	25
Figura 3	– Solo laterítico encontrado entre Rafael Fernandes – RN e Marcelino Vieira – RN	26
Figura 4	– Tijolos na cidade de Marcelino Vieira – RN.	27
Figura 5	– Entulho na Olaria de Marcelino Vieira – RN.	27
Figura 6	– Resíduo sendo triturado na máquina Abrasão Los Angeles	28
Figura 7	– Resíduo triturado e peneirado	28
Figura 8	– Massa específica do solo e RCV.....	29
Figura 9	– Peneiras para análise granulométrica	30
Figura 10	– Demonstração do ensaio LP do solo.	31
Figura 11	– Demonstração do ensaio do LL do RCV.....	32
Figura 12	– Corpo de prova composto por solo após o ensaio de compressão.....	33
Figura 13	– Demonstração do ensaio do LL do RCV.....	34
Figura 14	– Misturas para o ensaio de compactação.....	35
Figura 15	– Processo de compactação utilizando um soquete grande	36
Figura 16	– Corpo de prova sendo retirado do cilindro e sendo armazenado durante 7 dias.	36
Figura 17	– Análise granulométrica do solo e do RCV.....	36
Figura 18	– Curva de compactação para o solo	36
Figura 19	– Curva de compactação para o solo-cimento.....	36
Figura 20	– Curva de compactação para 10% de RCV.....	36
Figura 21	– Curva de compactação para 20% de RCV.....	36
Figura 22	– Curva de compactação para 30% de RCV.....	36
Figura 23	– Resultados do ensaio de compressão com as médias para cada caso de material.	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Tipos de solo e seus respectivos tamanhos.....	22
----------	---	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Diâmetros utilizados para o ensaio de análise granulométrica	32
Tabela 2	–	Porcentagens dos materiais nas composições dos corpos de prova	37
Tabela 3	–	Resultados da massa específica aparente seca e umidade ótima.	46
Tabela 4	–	Quantidades e misturas dos corpos de prova.....	44
Tabela 5	–	Resultados da resistência à compressão do solo.	47
Tabela 6	–	Resultados do corpo de prova composto por solo e cimento.....	47
Tabela 7	–	Resultados do corpo de prova composto por solo, cimento e RCV.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
NBR	Norma Técnica
RCV	Resíduo de Cerâmica Vermelha

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	Geral	19
2.2	Específicos	19
3	REVISÃO TEÓRICA	20
3.1	RCV	20
3.2	SOLO LATERÍTICO	20
3.3	SOLO CIMENTO	21
3.4	MELHORAMENTO DO SOLO.....	22
4	METODOLOGIA	24
4.1	Materiais e Métodos	25
4.1.1	Solo	25
4.1.2	Água	26
4.1.3	RCV	26
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	29
4.2.1	Massa específica.....	29
4.2.2	Granulometria	29
4.2.3	Ensaio de compactação.....	30
4.2.4	Limite de Plasticidade (LP).....	31
4.2.5	Ensaio do Limite de Liquidez (LL).....	32
4.2.6	Ensaio de Compressão Simples	32
4.3	PLANEJAMENTO DAS MISTURAS E CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	33
4.3.1	Dosagem dos corpos de prova	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1	Análise granulométrica do solo e do RCV	36
5.2	Ensaio de Massa específica.....	38
5.3	Ensaio de Limite de Liquidez (LL) do solo.....	42

5.4	Ensaio do Limite de Liquidez (LL) do RCV	43
5.5	Ensaio do Limite de Plasticidade (LP) do solo	43
5.6	Ensaio do Limite de Plasticidade (LP) do RCV.....	43
5.7	Ensaio de Compactação.....	43
5.8	Ensaio de Compressão Simples	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A preocupação que se tem com resíduos no Brasil, é relativamente recente se comparada com outros países, como os Estados Unidos (EUA), que no final de 1960 já possuía uma política para resíduos. Ainda que haja alguma evolução em relação à reciclagem de resíduos domiciliares, o Brasil ainda permanece distante de políticas mais abrangentes como a dos EUA que realizam a compra preferencialmente de produtos que sejam ambientalmente saudáveis (AGOPYAN; JOHN, 2001).

A inquietação a respeito da sustentabilidade vem crescendo diariamente em todas as áreas, é perceptível a busca por maneiras alternativas para aumentar a eficiência da produção e gerar menos impactos ambientais, garantindo dessa maneira a manutenção de recursos naturais e possivelmente uma maior qualidade de vida para as gerações futuras. Isso se deve pelo fato de que os recursos naturais que são extraídos acabam resultando na geração de resíduos que podem provocar danos ambientais, algumas vezes até irreversíveis (MILANI et al., 2007). A construção civil se encontra como um dos setores que mais consomem recursos naturais. Além disso, acaba se tornando a maior geradora de resíduos dentro da malha urbana e a falta de políticas adequadas faz com que esses resíduos sejam despejados irregularmente. Essa disposição inadequada acaba acarretando problemas que afetam negativamente a sociedade (ÂNGULO; JOHN, 2002).

De acordo com a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), cada município deve criar um próprio sistema para reaproveitamento e gerenciamento dos resíduos advindos da construção civil, e estes não devem ser destinados para aterros sanitários.

Alguns estudos mostram que pode haver a incorporação desses resíduos em vários setores, no entanto, como o setor da construção civil é o que mais produz esses resíduos, ele é o mais indicado para fazer uso dessa alternativa. Segundo John (2000), existe uma demanda enorme de agregados no uso da construção civil, gerando dessa maneira toneladas de entulhos por ano e representando um problema ambiental, sendo que, grande parte desse resíduo poderia ser reaproveitado, como é o caso do RCV (resíduo da cerâmica vermelha), que é um produto da fabricação de material cerâmico com argila e possui potencial para ser utilizado na indústria civil.

Segundo estudos realizados por Lucas Pinto (2000), os materiais podem ser aproveitados na própria indústria civil, na confecção de tijolos prensados feitos com solo-

cimento. Uma das grandes vantagens desses blocos é que eles apresentam a possibilidade de adição de outros componentes, como é o caso do RCV. Essas adições fazem com que se tenha um melhoramento da qualidade dos blocos, e o material apresenta um resultado final com um desempenho térmico, acústico e com um menor custo. Portanto, procurou-se um solo que pudesse substituir o solo cru e o material cerâmico, e que tivesse um desempenho satisfatório como material construtivo.

Alguns estudos mostram a busca pelo desenvolvimento dos materiais advindos da construção civil de baixo custo, reaproveitando e reciclando os resíduos ou entulhos para utilizar como agregados em argamassas ou concreto (NUNES, et al., 2007).

Ao passar do tempo, surgem alguns desafios na engenharia, que se trata do melhoramento do solo através de técnicas de estabilização, como a compactação, correção da granulometria e a adição de outros materiais, fazendo com que o solo ganhe resistência às cargas e aos desgastes (ARCANJO, 2018).

Vale ressaltar que uma má destinação do RCV pode acabar provocando impactos ambientais. Esses resíduos podem ser reaproveitados em técnicas de melhoramento do solo, porém para isso é necessário um conhecimento amplo sobre os impactos dos fatores que governam a eficácia do processo de melhoria.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Verificar a influência da incorporação do resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de compactação e resistência do solo cimento compactado.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência do teor de RCV nos parâmetros de compactação do solo cimento: umidade ótima e peso específico seco máximo;
- Verificar a influência do teor de RCV na resistência à compressão simples do solo melhorado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 RCV

O termo “cerâmica” significa “terra queimada” ou “argila queimada”, ou seja, um material que é obtido a partir da argila umedecida e torna-se maleável quando submetido a altas temperaturas (ANICER, 2015). A indústria cerâmica atualmente é de extrema importância devido a diversidade de aplicações e variações. Sendo dividida em duas formas, a cerâmica branca e a vermelha, que acaba dando origem a azulejos e pisos, e esta última forma sendo derivada de tijolos e telhas (AZEVEDO et al., 2018). A cerâmica vermelha é também conhecida como cerâmica estrutural e compreende uma diversidade de materiais, como tijolos, telhas, pisos rústicos e agregados de argila (ABC, 2011).

A indústria de cerâmica brasileira é responsável por contribuir com aproximadamente 1% do PIB do Brasil. Esse setor acaba gerando cerca de 130 milhões de toneladas de cerâmica vermelha e aproximadamente 6,5 milhões de toneladas de resíduos por ano (GARCIA, 2014).

Para Souza et. al. (2018) as perdas que ocorrem nas indústrias de cerâmica vermelha, varia entre 5% e 20%, considerando indústrias tanto antigas como as mais modernas. No Brasil, essas perdas são estimadas em 10% pelo fato da diversidade das cerâmicas.

A reutilização dos resíduos provenientes da construção civil é algo cada vez mais visto ultimamente, principalmente com o intuito de diminuir os impactos ambientais e fazer com que esses resíduos sejam destinados corretamente. Estes, por sua vez, podem ser utilizados nas mais variadas formas, como por exemplo na composição de concretos, buscando alcançar as propriedades específicas e o melhoramento, bem como a durabilidade e resistência do material (CHAUDARY, 2019).

De acordo com Cabalar, Hassan e Abdulnafaa (2016) a adição de materiais granulares em solos permite o melhoramento do comportamento mecânico, dependendo do valor de adição ou substituição.

Os resíduos provenientes da cerâmica vermelha representam cerca de até 7% da produção dos materiais cerâmicos, representando dessa forma milhões de toneladas descartadas anualmente (ARAUJO et. al., 2019). A geração desses resíduos é cada vez mais preocupante visto que sua deposição é limitada, sem haver lugar correto para

armazenamento (BOORSE, 2016).

Se tratando da cerâmica vermelha, um dos impactos produzidos é a mineração de argila, podendo provocar alteração da topografia e erosão por fazer o processo da camada superficial e provocar o aprofundamento do solo (LANDIM, *et. al.*, 2019). A indústria da cerâmica vermelha em função da necessidade da queima dos seus produtos, torna-se uma grande consumidora de energia (ALMEIDA, 2014).

As cinzas geradas no processo de queima na indústria da cerâmica vermelha, possui impactos como a poluição do ar e possibilidade de gerar problemas respiratórios, visto que são ricas em compostos a base de cálcio, silicosos ou sílico-aluminosos (NASCIMENTO, *et. al.*, 2019).

Os resíduos provenientes da cerâmica vermelha são dispostos irregularmente de maneira desordenada, além de gerar perdas econômicas também causam incômodo visual e mobilização de grandes áreas para armazenagem (AZEVEDO, 2017). A areia é também utilizada como agregado na construção civil, sua extração tem consequências como erosão das encostas, alteração dos rios e destruição de ecossistemas aquáticos (MELO, 2007).

Segundo Silva e Silva (2017) a geração de resíduos gerados após a etapa de queima pode representar cerca de 30% dos resíduos sólidos gerados dentro da indústria cerâmica, tornando-se dessa maneira um passivo ambiental com enormes proporções.

Os resíduos gerados na construção cerâmica apresentam grandes impactos ambientais como o grande consumo energético, a emissão de gases poluentes e a geração dos resíduos sólidos (ARAÚJO, 2017).

3.2 SOLO LATERÍTICO

O solo laterítico trata-se de uma variedade do solo superficial pedogenético, típico das regiões tropicais úmidas. Portanto, a presença desse tipo de solo em regiões que não possuem esse clima pode servir de indicativo de que a localidade já apresentou tais climas em um passado geologicamente recente.

Esse tipo de solo está sujeito a laterização e possui algumas características, como baixo percentual de silte, alta porosidade e agregação de partículas finas. Essas características são decorrentes da estrutura e composição, e influenciam diretamente na resistência, deformação e permeabilidade (CRUZ, 2004).

De acordo com Nogami et al (1996), os solos lateríticos constituem a parte mais

superficial do subsolo, encontram-se acima do lençol freático. Esse tipo de solo possui uma coloração característica sendo ela alaranjada ou vermelha, e possuem um formato uniforme.

Esse tipo de solo pode ser empregado em edificações por meio de tijolos e blocos, mas também pode ser encontrado em técnicas de pavimentação ou transformado em outros minerais.

Abaixo, na Figura 1, pode-se notar um perfil de solo onde fica claro a divisão entre os horizontes.

Figura 1 – Perfil de solo mostrando a divisão entre os horizontes.



Fonte: MARANGON, 2004.

3.3 SOLO CIMENTO

De acordo com Mota et. al. (2010), o tijolo de solo cimento como o próprio nome já sugere, é composto por dosagens de solo, cimento e água, e a resistência que esse tijolo possui é comparada a resistência de um tijolo convencional, ele é bastante utilizado quando se quer melhorar o desempenho mecânico dos solos.

Segundo Silva (2015), trata-se de um tijolo comumente conhecido por ser ecológico, pois tem uma matéria prima abundante e um baixo custo, e principalmente, por não necessitar ser queimado. O uso do solo melhorado é um dos mais antigos métodos populares de construção e seu principal material, o solo, é muito utilizado por ser encontrado abundantemente (LIMA, 2010).

Saber o perfil do solo e dos horizontes facilita na hora de analisar os parâmetros encontrados no solo cimento. De acordo com Pinto (2000), a partícula dos solos é uma

característica primordial para diferenciar os tipos existentes, visto que ocorrem diferenças relacionadas a determinação daquele tipo de solo. O Quadro 1 abaixo mostra os tipos de solo e os tamanhos que eles possuem.

Quadro 1 – Tipos de solo e seus respectivos tamanhos.

Tipos	Tamanho (mm)
Pedregulho	60 a 2
Areia	2 a 0,06
Silte	0,06 a 0,002
Argila	<0,002

Fonte: ABNT NBR 6502 (1995) – Rochas e Solos.

Segundo Lopes (2002), a maioria dos solos podem ser utilizados para a fabricação do solo cimento, e estes geralmente apresentam 85% de solo em sua composição, e uma porcentagem bem menor de cimento. De acordo com a ABCP (2000), os solos mais adequados para a fabricação do solo-cimento são aqueles que passam 100% dos grãos pela peneira de malha 4,8 mm, apresenta um índice de plasticidade menor ou igual a 18% e limite de liquidez menor ou igual a 45%.

O cimento é definido como um material moído que forma uma pasta endurecida quando misturado com água (VIEIRA, 2010). Segundo Grande (2003), o cimento é feito através da moagem do clínquer e possui adição de gesso para que se tenha um controle de hidratação. O que irá variar nos tijolos de solo-cimento é justamente o teor de cimento que será adicionado ao solo, onde a finalidade é ter uma composição granulométrica mais adequada e o enrijecimento do material que será formado, dentre outras características.

3.4 MELHORAMENTO DO SOLO

Segundo DNIT (2006) o solo melhorado com cimento é aquele que possui um baixo teor de cimento, variando de 2% a 4%, tendo em vista a melhora da plasticidade. Existem várias técnicas para melhoramento do solo, dentre elas pode-se citar a mistura de aditivos não tradicionais ou adições feitas com cal e cimento (PETRY E LITTLE, 2002).

A estabilização do solo trata-se de um melhoramento das características físicas e químicas, a escolha do tipo de melhoramento do solo irá ser feita de forma econômica, mas também técnica, por isso é necessário saber para o que aquele solo em específico irá servir. Na atualidade existem diversos estabilizantes, podendo ser a compactação do solo, correção

granulométrica, dentre outros (BATISTA, 1976).

Também pode ser utilizada a estabilização química, onde sua estrutura é modificada, no entanto, o solo se torna mais resistente, permeável e compressível. Essa estabilização é feita com a incorporação de aditivos químicos que irão promover uma umidade ótima para o solo, os estabilizantes no geral podem ser de origem cimentícia ou produtos industriais (MAKUSA, 2013).

4 METODOLOGIA

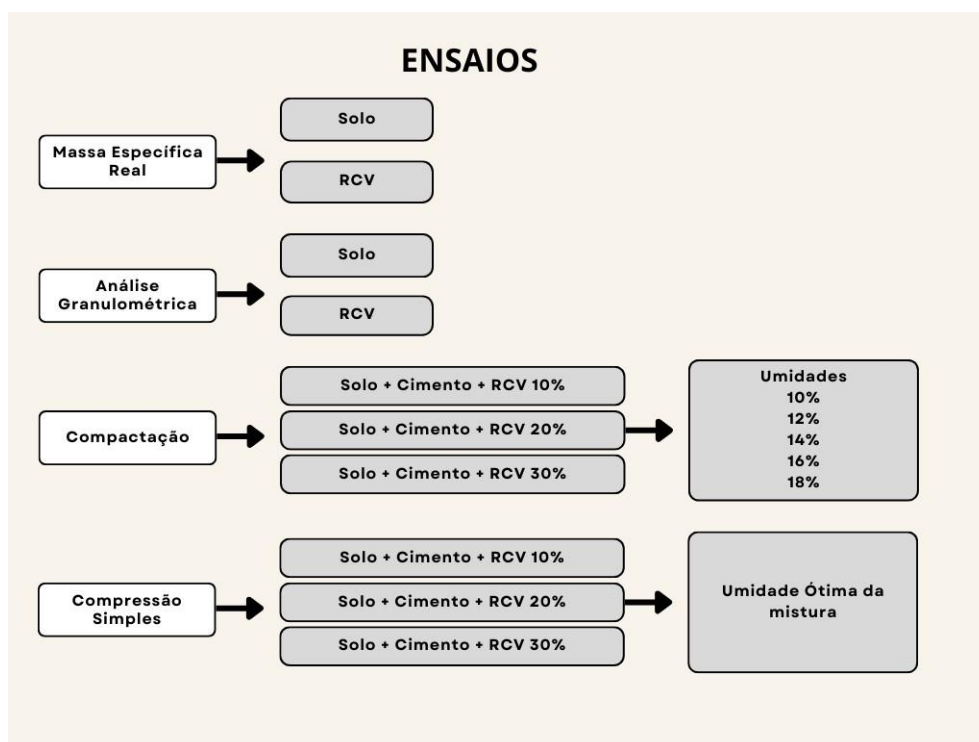
Para saber a influência da granulometria em determinado resíduo, é necessário que se conheça as propriedades do material, e além disso, verificar alguns pontos importantes como a compactação e resistência, para só então ter um resultado satisfatório acerca do resíduo analisado.

Primeiramente, realizou-se uma busca por informações bibliográficas sobre o uso do resíduo – RCV – em técnicas de melhoramento de solo. A partir do resultado da pesquisa foram definidas as granulometrias necessárias, o teor de cimento e as dosagens que seriam utilizadas para a análise de comportamento do tijolo de solo-cimento com adição do RCV.

Após a pesquisa bibliográfica foi necessário visitar alguma olaria próxima a cidade de Pau dos Ferros – RN, a fim de conseguir os resíduos provenientes da cerâmica vermelha. A olaria escolhida trata-se da Cerâmica Vieirense, localizada na cidade de Marcelino Vieira – RN, localizada a cerca de 25 km de Pau dos Ferros. Com o recolhimento desses materiais foi prosseguido para a realização dos ensaios de compactação, compressão simples, massa específica e análise granulométrica.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geologia, Pavimentação e Solos, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Ufersa, campus Pau dos Ferros. Após a caracterização dos materiais, procedeu-se à produção dos corpos de prova e os ensaios de desempenho. A Figura 2 apresenta um esquema mostrando as etapas e os ensaios que ocorreram.

Figura 2 – Fluxograma das etapas que foram desenvolvidas.



Fonte: Autória própria, 2024.

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1.1 Solo

Para que fosse possível realizar os ensaios, foi preciso recolher uma quantidade considerável de solo. O solo escolhido foi o Solo Laterítico, muito abundante na região. O solo adquirido estava em formato de pilha e exposto ao sol, e foi retirado na região entre as cidades de Rafael Fernandes – RN e Marcelino Vieira – RN. Foi realizada uma coleta amolgada em uma amostra do solo para que pudessem ser realizados os ensaios de granulometria, compactação, massa específica e compressão simples, possibilitando também a caracterização do solo que iria ser utilizado nestes testes.

Para a realização dos ensaios, primeiramente foi necessário secar todo o solo que seria utilizado em uma estufa em um período de tempo de 24 horas. Após a secagem o solo foi destorroado e passado na peneira 4,75 mm visando a obtenção de um material com a fração granulométrica das areias. Para o material resultante foi realizado o processo de análise granulométrica pelo método do peneiramento. A Figura 3 mostra o tipo de solo e a forma como estava amontoado.

Figura 3 - Solo laterítico encontrado entre Rafael Fernandes – RN e Marcelino Vieira – RN.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.1.2 RCV

O resíduo colhido foi proveniente da sobra de material (entulho) que estava disposto na olaria, e foi colocado em um saco grande de aproximadamente 150 kg para que pudesse ser transportado. Na Figura 4 é possível observar a forma como os tijolos estão dispostos na olaria.

Figura 4 - Tijolos na cidade de Marcelino Vieira – RN.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Como foi citado anteriormente, para que não houvesse um desperdício do material, optou-se por recolher o entulho que estava ali próximo, pois apenas estavam um pouco quebrados e isso não iria interferir nos ensaios. Na Figura abaixo, tem-se a forma como o entulho estava na olaria.

Figura 5 – Entulho na Olaria de Marcelino Vieira – RN.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Ao chegar no laboratório, o primeiro passo a ser feito foi triturar o RCV na máquina Abrasão Los Angeles com esferas de aço para triturar a cerâmica, como mostra a Figura 6, com um tempo exato de 15 minutos, pois inicialmente fez um teste com 10 minutos e depois 15 minutos, e percebeu-se que este último tempo foi o ideal para que as partículas do RCV ficassem menores e facilitassem os ensaios. O funcionamento da máquina consiste em um cilindro rotacionando em um eixo axial, e com esse movimento as esferas vão se chocando com o material grosseiro e tornando as partículas menores. Após triturar todo o material, foi necessário peneirar na peneira de malha 4,75 mm visando a obtenção de um material granular similar a um solo com partículas na fração de areia ou menor, para só então poder utilizar o resíduo para os demais ensaios que deveriam ser realizados.

Figura 6 – Resíduo sendo triturado na máquina Abrasão Los Angeles.



Fonte: Autoria própria, 2024.

A Figura 7 abaixo mostra o resíduo após ser triturado na máquina e posteriormente o resíduo depois de peneirado, já pronto para uso.

Figura 7 – Resíduo triturado e peneirado.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.2.1 Massa específica

A massa específica do solo foi obtida de acordo com os parâmetros estabelecidos pela NBR 6508/1978. Segundo Pinto (2000), as massas específicas são as relações que existem entre a quantidade de massa e volume. O ensaio irá determinar a massa específica real, onde sua finalidade é conhecer o volume que o material irá ocupar e, portanto, cooperar com uma melhor precisão acerca do que será produzido.

É de suma importância a determinação da massa específica, pois através dela, pode-se determinar outras propriedades importantes como a massa dos materiais da mistura. Para a realização do ensaio de massa específica foi necessário pesar a amostra seca e colocar em submersão por 24 horas para sua saturação, como mostrada na Figura 8.

Figura 8 - Massa específica do solo.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Após as 24 horas, a amostra foi transferida para o copo de dispersão e este foi preenchido com água destilada até a metade e dispersado por 15 minutos. Depois, foi transferida para o picnômetro e completado com água destilada até a metade novamente e foi aplicado um vácuo de aproximadamente 90 kPa por 15 minutos. O processo foi repetido por mais duas vezes, como indica a norma. Após o resultado do ensaio, foi possível utilizar a seguinte equação para se descobrir a massa específica.

$$\delta = \frac{M1 \times \frac{100}{100 + h}}{[M1 \times \frac{100}{100 + h}] + M3 - M2}$$

Onde:

δ = massa específica dos grãos de solo (g/cm³);

M1 = massa do solo úmido (g);

M2 = massa do picnômetro com água e solo na temperatura T de ensaio (g);

M3 = massa do picnômetro com água até a marca de referência na temperatura T de ensaio (g); w = umidade inicial da amostra, segundo a NBR 6458.

δ_T = massa específica da água na temperatura T de ensaio, obtida no anexo da norma (g/cm³).

4.2.2 Granulometria

Para a realização da análise granulométrica, será necessário seguir os parâmetros estabelecidos pela NBR 7181/2016, a norma irá descrever o método para que se possa determinar a composição granulométrica.

Para o ensaio, utilizou-se as peneiras utilizando a partir de 4 mm, pois de acordo com a norma tanto o solo como o RCV foram peneirados na peneira de tamanho 4,75 mm anteriormente. O procedimento é realizado por um conjunto de peneiras que pesam a massa que fica retida em cada peneira e possuem os seguintes diâmetros mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Diâmetros utilizados para o ensaio de Análise Granulométrica.

4 mm
2,80 mm
2,36 mm
1,18 mm
0,600 mm
0,425 mm
0,300 mm
0,150 mm
0,075 mm

Fonte: Autoria própria, 2024.

A partir dessa massa retida, é possível determinar a porcentagem de solo referente aos diâmetros da partícula de solo e por fim traçar a curva de distribuição granulométrica, na Figura 9 é possível observar o conjunto de peneiras utilizadas para o ensaio.

Figura 9 – Peneiras para análise granulométrica.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2.3 Ensaio de compactação

O termo compactação do solo trata-se do processo em descrever a diminuição de volume de solos não saturados quando submetidos a uma determinada pressão externa (LIMA, 2004). A compactação visa dois aspectos principais, sendo eles aumentar o contato entre os grãos e tornar o aterro mais homogêneo.

A finalidade da compactação é reduzir recalques e aumentar a resistência e rigidez, tentando também reduzir a permeabilidade.

O ensaio de compactação é regido pela NBR 7182/2016, e através dele é possível saber a umidade ótima e massa específica aparente seca máxima, os ensaios são realizados visando conhecer a curva de compactação. Para o ensaio de compactação utilizou-se a energia normal.

Para o ensaio de compactação somente do solo foram utilizados teores de umidade de 10% a 22%, variando em 2%, totalizando em um total de 7 corpos de prova. Com o corpo de prova já feito, foi realizada a retirada da amostra no local que aparentemente era o mais úmido e colocado em três cápsulas diferentes para a secagem de 24 horas na estufa, a fim de aferir a umidade.

Para o ensaio de compactação do RCV, os teores de umidade foram de 10% a 18%, variando em 2%, totalizando um total de 5 corpos de prova. Semelhante ao que foi executado no corpo de prova somente do solo, foi retirada a amostra do local que era o mais úmido e colocado em três cápsulas diferentes para a secagem de 24 horas na estufa.

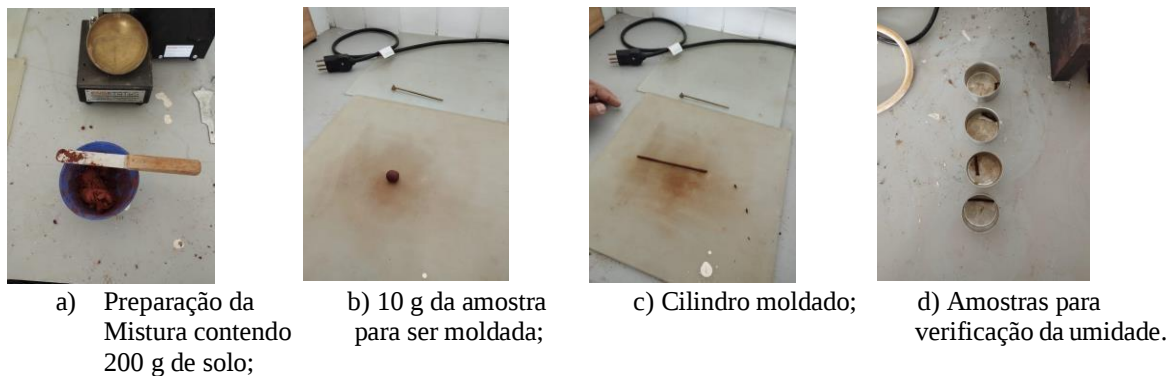
A NBR 7182/2016 possui dois métodos de execução, o Método A e o B, para esse ensaio em questão foi utilizado o Método A, com a amostra sendo peneirada na malha 4,75 mm e semreutilizar o material de um corpo de prova para outro, tanto para o corpo de prova composto somente por solo, como também para os outros corpos de prova com as misturas de solo e cimento, e solo mais cimento e resíduo.

Para o ensaio de compactação utilizou-se a energia intermediária em um cilindro grande e com o auxílio de um soquete grande, com um total de três camadas com 21 golpes cada. Com o resultado do ensaio, é possível calcular a massa específica, descrita no tópico de massa específica.

4.2.4 Limite de Plasticidade (LP)

O limite de plasticidade é o teor de umidade que vai limitar os estados plástico e semi- sólido. Para o ensaio ser realizado é necessário fazer uma mistura do solo destorroado e peneirado com água para então poder moldar. Quando o solo é moldado, com um tamanho equivalente a 10 cm de largura e 3 mm de altura, ficando semelhante a um cilindro, é necessário retirar uma amostra na primeira fragmentação que aparecer no solo, e então, levar para a estufa para secar por 24 horas e descobrir a umidade. A norma pede no mínimo 3 amostras, mas para o ensaio em questão foram retiradas 4 amostras como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Demonstração do ensaio LP do solo.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2.5 Ensaio do Limite de Liquidez (LL)

O limite de liquidez se caracteriza como o teor de umidade e marca a transição do estado plástico para o estado líquido. Para o ensaio é necessário ter um aparelho chamado de Aparelho de Casagrande, onde é colocado o solo na superfície do aparelho para que sejam aplicados os golpes. Para a realização do ensaio faz-se um corte no meio do solo e então é ligado o aparelho para que seja feita a contagem de golpes necessários para juntar o solo novamente, é retirada a amostra do primeiro local que é perceptível a junção do solo.

Após o término do ensaio, é necessário colocar o solo para secar por 24 horas na estufa para então descobrir a umidade. Descobrendo a umidade, é possível saber a curva de fluidez do solo. A umidade resultante na regressão linear em que a quantidade de golpes para fechar a abertura é igual a 25. A Figura 11 mostra o ensaio sendo realizado.

Figura 11 – Demonstração do ensaio do LL do RCV.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2.6 Ensaio de Compressão Simples

Para o ensaio de compressão simples, primeiro fez-se necessário realizar o ensaio de compactação, e fazer a cura ao ar dos corpos de prova durante 7 dias. Foi feito ensaio de compressão tanto para o solo, como para a mistura solo e cimento, como também para a mistura entre solo, cimento e RCV. Feita a cura dos corpos de prova, eles são levados para a máquina de compressão afim de descobrir a resistência de cada um dos corpos de prova, a máquina utilizada se trata da prensa hidráulica onde é capaz de medir a força utilizada no ensaio, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Corpo de prova composto por solo após o ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.3 PLANEJAMENTO DAS MISTURAS E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

4.3.1 Dosagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram produzidos por meio de compactação no Laboratório de Solos na UFERSA do *campus* Pau dos Ferros.

Para produção dos corpos de prova de solo-cimento-RCV foram utilizados teores de 0%, 10%, 20% e 30% do RCV, para substituição da massa. A Tabela 2 apresenta as porcentagens de cada material.

Tabela 2 – Porcentagens dos materiais nas composições dos corpos de prova.

COMPOSIÇÕES					
MATERIAIS	DOSAGENS				
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5
Solo	100%	100%	90%	80%	70%
Cimento	0%	10%	10%	10%	10%
RCV	0%	0%	10%	20%	30%

Fonte: Autoria própria, 2024.

Para todos os corpos de prova com as combinações da Tabela 2 foram feitos ensaios de compactação, no entanto, foi variada a porcentagem de umidade. No corpo de prova composto somente de solo e cimento as porcentagens de umidade eram de 10% a 22%, variando 2%. Com esses corpos de prova foi possível descobrir a umidade ótima para utilizar nos corpos de prova que teriam a adição do resíduo.

Já para o corpo de prova composto pela mistura de solo, cimento e RCV foi utilizada a umidade ótima encontrada no corpo de prova composto somente de solo e cimento. Os teores do resíduo foram de 10%, 20% e 30%.

Inicialmente fez-se necessário fazer as misturas em uma fôrma com o auxílio de uma colher de pedreiro como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Misturas para o ensaio de compactação.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Posteriormente, foi colocada a mistura no corpo de prova cilíndrico e iniciou-se o processo de compactação, a Figura 14 mostra o processo.

Figura 14 – Processo de compactação utilizando um soquete



grande.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Com o corpo de prova compactado e moldado, deve ser feita a retirada do cilindro, para poder levar para a cura. Os corpos de prova foram armazenados durante 7 dias e realizou-se a cura ao ar, e posteriormente, foram rompidos para o ensaio de compressão simples. A Figura 15 mostra o corpo de prova sendo retirado do cilindro e a forma que foi armazenado.

Figura 15 – Corpo de prova sendo retirado do cilindro e sendo armazenado.



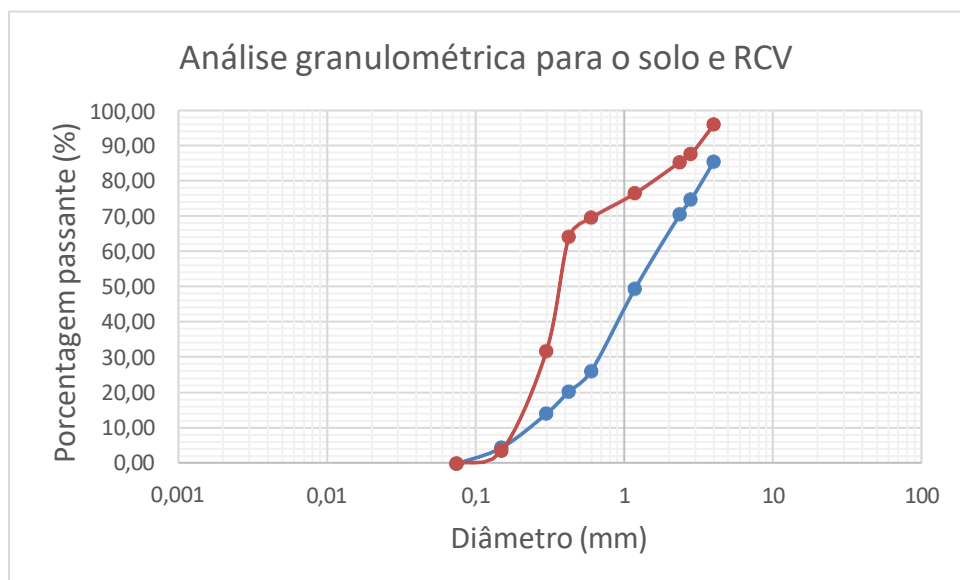
Fonte: Autoria própria, 2024.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO E DO RCV

Para a realização do ensaio, optou-se por começar a peneirar o solo pela malha 4 mm, pois o solo já teria passado anteriormente por completo pela malha 4,75 mm. Na Figura 16 é possível observar os resultados para a análise granulométrica do solo e do RCV.

Figura 16 – Análise granulométrica do solo e do RCV.



Fonte: Autoria própria, 2024.

De acordo com o gráfico mostrado na Figura 16, os pontos na cor vermelha referem-se ao RCV, e os que estão na cor azul referem-se ao solo. Pela análise é possível notar que aproximadamente 85% da amostra de solo passa pela peneira de malha 4 mm, ao passo que aproximadamente 96% da amostra do RCV passa pela mesma peneira.

É possível ainda observar que o RCV apresenta maiores quantidades passantes quando trata-se de diâmetros menores, como é o caso da peneira de malha 0,425, enquanto o solo possui uma porcentagem passante de 20%, o RCV possui uma porcentagem de 64%. Neste sentido de comparação observando o gráfico e os valores das porcentagens passantes, o solo é semelhante a uma areia grossa e o RCV é semelhante a uma areia média.

5.2 ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DO SOLO

Com os resultados obtidos, percebeu-se que a massa específica dos grãos para o solo foide 2,5 g/cm³.

5.3 ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ (LL) DO SOLO

O limite de liquidez do solo encontrado foi de 36,75%, o resultado foi típico de um solo não plástico onde não há uma tendência linear entre a umidade e o número de golpes.

5.4 ENSAIO DO LIMITE DE LIQUIDEZ (LL) DO RCV

O ensaio do limite de liquidez pede um intervalo no número de golpes, isso não foi possível no RCV pois assim que colocava o resíduo no Aparelho de Casagrande, com menos de 10 golpes ocorria o fechamento, foi realizado o experimento sob diferentes teores de umidades mas ainda assim não foi possível obter um resultado satisfatório. Para que seja eficiente o ensaio, é preciso que ocorra o fechamento com no mínimo 25 golpes, portanto, o RCV caracteriza-se como não apresenta limite de liquidez (NL).

5.5 ENSAIO DO LIMITE DE PLASTICIDADE (LP) DO SOLO

De acordo com os resultados encontrados após o ensaio, não foi possível aferir o limite de plasticidade, classificando-se o solo como não plástico, houveram tentativas mas os resultados não foram satisfatórios.

5.6 ENSAIO DO LIMITE DE PLASTICIDADE (LP) DO RCV

Para que ocorra o ensaio do Limite de Plasticidade é necessário moldar o solo, no caso do RCV não foi necessário, pois quanto mais líquido colocava mais quebradiço ficava o resíduo sem conseguir pegar nenhuma forma, foram feitas diversas tentativas mas não apresentaram resultados satisfatórios. Portanto, o RCV caracteriza como um

comportamento não plástico, pois não consegue ser moldado, ou seja, eles se esfarelam ao serem modelados.

5.7 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Após o ensaio de compactação ser realizado, foi possível determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca, tanto somente do solo, como do solo cimento e também com a adição do RCV.

Através da realização do ensaio e do conhecimento acerca dos dados, é possível também obter um gráfico que irá mostrar a curva de compactação, onde o valor da umidade ótima corresponde ao valor da massa específica aparente seca máxima. A partir da umidade ótima irá obter uma melhor massa específica seca máxima e um maior grau de compactação do material, proporcionando uma maior durabilidade e resistência.

A partir do ensaio foi possível perceber que a massa específica aparente seca chegou a aproximadamente $1,90 \text{ g/cm}^3$ e a umidade ótima somente para o solo foi de aproximadamente 15,44%. A Figura 17 mostra a curva de compactação somente para o solo sem adição de resíduo e cimento.

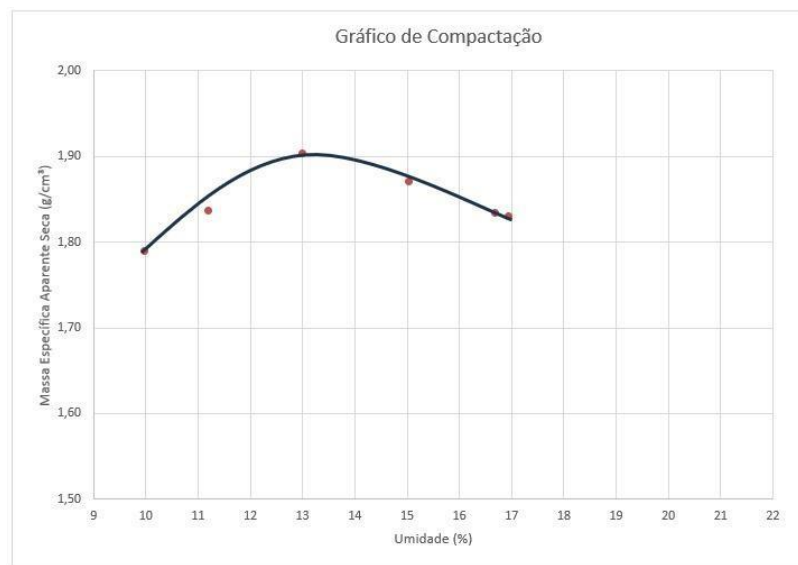
Figura 17 – Curva de compactação para o solo.



Fonte: Autoria própria, 2024.

A curva de compactação para o solo cimento pode ser vista na Figura 18 representada abaixo, com uma umidade ótima de 13,27% e massa específica aparente seca de 1,90 g/cm³.

Figura 18 – Curva de compactação para o solo-cimento.

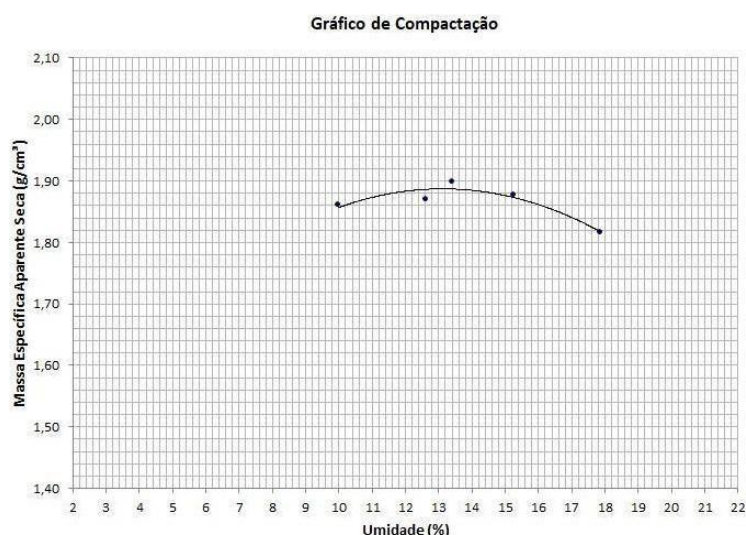


Fonte: Autoria própria, 2024.

Para o solo cimento era esperado que a umidade encontrada fosse maior, pois teve o acréscimo do cimento, ou seja, necessita-se de mais água para lubrificar suas partículas.

Para o RCV foram utilizadas três dosagens diferentes do resíduo. De acordo com os ensaios, pode-se obter a seguinte curva de compactação para 10% do resíduo incorporado.

Figura 19 – Curva de compactação para 10% de RCV.

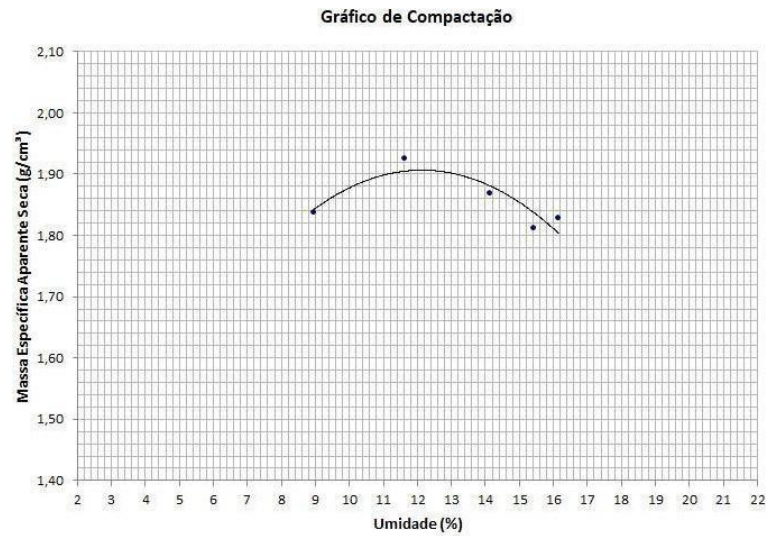


Fonte: Autoria própria, 2024.

Para essa dosagem de RCV os valores encontrados para a massa específica aparente seca chega a 1,86 g/cm³, e a umidade ótima apresenta-se com aproximadamente 12,90%. Vale ressaltar que com a adição do resíduo a umidade ótima diminuiu comparado a compactação dos outros, deveria ter acontecido o inverso, o corpo de prova composto por solo, cimento e RCV deveria precisar de menos água que o solo-cimento e mais água do que o solo, pois segundo Pinto (2000) quanto mais fina for a granulometria do material, mais ele precisará de água para lubrificar suas partículas.

A curva de compactação para a adição de 20% do resíduo foi a seguinte mostrada na Figura 20.

Figura 20 – Curva de compactação para 20% de RCV.

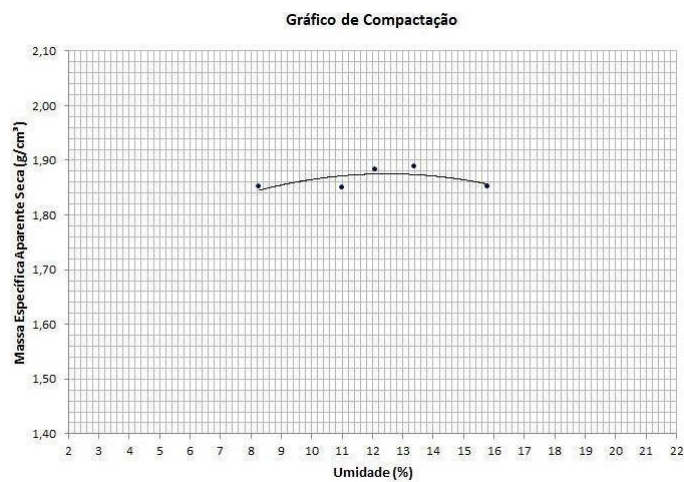


Fonte: Autoria própria, 2024.

Nesse caso, teve um acréscimo do resíduo e com isso uma diminuição na massa específica aparente seca, foi de 1,86 g/cm³ para 1,85 g/cm³, no entanto, como o valor apresentado é próximo, pode-se afirmar que não houve uma diminuição muito expressiva da massa específica aparente seca. A umidade ótima obteve um valor de 11,88%.

Para a dosagem de 30% do resíduo foi encontrada a seguinte curva de compactação.

Figura 21 – Curva de compactação para 30% de RCV.



Fonte: Autoria própria, 2024.

A massa específica aparente seca apresentou um valor de 1,83 g/cm³ e a umidade ótima para essa dosagem foi de aproximadamente 13,2%. Com o acréscimo da umidade, a massa específica tende a diminuir. Foi possível notar que com o aumento do resíduo, a massa específica foi diminuindo, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da massa específica aparente seca e umidade ótima.

Misturas	Massa específica aparente seca (g/cm ³)	Umidade ótima (%)
Solo	1,9	15,44
Solo + Cimento	1,82	13,27
RCV 10%	1,86	12,9
RCV 20%	1,85	11,88
RCV 30%	1,83	13,2

Fonte: Autoria própria, 2024.

5.8 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

A Tabela 4 mostra as quantidades e misturas utilizadas para a fabricação dos corpos de prova. Para os corpos de prova descritos com SCR isso indica que o corpo de prova possui 0% de resíduo, para o corpo de prova descrito como SCR10 indica que terá 10% de resíduo, já para SCR20 terá 20% de resíduo e SCR30 será 30% de resíduo.

Tabela 4 – Quantidades e misturas dos corpos de prova.

Materiais	AMOSTRAS			
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4
Quantidade	4	4	4	4
Solo	100%	90%	90%	90%
Cimento	0%	10%	10%	10%
RCV	SCR	SCR10	SCR20	SCR30

Fonte: Autoria própria, 2024.

Após a realização do ensaio de compressão simples, todos os corpos de prova ficaram por 7 dias fazendo a cura ao ar, desta forma, foi possível saber a resistência dos corpos de prova. Os primeiros corpos de prova rompidos foram somente do solo com a umidade ótima encontrada. Foi retirada as dimensões do corpo de prova para realizar o

cálculo da tensão, pois a prensa não informa diretamente. Os valores se apresentam em kPa pois pegou-se o valor em kN e dividiu-se pela área da sessão transversal que era de aproximadamente 78,54 cm, obtendo os valores encontrados na Tabela 5 para o solo, sem adição do cimento e do RCV.

Tabela 5 – Resultados da resistência à compressão do solo.

Material	AMOSTRAS			
SOLO	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4
Resistência	779,22 kPa	683,73 kPa	592,06 kPa	-

Fonte: Autoria própria, 2024.

É possível observar que para o corpo de prova nº 4 não houve resistência encontrada, pois a máquina teve um problema técnico. Percebeu-se que a resistência à compressão somente do solo possui uma média de aproximadamente 685 kPa, um valor bem significativo para o solo, pois apresenta uma boa resistência.

Já para o corpo de prova composto por solo e cimento, obteve-se os seguintes resultados para a resistência mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do corpo de prova composto por solo e cimento.

Material	AMOSTRAS			
SOLO/CIMENTO	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4
Resistência	1866,57 kPa	1718,87 kPa	1856,38 kPa	1881,85 kPa

Fonte: Autoria própria, 2024.

Com a adição do cimento percebeu-se que a resistência agora possui uma média de aproximadamente 1830 kPa, bem maior comparado a resistência encontrada no corpo de prova composto somente de solo. Várias pesquisas afirmam que a porcentagem de cimento incorporado ao solo para o processo de estabilização tem influência direta fazendo com que se tenha maior resistência no corpo de prova e que se tenha uma diminuição no aparecimento de fissuras, além de favorecer a retração (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Para o RCV apresentou-se novos valores de resistência que estão mostrados na Tabela 7.

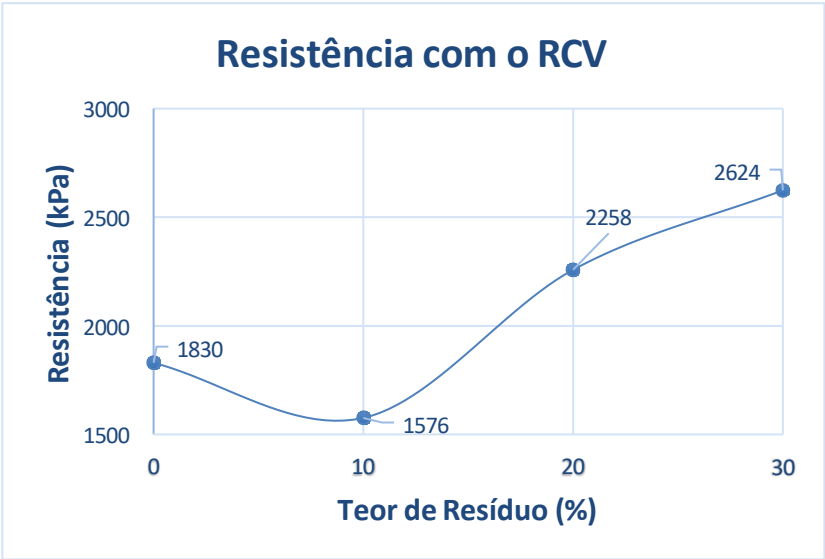
Tabela 7 – Resultados do corpo de prova composto por solo, cimento e RCV.

Material	AMOSTRAS		
SOLO e CIMENTO	Nº 1	Nº 2	Nº 3
RCV	SCR10	SCR20	SCR30
Resistência	1233,77 kPa	2044,82 kPa	2650,88 kPa
	2038,45 kPa	2644,51 kPa	2613,95 kPa
	1656,48 kPa	2052,46 kPa	3051,95 kPa
	1377,64 kPa	2293,1 kPa	2179,78 kPa
Média	1576,58 kPa	2258,72 kPa	2624,14 kPa

Fonte: Autoria própria, 2024.

O que se percebeu com a adição do RCV aos corpos de prova compostos por solo e cimento, é que a resistência à compressão aumentou, no entanto, também foi possível identificar que o corpo de prova composto somente por solo e cimento ainda apresentou uma resistência maior do que o corpo de prova composto somente de solo e maior do que o corpo de prova de solo, cimento e 10% de resíduo. Os corpos de prova compostos somente por solo tiveram uma resistência de aproximadamente 685 kPa, já os corpos de prova compostos por solo e cimento tiveram um aumento significativo, próximo dos 1830 kPa, já os que foram compostos com a adição do RCV, chegaram a uma resistência de 2624 kPa, como mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Resultados do ensaio de compressão com as médias para cada caso de material.



Fonte: Autoria própria, 2024.

De acordo com os resultados mostrados no gráfico pode-se perceber que quando é inserido 0% de resíduo, a resistência apresenta um valor de 1830 kPa, já quando é inserido 10% de resíduo essa resistência cai para um valor de 1576 kPa. Para os corpos de prova compostos por 20% e 30% de resíduo, as resistências ficam superiores tanto do corpo de prova composto somente por solo e cimento, como também do corpo de prova composto por solo, cimento e 10% de resíduo. O corpo de prova composto por 30% de resíduo chega a um valor de 2624 kPa, comprovando que quanto mais vai aumentando o teor de resíduo, com um teor maior do que 10%, mais a resistência também irá aumentar.

Sendo assim, em um tempo mínimo de cura de 7 dias, é possível afirmar que a incorporação do RCV, com um teor acima de 10% do resíduo, apresentou um resultado satisfatório e como uma alternativa para melhoria na qualidade do solo, atribuindo características necessárias para que possa ser aplicado na produção de tijolos de solo-cimento, pois teve um aumento significativo comparado tanto ao corpo de prova composta somente de solo como também ao corpo de prova composto de solo e cimento. Vale ressaltar, que quanto maior o tempo de cura, mais resistência esse corpo de prova adquire, portanto, se tivesse rompido somente nos 14 dias ou nos 28 dias, essa resistência apresentaria um valor bem maior. Um fato importante de ser observado também é que somente quando adiciona 20% do resíduo é que o valor da resistência ultrapassa o corpo de prova composto somente de solo e cimento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os ensaios obtidos acerca das propriedades geotécnicas do RCV, percebeu-se que os corpos de prova com a adição do resíduo tornavam-se mais resistentes e com uma umidade ótima menor, ocorrendo a diminuição também na massa específica aparente seca máxima.

Comparando as curvas de compactação entre o solo, solo cimento e solo cimento com adição do RCV, foi possível notar que neste último caso com a adição do RCV, a massa específica aparente seca máxima e o teor de umidade ótima diminuíram, a tendência para esse caso com a adição do resíduo seria aumentar a umidade ótima e diminuir a massa específica aparente seca máxima, pois, o RCV possui partículas mais finas que o solo, portanto, necessitaria de mais água para lubrificar suas partículas.

Outro fator que foi possível perceber resultados que estavam condizentes com a previsão, foi no ensaio de resistência a compressão, enquanto nos corpos de prova compostos somente por solo ou solo cimento a resistência era menor, quando adicionado o resíduo de cerâmica vermelha para melhoramento do solo, a resistência aumentava gradativamente, chegando até um valor médio de 2152 kPa, um aumento de mais de 300% se comparado a resistência do solo puro, que obteve uma média de 685 kPa. Vale ressaltar que de acordo com os resultados obtidos a resistência só ficava superior quando foi incorporada uma porcentagem acima de 10% do resíduo, pois o corpo de prova composto de solo e cimento obteve resistências maiores tanto em comparação ao solo puro, como também em comparação a mistura de solo, cimento e 10% de RCV.

Diante de todos esses fatos citados anteriormente, é possível afirmar que a adição do RCV proporciona um melhor desempenho para os tijolos feitos com solo-cimento. A aplicação do RCV vai desviar o descarte indivíduo para o uso na construção civil, visto a vantagem em resistência que ele proporciona, protegendo o ambiente dos impactos ambientais como o grande consumo energético, a emissão de gases poluentes e a geração dos resíduos sólidos, decorrentes do descarte indevido do resíduo.

Sugere-se que trabalhos futuros abordem o recolhimento do RCV de diversas olarias, afim de saber se tem alguma diferença nos resultados dos ensaios, se o modo em que se encontra o resíduo irá influenciar nos resultados finais. Pode também fazer com que o tempo que o RCV é triturado na máquina Abrasão Los Angeles seja superior a 15 minutos, ou que tenha diferentes tempos, para saber o quanto o tempo atinge nos resultados.

Outro trabalho que pode ser feito é em relação a mistura feita com o solo, cimento e resíduo, aumentando as quantidades de resíduo e cimento no corpo de prova, e prolongando os dias de cura. Pois se sabe que quanto mais dias de cura tem o corpo de prova, mais ele adquire resistência, por isso poderia ser um parâmetro a ser analisado. Ou ainda deixar diferentes dias para comparar as resistências, 4 corpos de prova com 7 dias de cura, outros com 14 dias de cura e por fim o restante com até 28 dias de cura, comparando os resultados de acordo com as resistências encontradas.

É de suma importância que novos trabalhos sobre solo-cimento com a incorporação do RCV sejam realizados, pois pode-se obter outros parâmetros importantes e tão significativos, fazendo com que cada vez mais sejam pensadas alternativas ecológicas para o manuseio das sobras do RCV, diminuindo significativamente o impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, K. S.; MOURA, C. S.; SOARES, R. A. L. Análise dos impactos ambientais gerados pela indústria de cerâmica vermelha no Piauí. *Cerâmica Industrial*, v. 19, n. 5, p. 33-34, 2014.

ARAÚJO, A. R.; Influência da utilização de resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de argamassas mistas. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

ARAÚJO, R. A.; MENEZES, A. L. R.; CABRAL, K. C.; NÓBREGA, A. K. C.; MARTINELLI, A. E.; DANTAS, K. G. M. Evaluation of the pozzolanic activity of red ceramic waste using mechanical and physicochemical methods. *Cerâmica*, v. 65, n. 375, p. 461-469, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica: NBR 16605. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de Compressão Simples de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio: NBR 12025. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação da massa específica: NBR 6508. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas e Solos: NBR 6502. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo-cimento – Ensaio de compactação: NBR 12023. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Determinação do limite de liquidez: NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984.

ALMEIDA, Maryane Pipino Beraldo; TAMASHIRO, Jacqueline Roberta; PAIVA, Fábio Friol Guedes; SILVA, Lucas Henrique Pereira; KINOSHITA, Angela. RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA: uso em materiais cimentícios na construção civil. *A Construção Civil: em uma perspectivas econômica, ambiental e social*, [S.L.], p. 358-364, 2021. Editora Científica Digital.

ÂNGULO, S.C.; JOHN, V.M. Normalização dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE RECNOLOGIA DO ALMBIENTE CONSTRUÍDP, 9. Foz do Iguaçu, 2002. Anais... Foz do Iguaçu, ENTAC, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Fabricação de tijolos de solocimento com a utilização de prensas manuais. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16p. (BT-111)

AZEVEDO, A. R. G. et al. Influence of sintering temperature of a ceramic substrate in mortar adhesion for civil construction. *Journal of Building Engineering*, v. 19, p. 342–348, 2018.

AZEVEDO, Calebe Araújo; NOGUEIRA, Johnnatan Vinícius de Almeida; CARDOSO, Leilanny Costa; REBOLLEDO, Juan Felix Rodriguez. Melhoramento de Solos com Cimento Portland: uma revisão. In: GEOCENTRO, 1., 2019, Brasília. .. Brasília: ., 2018. p. 1-9.

BATISTA, C. F. N. Ensaios Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis. Vol. 1, 2ª Edição, Editora Globo, Porto Alegre, RS, 1976D

CABRAL, M.; AZEVEDO, P. B. M. Potencial Técnico e Econômico do Aproveitamento de Resíduos da Indústria de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, v. 22, n. 3, p. 29-38, 2017.

CALDAS. T.C. da C. Reciclagem de resíduo de vidro plano em cerâmica vermelha. 2012. UENF. Rio de Janeiro. (Dissertação). Centro de ciências e tecnologias.

CAMELO, Gyullia Gabriela Alencar. **MELHORAMENTO DE SOLO COM RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PAVIMENTAÇÃO**. 2018. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2018.

CAMPOS, Cassio Fabian S.; MAZINI, Giovane Bozette; SILVA NETO, Guilherme A. da. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO COM RESÍDUO SÓLIDO DE CERÂMICA VERMELHA. *Colloquium Exactarum*, [S.L.], v. 04, n. 02, p. 01-11, 16 set. 2012. Associacao Prudentina de Educacao e Cultura (APEC).

CORDEIRO, Cristine Ribeiro; MACHADO, Vanessa Caires. **SUSTENTABILIDADE NA FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO: ESTUDO COMPARATIVO COM BLOCOS CONVENCIONAIS**. 2017. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2017.

Departamento nacional de infraestrutura Terrestre (DNIT). (2006). Manual de Pavimentação. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 3a Edição. Editado pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR). Ministério dos Transportes, Brasil

GRANDE, F. M. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 2003.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos na construção. In:

SEMINÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS, 1., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CETESB, 2000.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil - contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 102f. Tese (Livre docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LANDIM, A. A.; BRAGA, V. H.; OLIVEIRA, B. A.; FIGUEIREDO, A. S.; KEMERICH, P. D. C.; VARGAS, J. E. Impactos ambientais causados pela implantação e operação de olaria em Caçapava do Sul - RS. *Holos Environment*, v. 19, n. 1, p. 83-97, 2019.

LIMA, R. d. C. d. O. Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solocimentoincorporados com resíduo de granito. Campina Grande, 2010.

LIMA, Rian Dutra de. **POTENCIALIDADE DO USO DO RESÍDUO DA CERÂMICA VERMELHA E DO PÓ DE PEDRA NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS. 2022. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2022.**

LOPES, W. G. R. Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas. Campinas, SP: [s.d.], 2002.

MAKUSA, G. P. Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review. Sweden: Lulea? University of Technology, 2013.

MARAGON, M., 2004, " Proposição de Estruturas Típicas de Pavimentos para Região de Minas Gerais Utilizando Solos Lateríticos Locais a partir da Pedologia, Classificação MCT e Resiliência". Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil. UFRJ. Rio de Janeiro/RJ.

MARQUES. S.K.J. Estudo da incorporação de cascalho proveniente da perfuração de poços de petróleo em formulações para tijolos de solo cimento. 2010. UFRN. (Dissertação). Centro de ciências exatas e da terra. 111 fl.

MILANI, et al. Avaliação De Desempenho Térmico De Edificação protótipo Construída Com Sistema De Paredes Monolíticas De Solo-Cimento-Cinza De Casca De Arroz. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, MG. 2007

MOTA, J. D. et al. Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento. 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos, 2010.

NAPOLI, L. Cerâmica: a mais antiga das indústrias. ANICER: Associação Nacional da Indústria Cerâmica, out. 2015.

NASCIMENTO, J. E. F.; NOBREGA, A. C. V.; FERREIRA, H. C.; NEVES, G. A.; SANTANA, L. N. L. Cinza de biomassa rica em calcário como material carbonático em sistemas cimentícios de base Portland. *Cerâmica*, v. 65, n. 373, p. 85-91, 2019.

NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F., 1995. “Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos”. Editora Vilibor, São Paulo/SP.

NUNES, J. B. M. et. al. Estudo do Agregado do Descarte da Indústria da Construção Civil para Uso na Própria Indústria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 51. Salvador, 2007. Anais... Salvador, 2007.

OLIVEIRA, L. F.; MELLO, F. E.; A mineração da areia e os impactos ambientais na bacia do Rio João, RJ. Revista brasileira de geociências, vol. 37, n.2, p.374-389, 2007.

OLIVEIRA, Maria Alanya da Costa de. **INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOAGEM NA POTENCIALIDADE DE INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA EM SOLO CIMENTO**. 2019. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Ufersa, Pau dos Ferros, 2019.

"Petry, T. M., and D. N. Little, “Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavement and Lightly Loaded Structures-History, Practice and Future.” Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 14, No. 6 (2002)."

PINTO. C.S. Curso básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas. São Paulo, 2000, 247 p.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. **Diretrizes, Critérios e Procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. páginas 95-96.

SIDDIQUE, S.; SHRIVASTAVA, S.; CHAUDHARY, S. Influence of ceramic waste on the fresh properties and compressive strength of concrete. European Journal of Environmental and Civil Engineering, v. 23, n. 2, p. 212–225, 4 fev. 2019.

Silva, F. H. R. F. e, OLIVEIRA, C. H. de. Uso do tijolo ecológico para trazer economia na construção civil. 2015. ICESP - Instituto Científico de Ensino Superior e Pesquisa. Brasília, DF.

SILVA, R. G.; SILVA, V. P. Diagnóstico de desperdícios de uma cerâmica vermelha rumo à produção mais limpa. In: 6th International Workshop | Advances in Cleaner Production - Academic Work, São Paulo, 2017.

SOUSA, André Albino de. **POTENCIAL DE SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND POR RESÍDUO CERÂMICO EM MISTURA DE SOLO-CIMENTO PARA APLICAÇÃO EM CAMADA DE PAVIMENTAÇÃO**. 2020. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

SOUZA, W. M.; LIMA, M. M. R.; XAVIER, I. W. P.; RIBEIRO, A. J. A. Diagnóstico da geração de resíduos de cerâmica vermelha na Região Metropolitana do Cariri. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DE ENGENHARIA E DA AGRONOMIA - CONTECC, 76., 2018, Maceió. Anais... Maceió-AL: CREA-AL. 2018.

TIJOLO DE SOLO-CIMENTO:ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VIABILIDADE ECONÔMICA DE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS SUSTENTÁVEIS. Belo Horizonte: Exacta, 2014.

VIEIRA, J. P. Interação Cimento Superplastificante: avaliação da estabilidade do comportamento. Dissertação (mestrado). Universidade Técnica de Lisboa. Curso de Engenharia Civil, 2010.

WADA, Patrycia Hanna. **Estudo da Incorporação de Resíduos de Cerâmica Vermelha na Composição de Concreto para Uso em Estacas Moldadas In Loco.** 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Unesp, Ilha Solteira, 2010.

WRIGHT, R.; BOORSE, D. F. Environmental Science: Towardt A. Sustainable Future. 13. ed. Londres: Pearson, 2016. 672p

ZORZI, Clayton. **CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS TROPICAIS LATERÍTICOS PARA REFORÇO DE PAVIMENTOS.** 2008. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco