

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUÍSE LENCE QUINTANA

**APROVEITAMENTOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE
TIJOLOS SOLO-CIMENTO**

**Bagé
2024**

LUÍSE LENCE QUINTANA

**APROVEITAMENTOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE
TIJOLOS SOLO-CIMENTO**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pampa, como requisito à obtenção de título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Materiais

Orientadora: Profa. Dr. Alexandre Ferreira Galio

Coorientadora: Profa. Dra. Sabrina Neves da Silva

**Bagé
2024**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

Q6a Quintana, Luíse Lence
APROVEITAMENTOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO
DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO / Luíse Lence Quintana.
59 p.

Dissertação (Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,
MESTRADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS, 2024.
"Orientação: Alexandre Ferreira Galio".

1. Desempenho mecânico. 2. Desempenho físico. 3.
Construções sustentáveis. 4. Mineração urbana. I. Título.

LUISE LENCE QUINTANA

APROVEITAMENTOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Dissertação defendida e aprovada em: 07 de março de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Ferreira Galio
Orientador
(Unipampa)

Prof.^a Dr.^a Sabrina Neves da Silva
Coorientadora
(Unipampa)

Prof.^a Dr.^a Gabriela Silveira da Rosa
(Unipampa)

Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida
(Unipampa)

Prof. Dr. Cristiano Corrêa Ferreira
(Unipampa)



Assinado eletronicamente por **ALEXANDRE FERREIRA GALIO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/07/2024, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ANDRE RICARDO FELKL DE ALMEIDA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/07/2024, às 15:48, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **SABRINA NEVES DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/07/2024, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/07/2024, às 21:05, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CRISTIANO CORREA FERREIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/07/2024, às 16:07, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1489498** e o código CRC **09F4BCFB**.

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha filha. Sem eles nada seria possível.

RESUMO

Os índices de desperdício de materiais na construção civil são elevados. Além disso, os materiais de construção são derivados de recursos naturais e, em função de como foi obtido, pode causar impacto ambiental. Nesse sentido, as construções têm se adaptado a novos conceitos construtivos, aliados ao desenvolvimento sustentável, visando a minimização do desperdício de materiais no canteiro de obras através da racionalização de materiais. A reciclagem ou o reaproveitamento de resíduos de construção civil (RCC) é uma forma de reduzir o impacto ambiental. Com isso, propõe-se neste trabalho a adição de um tipo de RCC, neste caso tijolos de cerâmica vermelha, na composição de tijolos solo-cimento. O tijolo de solo-cimento é um material compósito formado por uma mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas e que, após compactação e cura úmida, resulta em um produto durável e com elevada resistência mecânica. A inclusão de partículas no compósito pode influenciar no seu comportamento físico-mecânico. Com base nesses aspectos, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o traço de solo-cimento com resíduo de cerâmica vermelha, verificando a influência da adição nas propriedades mecânicas e físicas de tijolos solo-cimento de tamanho real. A metodologia compreendeu as etapas de: i) preparação dos insumos; ii) caracterização dos insumos; iii) preparo dos tijolos solo-cimento com 0% de adição de resíduo cerâmico e os que possuem adições de resíduo cerâmico; e iv) ensaios de resistência a compressão e absorção de água dos tijolos solo-cimento produzidos. Todos os resultados foram comparados com um tijolo de referência, isto é, sem resíduo. Neste trabalho optou-se por trabalhar com o traço 1:7 (cimento:solo), com a substituição de 20% e 30% do peso do solo por resíduo cerâmico. Os ensaios foram realizados nos períodos de 7 e 28 dias. Para cada período foram ensaiados um total de 10 tijolos para cada tipo, os tijolos foram marcados de maneira a serem identificados facilmente, desses tijolos 7 foram submetidos ao ensaio de compressão simples e 3 tijolos ao ensaio de absorção de água. No total foram submetidos a ensaios 60 tijolos. Os resultados mostraram que a necessidade de realizar ajustes com a adição de areia nos traços empregados devido à alta plasticidade do solo utilizado, verificou-se que os traços atenderam aos requisitos normativos de absorção de água e um corpo de prova contendo resíduo cerâmico atingiu

a resistência à compressão mínima exigida. Portanto, conclui-se que a correção do solo atendeu aos requisitos normativos e que existe a necessidade de determinar a fração ideal de adição de resíduo cerâmico para que os requisitos normativos sejam atendidos, pois os resultados indicaram baixas propriedades mecânicas, não apresentando benefícios esperados em sua incorporação ao tijolo.

Palavras-Chave: desempenho mecânico; desempenho físico; construções sustentáveis; mineração urbana.

ABSTRACT

Material waste rates in construction are high. Furthermore, construction materials are derived from natural resources and, depending on how they were obtained, can cause an environmental impact. In this sense, constructions have adapted to new construction concepts, combined with sustainable development, aiming to minimize waste of materials on the construction site through the rationalization of materials. Recycling or reusing construction waste (RCC) is a way to reduce environmental impact. Therefore, this work proposes the addition of a type of RCC, in this case red ceramic bricks, in the composition of soil-cement bricks. Soil-cement brick is a composite material formed by a homogeneous mixture of soil, cement and water, in appropriate proportions and which, after compaction and wet curing, results in a durable product with high mechanical resistance. The inclusion of particles in the composite can influence its physical-mechanical behavior. Based on these aspects, the present work aimed to evaluate the soil-cement mixture with red ceramic residue, verifying the influence of the addition on the mechanical and physical properties of full-size soil-cement bricks. The methodology comprised the steps of: i) preparation of inputs; ii) characterization of inputs; iii) preparation of soil-cement bricks with 0% addition of ceramic waste and those with additions of ceramic waste; and iv) compression resistance and water absorption tests of the soil-cement bricks produced. All results were compared with a reference brick, that is, without residue. In this work, we chose to work with a 1:7 ratio (cement:soil), with the replacement of 20% and 30% of the weight of the soil with ceramic waste. The tests were carried out for periods of 7 and 28 days. For each period, a total of 10 bricks for each type were tested, the bricks were marked in such a way as to be easily identified, of these 7 bricks were subjected to the simple compression test and 3 bricks to the water absorption test. In total, 60 bricks were tested. The results showed that the need to make adjustments with the addition of sand to the mixes used due to the high plasticity of the soil used, it was found that the mixes met the regulatory requirements for water absorption and a test specimen containing ceramic residue reached the resistance to the minimum required compression. Therefore, it is concluded that the soil correction met the regulatory requirements and that there is a need to determine the ideal fraction of addition of ceramic waste so that the regulatory

requirements are met, as the results indicated low mechanical properties, not presenting expected benefits in its incorporation into the brick.

Keywords: mechanical performance; physical performance; sustainable buildings; urban mining.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1 | Objetivo geral..... | 15 |
| 1.1.1 | Objetivos específicos..... | 15 |
| 2 | CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA..... | 16 |
| 2.1 | Construção Civil..... | 16 |
| 2.1.1 | Resíduos da Construção Civil..... | 18 |
| 2.2 | Tijolos de Solo-Cimento..... | 19 |
| 2.2.1 | Solo..... | 24 |
| 2.2.2 | Cimento..... | 25 |
| 2.3 | Pesquisas Correlatas..... | 25 |
| 3 | ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO..... | 29 |
| 3.1 | Artigo (A ser submetido para Revista)..... | 29 |
| 4 | CONCLUSÃO..... | 51 |
| 5 | REFERÊNCIAS..... | 52 |

1 INTRODUÇÃO

Os índices de desperdício de materiais na construção civil são elevados. (BOERIZ e GONÇALVES FILHO, 2021). Além disso, os materiais de construção são derivados de recursos naturais e, em função de como foi obtido, podem causar impactos ambientais. Nesse sentido, as construções têm se adaptado a novos conceitos construtivos, aliados ao desenvolvimento sustentável, visando a minimização do desperdício de materiais no canteiro de obras através da racionalização de materiais (Boeriz e Gonçalves Filho, 2021).

Em 05 de Julho de 2002, entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil (BRASIL, 2002). No ano de 2010, foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por intermédio da Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, a qual estabelece a forma de disposição de resíduos, incentivando a reciclagem e a sustentabilidade (Brasil, 2010).

Segundo Almeida et al. (2020), nas cidades brasileiras, os RCC representam de 50 a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU). Os autores destacam que a falta de gerenciamento dos resíduos afeta a sociedade principalmente nos aspectos ambientais e econômicos.

Para que as empresas possam reduzir efetivamente seus resíduos, é fundamental seguir as diretrizes da Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Na prática, conforme destacado pelo autor, um empreendimento em fase de estruturação a acabamento adotou um método de implementar um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (CHEREGATTI; SILVA, 2021). Esse plano inclui etapas como a caracterização do local e dos resíduos, conscientização, coordenação de grupo, triagem, acondicionamento e transporte correto dos resíduos, além da avaliação por meio da análise e monitoramento dos indicadores dos resíduos. (Cheregatti e Silva, 2021)

Segundo Moraes et al. (2023), é possível implementar e acompanhar o Plano de Gerenciamento de Resíduos por meio de auditorias e propostas de ações corretivas e preventivas. Dessa forma, busca-se alcançar uma constante melhoria na gestão adequada dos resíduos. A abordagem do Plano de Gerenciamento de Resíduos integra

um ciclo contínuo de aprimoramento, que se baseia nos princípios estabelecidos na Lei 12305/10 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), incluindo auditorias, políticas e legislações relacionadas. Além disso, incorpora o conceito dos 4 R's (Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Repensar) e o monitoramento dos objetivos e metas. Desta maneira, o autor pode observar que as auditorias desempenham um papel crucial no acompanhamento de um Plano de Gerenciamento de Resíduos e na aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Essas ações devem ocorrer uma vez por ano para prevenir multas, contribuir para a gestão apropriada dos resíduos sólidos e servir como suporte para a gestão ambiental em organizações (Moraes et al, 2023).

A maior parte dos RCC é composta por restos de argamassas, tijolo, alvenaria, concreto, cerâmica, gesso, madeira, metais. Na prática, esses resíduos são descartados em lixões ou aterros sanitários (PASCHOALIN et al., 2017). O RCC serve, por exemplo, de matéria-prima para composição de elementos construtivos como: tijolos, blocos pré-moldados, calçadas, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base, pavimentos, entre outros. No caso específico das calçadas, elas localizam-se em áreas externas, sujeitas a intempéries como chuvas e enxurradas, e também aonde há fluxo de pedestres e, para isso, é preciso pensar em um material resistente à abrasão e flexão, tanto do fluxo de pedestres quanto de carros, e que consiga trabalhar devido à dilatação e contração térmica, tais como: concreto, pavers e pedras (Boeriz e Gonçalves Filho, 2021).

O tijolo solo-cimento, ou tijolo ecológico, é um material obtido por meio da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas e que, após compactação e cura úmida, resulta em um produto durável e resistente. Os tijolos de solo-cimento têm múltiplas aplicações e podem ser utilizadas de diversas maneiras. São especialmente eficazes na construção de paredes contínuas, bases, pavimentos, calçadas, muros de contenção e represas. Além disso, são comumente recomendadas para edificações populares e estruturas mais acessíveis, como galpões, aviários e depósitos, sobretudo em áreas rurais e periféricas. (Miranda, 2019).

Ainda segundo Miranda (2019), os tijolos solo-cimento são uma alternativa sustentável devido ao menor consumo de energia na extração do solo e não necessitam do processo de queima, como ocorre em tijolos de cerâmica vermelha.

De acordo com informações divulgadas pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2019), os tijolos solo-cimento proporcionam uma economia de 20 a 40% em comparação com os métodos de construção tradicionais. Paschoalin et al. (2017) destacam como vantagens deste tipo de tijolo a resistência à compressão semelhante à do tijolo convencional, além da capacidade de isolamento térmico.

Para minimizar o descarte inadequado do RCC e atender às diretrizes da resolução nº 307 do CONAMA e da PNRS, têm-se considerado técnicas de reciclagem desses materiais. É notável a crescente influência da indústria da construção civil sobre o meio ambiente, devido ao aumento expressivo de resíduos provenientes das obras, somado à intensa exploração dos recursos naturais. O principal desafio enfrentado pelo setor da construção consiste em converter tais resíduos em uma fonte alternativa de matéria-prima, por meio da reciclagem do resíduo de construção (RCC). Dessa forma, a reciclagem se apresenta como uma solução sustentável para a escassez de matérias-primas, a redução do impacto ambiental, bem como uma fonte de renda e economia para o setor da construção civil (Melo et al., 2022).

Em relação aos resíduos gerados na construção civil, a ABRECON (2017) propôs em seu estudo setorial que 70% dos resíduos podem ser reaproveitados durante o processo construtivo de obras, portanto, a prática de reduzir, reutilizar e reciclar é uma alternativa eficaz no tratamento ambientalmente correto dos resíduos de construção (RCC) (Queiroz et al., 2021).

É evidente que a gestão em conformidade com as normas atuais de resíduos pelo construtor, além de demonstrar sua responsabilidade ambiental e conduta coerente como gerador, é economicamente benéfica e permite um claro avanço dos profissionais qualificados em seu esforço para garantir qualidade aos seus processos e produtos na construção civil. Dessa maneira, a adequação da separação e a destinação final dos diferentes tipos de resíduos das obras provenientes da construção civil possibilitam a realização e cumprimento da redução de custos, reutilização e reciclagem (Castro e Sartori, 2021).

Dentro dessa situação, o estudo vai demonstrar como o resíduo cerâmico proveniente de blocos de alvenaria estrutural, ao ser adicionado à mistura de solo-

cimento, é capaz de originar um produto de construção não tradicional, apresentando propriedades físico-mecânicas que atendem aos requisitos das normas técnicas em vigor.

1.1 Objetivo geral

Realizar a confecção de tijolos de solo cimento com resíduo cerâmico oriundo da construção civil, com a utilização de dois traços a fim de testar a resistência a compressão e absorção de água e avaliar os resultados obtidos, com o intuito de produzir um material que atenda as exigências regulatórias brasileiras e contribua com a preservação do meio ambiente.

1.1.1 Objetivos específicos

O objetivo geral abrange os seguintes objetivos específicos:

- i) Caracterizar o solo argiloso e o RCC.
- ii) Determinar o diâmetro das partículas do solo argiloso e o RCC através da análise granulométrica.
- iii) Definir os limites de Atterberg para o solo argiloso e o RCC.
- iv) Determinar a composição química por fluorescência de raios-x.
- v) Avaliar a composição mineralógica por difração de raios-x.
- vi) Preparar tijolos solo-cimento contendo adição de resíduo em proporções distintas.
- vii) Avaliar o comportamento mecânico pelo teste de resistência à compressão simples para dois períodos de cura do tijolo.
- viii) Estimar o desempenho físico através do ensaio de absorção de água.
- ix) Preparar um artigo científico.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Neste Capítulo, é apresentada a revisão bibliográfica abordando as pautas principais para o desenvolvimento desta pesquisa.

2.1 Construção Civil

A construção civil é considerada um dos segmentos responsáveis pelo desenvolvimento econômico e social. O setor gera empregos, diretos e indiretos, e ainda movimenta os serviços e setores industriais relacionados. Contudo, a construção civil também representa uma atividade geradora de impactos ambientais (Soares, 2017).

No país, presume-se que de 20% a 50% do total de recursos minerais explorados sejam destinados ao setor da construção civil, além de ser responsável pela maior parcela de resíduos sólidos urbanos gerados. (Carasek et al., 2018).

A produção em larga escala de resíduos provenientes de construção e demolição acarreta não apenas impactos ambientais, mas também prejuízos para seus geradores. Além disso, tais impactos se estendem ao setor público, o qual arca com os custos de transporte e destinação adequada desses resíduos, uma vez que frequentemente são descartados em locais irregulares, como aterros e áreas de despejo, sem nenhum controle ambiental (Carasek et al., 2018).

Impacto ambiental é definido pela Resolução nº001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 23 de setembro de 1986 como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem estar da população, as atividades sociais e econômicas (CONAMA, 1986).

A extração e consumo de recursos naturais, renováveis e não renováveis, e os processos de manufatura, na produção dos materiais ou na fabricação de produtos são as atividades que causam mais impacto ambiental pelo setor de construção civil. Além disso, tem-se ainda o alto consumo energético necessário para extração e fabricação dos materiais, a geração de resíduos e o desperdício de materiais (Soares, 2017).

Roque e Pierri (2019) relatam que apesar das contribuições socioeconômicas relacionadas à cadeia produtiva da construção civil, há preocupação com os efeitos ao meio ambiente. Segundo estes autores, em uma escala mundial, o setor consome 40% da produção total de energia, 12 a 16% de toda a água disponível, 32% de recursos não renováveis e renováveis, compõem 30-40% dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) e emite de 35% do total de emissões de gases de efeito estufa (GEE). O uso racional dos recursos naturais pela construção civil pode contribuir para mitigar ou minimizar esses impactos negativos. As tecnologias compreendem ações como a maior eficiência energética e hídrica, práticas de gestão e a reutilização ou reciclagem de materiais no canteiro de obras (Boeriz e Gonçalves Filho, 2021).

No Brasil, até 2002, não havia políticas públicas para os resíduos gerados pelo setor da construção civil. Em 05 de Julho de 2002, entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho CONAMA, a qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil (BRASIL, 2002). Para fortalecer a Resolução, no ano de 2010, foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por intermédio da Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, a qual estabelece a forma de disposição de resíduos, incentivando a reciclagem e a sustentabilidade (Brasil, 2010).

Segundo a Lei 12.305/2010, regulariza a geração e destinação dos resíduos sólidos da construção civil (RCC) no Brasil de forma adequada e define que os (RCC) são aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis, a lei se baseia no princípio de responsabilidade compartilhada (art.3º - inciso XVII) uma vez que os problemas ambientais vêm seguidos de questões sociais e econômicas, que acabam por impactar grande parte da sociedade. Desta forma, todos os agentes envolvidos na fabricação, distribuição, venda e consumo são responsáveis pelos seus resíduos. A Lei 12.305/2010 estabelece também o fechamento dos lixões, cujo lixo é depositado sem tratamento ou separação. Para os aterros sanitários somente serão destinados os rejeitos, material este composto quase na sua totalidade por matéria orgânica. Em resumo, a Lei 12.305/2010 incentiva a reciclagem.

2.1.1 Resíduos da construção Civil

No Brasil os resíduos da construção civil são definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, nº 307), eles os definem da seguinte forma:

Art. 2º Inciso I: Resíduos Sólidos da Construção Civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL, 2002).

Os RCC são classificados em quatro classes: os resíduos classe A são os reutilizáveis ou recicláveis como agregados, podendo ser de origem de construção, demolição, reformas, tijolos, blocos, telhas, argamassa, concreto e peças pré-moldadas, os resíduos classe B são os reciclados para outros afins, como: plástico, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens de tintas e gesso, os resíduos classe C são aqueles que ainda não possuem tecnologia ou aplicações que tornam a sua reciclagem viável e por fim os resíduos Classe D são os perigosos, como: tinta, solventes, restos de clínicas radiológicas, materiais que contenham amianto e outros produtos nocivos à saúde, de acordo com as resoluções impostas pelo CONAMA, nº 307 (Brasil, 2002).

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), os resíduos da construção civil são “aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis”. São resíduos difíceis de se degradar ou não degradáveis, o que os tornam diferenciados dos RSU no quesito de disposição em solo, pois tendem a não ter volume diminuído com o decurso do tempo, esgotando o espaço de disposição com maior rapidez e privando outros usos após o encerramento das atividades.

Pela predominância dos padrões construtivos brasileiros, o RCC gerado em maior quantidade é de argamassa (63%). Além desse tem-se concreto e blocos (29%), orgânicos (1%) e outros (7%) (Sinir, 2023).

É importante salientar que o RCC que será aprovado pelo processo de reciclagem deve ser separado daqueles classificados como perigosos da Classe D que são os

resíduos perigosos provenientes do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados originários de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais (Brasil, 2002).

Para Tabosa et al. (2021), o desenvolvimento sustentável precisa estar alinhado com o compromisso da indústria da construção civil em reduzir os impactos ambientais por ela gerados e no reaproveitamento dos resíduos. Isso pode provocar a redução do consumo de matérias-primas, diminuição do consumo de energia e água, redução dos problemas urbanos gerados pela disposição irregular de RCC. Estes autores afirmam ainda que a reciclagem de RCC depende de diversos fatores como clima, qualidade do resíduo que é utilizado e grau de impureza. Ainda segundo Tabosa et al. (2021), foi realizado um estudo sobre a reciclagem de RCC como agregado e concluíram que a reciclagem de RCC é viável financeiramente, pois diminuiu-se o consumo de agregados naturais, areia, cascalho e pedregulho, em torno de 60%.

Uma nova definição está surgindo no mercado: o conceito de mineração urbana. Isso se refere à busca e ao processo de tratamento dos RCDs (Resíduos da Construção e Demolição) como matéria-prima para o mercado de agregados reciclados. Esse mercado está regulamentado pela resolução CONAMA 307 de 2002. De forma mais abrangente, a mineração urbana engloba ações e tecnologias que visam recuperar os recursos provenientes dos resíduos gerados por municípios, indústrias e setor agrícola, tanto da produção atual quanto de depósitos antigos.

Uma opção adicional são os tijolos de solo-cimento, vistos como uma alternativa para as edificações com preocupações ambientais, pois são feitos com água, cimento e solo, sendo assim designados por terem menor impacto no meio ambiente do que o material convencional. A produção dos tijolos de solo-cimento, feito por compactação, não libera substâncias poluentes na atmosfera. (Nascimento et al., 2018).

2.2 Tijolos de Solo-Cimento

O tijolo de solo-cimento tem aspectos para atender o modelo de desenvolvimento sustentável, já que em seu processo de fabricação um dos componentes é o solo que é encontrado com facilidade e em grande quantidade. O tijolo de solo-cimento também tem a vantagem de utilizar resíduos oriundos da construção, tornando-o um produto que

atende a qualidade com base nos requisitos normativos e autossustentáveis (Gonçalves e Cardoso, 2016).

Assim, cada vez mais surgem materiais e técnicas de construção que abordam a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento socioeconômico e com isso ganham espaço nas comunidades, como é o exemplo da mistura do cimento ao solo com a finalidade de confeccionar os tijolos de solo-cimento (Ferrari et al., 2014).

Os estudos do solo-cimento no Brasil aumentaram a partir de 1936 depois da revolução industrial, quando a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) regulamentou seu uso (Nascimento et al., 2018).

Ao longo dos anos diversos autores vêm realizando estudos sobre o desenvolvimento de tijolos solo-cimento, Souza et al. (2008), avaliaram o aproveitamento dos resíduos de concreto na produção de tijolos solo-cimento prensados. Os autores realizaram a caracterização do solo empregado, de composições do solo com o resíduo em diferentes proporções. Neste estudo foi constatado, como ponto positivo, que a adição do resíduo em questão proporcionou melhorias nas propriedades mecânicas do material possibilitando uma redução do consumo de cimento.

Mahllawy e Kandeel (2014), realizaram um estudo em tijolos feitos de argila montmorilonítica, no desenvolvimento de seu estudo empregaram diferentes métodos de cura, utilizando cal virgem e cimento *Portland* em proporções variadas, além do uso da areia em sua formulação. Os resultados físicos-mecânicos apresentados para o método de cura de humidade foram superiores ao método de cura por pulverização.

Rodrigues e Holanda (2015), empregaram em seu estudo o lodo proveniente da estação de tratamento de água, tal resíduo necessita de descarte adequado devido a sua composição, e a sua aplicação na produção de tijolos solo-cimento minimizaria os impactos ambientais. Para realizarem este estudo os autores realizaram a caracterização do lodo, e produziram os tijolos solo-cimento com uma proporção de 5% em massa do resíduo. Por fim constataram que o material produzido possuía as características necessárias para a aplicação do resíduo em questão.

Nos Estados Unidos, Sitton e Story (2016), realizaram a classificação de um solo utilizando testes de campo qualitativos e quantitativos para a sua aplicação na produção de blocos compactados empregados na construção civil, este trata-se de um material

sustentável com um bom custo-benefício para ser utilizado em construções de baixa renda.

Com o intuito de diminuir os custos iniciais dos materiais de construção e diminuir o volume dos aterros sanitários Michael e Moussa (2021), utilizaram no Egito como aditivo na produção de tijolos de cimento o bagaço da cana de açúcar. Eles constaram que a adição de 1,5% desse resíduo preserva o desempenho estrutural dos tijolos produzidos de ductilidade além de proporcionar um aumento em sua resistência.

Ainda neste ano, Wang et al. (2021), na China realizaram a síntese e caracterização de tijolos não queimados partindo dos rejeitos de ardósia com o intuito de diminuir os impactos ambientais. Os insumos empregados foram rejeitos de ardósia, cinza volante e cimento. O material foi produzido por processo de mistura, moldagem e cura e atendeu o padrão chinês de resistência a compressão, absorção propriedades físicas e de durabilidade para tijolos não cozidos produzidos a partir de rejeitos.

Com o intuito de utilizar os resíduos de solo escavado no setor da construção civil Xu et al. (2022), investigaram as propriedades físicas e mecânicas na produção de tijolos de argila não cozidos á base de solo escavado, em seus estudos os autores identificaram que aumentar o ciclo seco-úmido proporciona maior perda de massa e reduz a resistência a compressão.

Outro material que pode ser empregado na produção de tijolos solo-cimento é a folha da palmeira, Niyomukiza et al.(2022), realizaram a aplicação deste material em seu estudo, que se mostrou muito promissor utilizando esse material conjuntamente com a argila, pois conseguiram evidenciar uma melhora nas propriedades físico-mecânicas do material desenvolvido.

Xiong et al. (2023), realizaram uma investigação sobre as propriedades física e mecânicas de tijolos de argila com agregados de solo escavado e concreto reciclado, evidenciando que o material produzido pode substituir os tijolos tradicionais na construção de edifícios.

Ao redor do mundo diversos materiais vem sendo estudados para serem utilizados como agregados na confecção de tijolos solo-cimento, cada local possui a sua normativa de referência que estabelece se o material produzido pode ser empregado ao uso que se destina, no Brasil os parâmetros para produção, dimensões, resistência físico-mecânica,

absorção entre outras característica é estabelecida pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 8491 (2012) o tijolo de solo-cimento é um constituinte de alvenaria formado por uma mistura homogênea compactada e endurecida de solo, cimento, água e possivelmente, aditivos em quantidades que atendam aos requisitos da norma. Se o tijolo possui volume igual ou superior a 85% do seu volume total aparente, ele é denominado tijolo maciço de solo-cimento; já, se o seu volume for inferior aos 85% do total aparente, ele é chamado de tijolo vazado de solo-cimento.

Para serem comercializados no Brasil, os tijolos devem atender a NBR supracitada a qual determina valores dimensionais, de resistência à compressão e de absorção de água admissíveis para estes componentes de alvenaria (ABNT NBR 8491, 2012). Sobre a análise das dimensões, o comprimento (c) corresponde a maior dimensão das faces de assentamento, a largura (l), a menor dimensão, enquanto a altura (h) é a distância entre elas (ABNT NBR 8491, 2012). A normativa classifica os dois tipos principais de tijolos tipo solo-cimento, A e B, representados na Tabela 1. Entretanto, outras dimensões podem ser aceitas, desde que o tijolo permaneça com a altura menor que a sua largura.

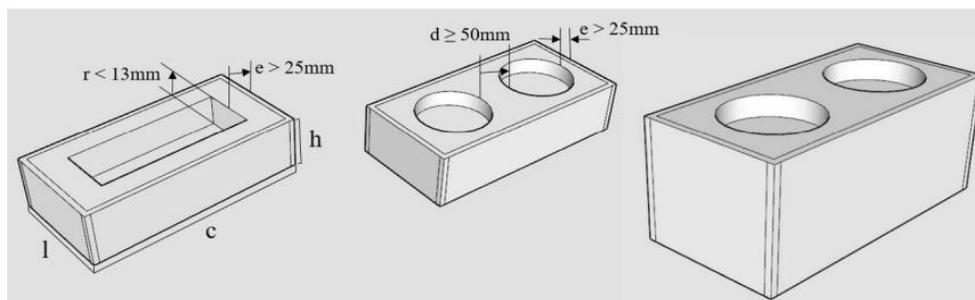
Tabela 1 – Dimensões nominais de tijolos solo-cimento

| Tipos | C | l | H |
|--------------|----------|----------|----------|
| A | 200 | 100 | 50 |
| B | 400 | 120 | 70 |

Fonte: Adaptado de NBR 8491(ABNT, 2012)

Ainda de NBR 8491 (ABNT, 2012), entende-se como reentrância (r) a cavidade formando ângulo ou curva para o interior. Se o tijolo possuir reentrância, esta deve estar a no mínimo 25mm das paredes no seu entorno (a partir das arestas paralelas às faces da reentrância) e apresentar profundidade máxima de 13mm. Já, se os tijolos possuírem furos, estes devem ter eixo perpendicular à superfície de assentamento, a espessura (e) mínima das paredes no seu entorno deve ser de 25mm e a distância (d) mínima entre os dois furos deve ser de 50mm. A Figura 1 ilustra, da esquerda para a direita, um tijolo maciço com reentrância, um tijolo vazado e um bloco de solo-cimento vazado.

Figura 1 – Aspectos nominais de tijolos solo-cimento



Fonte: Adaptado de NBR 8491 (ABNT, 2012).

A NBR 10834 (ABNT, 2013) informa sobre os requisitos para que uma mistura homogênea de solo, água e cimento seja considerada um bloco de solo-cimento. Em síntese a diferença entre tijolo e bloco de solo-cimento são as dimensões. Os tijolos obedecem às proporções expostas na Tabela 1 enquanto os blocos devem apresentar 300x150x150mm (comprimento x largura x altura) ou outras medidas, desde que a altura permaneça igual ou superior à sua largura. Da mesma forma que os tijolos, podem ser maciços ou vazados. No presente trabalho a ênfase é o tijolo de solo-cimento.

Os tijolos solo-cimento também são chamados de tijolos ecológicos, de acordo com a Associação Nacional do Tijolo Ecológico (ANITECO, 2020). Isso devido a não ser necessário o uso de fornos para a sua fabricação, o que, além de gerar economia energética, evita o desmatamento para a obtenção de lenha e reduz as emissões de gases poluentes na atmosfera (ANITECO, 2020). Além disso, esses tijolos permitem que resíduos sejam incorporados na sua composição, e não utilizam o barro vermelho

(matéria-prima tradicional dos tijolos convencionais) evitando, dessa forma, a degradação do meio ambiente causada pela extração de mais recursos (Aniteco, 2020).

Existem alguns fatores que podem interferir na qualidade dos tijolos. Pode-se considerar os fatores principais como sendo: solo, umidade de moldagem, tipo de prensa, teor de estabilizante (cimento) e a cura (Miranda, 2019).

2.2.1 Solo

Na construção civil, o solo é o material mais usado nos últimos tempos, porque diminui ou substitui outros tipos de materiais e com isso gera redução de custos (Nascimento et al., 2018).

De acordo com a Associação de Normas Técnicas – NBR 10833 (2012) o solo não pode conter matéria orgânica em quantidades que prejudiquem a hidratação do cimento e assim deve atender às características, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Características nominais de tijolos solo-cimento

| Características | Requisitos |
|---|------------|
| % passante na peneira com abertura na malha de 4,75mm | 100 |
| % passante na peneira com abertura na malha de 75um | 10 a 50 |
| Limite de liquidez | ≤ 45 |
| Limite de plasticidade | ≤ 18 |

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10833 (2012)

De acordo com Sousa (2018), os limites de Atterberg são formados pelos limites de liquidez e plasticidade do solo. É possível obter Limite de Liquidez (LL) através da quantidade de água que é adicionada ao solo e que permite a perda de coesão de suas partículas, já o Limite de Plasticidade (LP) é o momento em que se retira aos poucos a umidade do solo e com isso ele passa do estado plástico moldável para o estado semissólido não moldável.

O Limite de Liquidez é determinado experimentalmente com o uso do aparelho Casa-grande para realizar o ensaio usa-se as referências da ABNT NBR 6959:2017, já o Limite de Plasticidade é determinado pelo aparelho vidro Esmerilhado, seguindo as orientações da ABNT NBR 7180:2016 (Sousa, 2018).

Com base nas características exigidas por norma, nem todos os solos podem ser escolhidos para formar o tijolo de solo-cimento, devido a sua granulometria e composição, sendo necessário realizar ensaios para que possa identificar parâmetros como percentual de argila, areia e água (Pinto, 2015).

2.2.2 Cimento

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 16697 (2018), define o cimento Portland como sendo um ligante hidráulico que é feito a partir da moagem de clínquer Portland e sulfato de cálcio e minerais nas quantidades determinadas pela norma.

Adicionar cimento ao solo pode ser interpretado através do percentual de cimento adicionado, ou seja, a relação entre a massa de cimento a ser utilizada e a massa de solo seco, multiplicado por 100 (OLIVEIRA,2011). Com isso ela pode ser feita de duas formas:

- i) Solo melhorado com cimento, cujo é adicionado cerca de 2% a 4% de cimento ao solo;
- ii) Solo-cimento, com porcentagem de cimento adicionada aproximada de 6% a 10%.

Dessa maneira, torna-se imprescindível avaliar o benefício efetivo das adições de cimento, uma vez que, a partir de determinados percentuais, a resistência do cimento diminui. O autor também destaca que o cimento oferece ao solo propriedades como uma distribuição granulométrica mais eficiente e o seu endurecimento (Oliveira, 2011).

2.3 Pesquisas Correlatas

É possível observar que há trabalhos sobre a fabricação de tijolos de solo-cimento com a adição de resíduos na composição do material desenvolvidos por diferentes autores.

Fonsêca (2018), tinha o objetivo de avaliar o potencial de substituição do cimento pela cal em tijolos de solo-cimento com incorporação de resíduo cerâmico, o autor observou como pontos positivos que os tijolos apresentam boas condições de resistência

à compressão simples, absorção de água e durabilidade de acordo com as normas técnicas vigentes para tijolos em aplicação não estrutural. Os resultados dos experimentos com a composição de solo + 12% cimento + 4% resíduo cerâmico apresentaram valores mais significativos, ultrapassando 2 Mpa de resistência à compressão simples, a partir dos 150 dias de cura. Porém, a formulação solo + 6% cimento + 6% cal e 4% resíduo cerâmico apresentou o melhor desempenho, superando a resistência à compressão mínima de 2 MPa recomendada pela Norma, de forma mais rápida, a partir dos 120 dias de cura. Com isso, o autor conseguiu concluir que a substituição do cimento pela cal, com os benefícios da incorporação do resíduo cerâmico é viável, tanto economicamente como tecnicamente, observando a diminuição do tempo de curso com a mistura quaternária.

Para Miranda (2019), que buscou estudar o desempenho de tijolos de solo-cimento produzidos em prensa motorizada com substituição parcial do solo por resíduos da construção civil em diferentes proporções para execução de alvenaria de vedação, encontrou como ponto positivo o traço ideal para fabricação de tijolos com função não estrutural, que alcança valores superiores de resistência, inclusive maiores que o referencial, é o traço com 10% de substituição e conclui que a substituição do resíduo da construção civil pelo solo é uma alternativa sustentável para a produção de componentes construtivos.

Kongkajun, N et al. (2020), obtiveram a máxima resistência à compressão através da substituição de 10% de laterita por tijolo de barro, através do estudo dos tijolos solo-cimento produzidos a partir de resíduos locais de tijolos de barro (CBW) e lodo mole (SS) de indústrias de fibrocimento, preservando os recursos brutos através da substituição por resíduos industriais. A porcentagem de absorção de água incorporada nos tijolos de subproduto foi superior à da fórmula de controle, mas ainda dentro do limite permitido do padrão industrial para aplicações de suporte de carga. A utilização de conteúdo tijolo de barro e lodo mole nas amostras de tijolos, teve como resultado positivo a economia de recursos naturais, além da diminuição do consumo de combustível e redução das emissões de gás carbônico.

Dantas (2020), por sua vez constatou que as substituições de solo pelos resíduos da construção, resíduo de concreto, de materiais cerâmicos e mistos, geraram resultados

positivos nas propriedades mecânicas dos tijolos de solo-cimento, além de atenderem os requisitos normativos para confecção de tijolos utilizados em sistema de vedação, além disso o reaproveitamento de resíduos diminuiu o volume descartado na natureza e proporciona a obtenção de tijolos de melhor qualidade, ele tinha como objetivo inicial avaliar a possibilidade e a influência da substituição de solo por três tipos diferentes de resíduos da construção, resíduo de concreto, de materiais cerâmicos e mistos, na confecção de tijolos prensados de solo-cimento.

Limami, H.et al. (2021), produziram amostras de tijolos crus, de baixa demanda energética, com aditivos de lodo de estação de tratamento de águas residuais. Os autores tinham como objetivo analisar as propriedades mecânicas, físico-química e térmicas de tijolos de barro do tipo cru, graças a sua baixa demanda energética e ao alto potencial de economia de energia. Isso permitiu promover um protocolo de produção mais limpo, de acordo com as normas de testes marroquinas no setor da construção e ajudar em poupanças de energia muito altas, bem como na redução nas emissões de gás carbônico. As amostras de tijolos produzidas apresentaram diversos aspectos positivos: melhor isolamento térmico e propriedades mecânicas físico-químicas. A análise de difração de raios X e fluorescência da terra e do lodo implantado refletiu uma dominância em quartzo, isso significa alta composição argilosa do material terroso utilizado.

Guedes (2021), através de sua uma revisão bibliográfica apresentou o modelo construtivo, utilizando tijolos solo-cimento como uma alternativa frente aos altos custos da construção civil, e mais precisamente nas construções de casas populares no Brasil. Demonstrando as características do tijolo solo-cimento, e o que o torna uma opção economicamente e ambientalmente viável quando comparado ao modelo de construção em alvenaria convencional, além de ser viável economicamente e ambientalmente. Uma tecnologia amplamente acessível, substituindo com vantagens positivas a construção convencional de blocos cerâmicos tradicionais.

De acordo com a pesquisa de Micheal e Moussa (2021), foram avaliados os impactos econômicos e ambientais da adição de fibras de bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de cimento. O estudo destaca a importância de reutilizar essas fibras, sem comprometer a resistência dos tijolos. Além disso, foi analisado o aspecto econômico da utilização desses novos tijolos no custo dos materiais de construção no Egito. Os testes

envolveram substituições de 0,5%, 1,5% e 2,5% de cimento por bagaço de cana-de-açúcar, com três amostras para cada percentual, sendo o tempo de cura de 28 dias com imersão em água. Os resultados obtidos permitiram, como ponto positivo do estudo, a análise da composição, propriedades físicas e estruturais do bagaço de cana integrado em tijolos de cimento.

Silva (2022), destacou que é possível encontrar na literatura a incorporação de diversos resíduos com diferentes resultados. Ele destacou como ponto positivo que o tijolo de solo-cimento possui um baixo custo financeiro isso fica evidenciado através da possibilidade do reaproveitamento dos resíduos, auxiliando no descarte, menor emissão de gás carbônico (CO₂) e também no futuro, com mais pesquisas sobre esse método construtivo, para ser utilizado em programas do governo com intuito de diminuir o déficit habitacional no Brasil.

Xu et al. (2022), começaram os estudos com a investigação das propriedades físicas e propriedades mecânicas de tijolos de argila não cozidos à base de solo escavados (ESUCB) com diferentes proporções de mistura antes e após ciclos seco-úmido, eles prepararam as amostras e imergiram no tanque de água a 20°C por 4h, seguido de 2h de secagem ao ar. Depois disso, os tijolos de teste foram secos em estufa de temperatura constante a 60°C por 2h, seguido de 2h de secagem ao ar. Esse processo denomina-se como ciclo completo seco-úmido. A maioria dos tijolos de argila não cozidos à base de solo escavados exibiram mudanças aparentes semelhantes de cor e forma antes e depois dos ciclos seco-úmido. Em particular, poros e escória de canto que ocorrem na superfície do tijolo após ciclos de seco e úmido, o que gerou pontos negativos, pois o aumento no número do ciclo seco-úmido levou a uma redução na resistência à compressão do tijolo de argila não cozidos à base de solo escavados.

Xiong et al. (2023), tinham como objetivo explorar a possível aplicação de solo residual de engenharia (EWS) e agregado fina (RFA) em tijolos de argila não cozidos à base de cimento (CUCB) e verificaram como ponto negativo que o uso de grande quantidade de cimento não pode aumentar a resistência à compressão e atua apenas como enchimento na microestrutura do tijolo de argila não cozida à base de cimento.

3 ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO

3.1 Artigo (A ser submetido para Revista)

APROVEITAMENTOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO

Luíse Lence Quintana*
Wladimir Hernández Flores**
Sabrina Neves da Silva***
Alexandre Ferreira Galio****

RESUMO

Os índices de desperdício de materiais na construção civil são elevados. A reciclagem de resíduos de construção civil (RCC) é uma forma de reduzir o impacto ambiental. Com isso, propõe-se neste trabalho a adição de um tipo de RCC, neste caso tijolos de cerâmica vermelha, na composição de tijolos solo-cimento. Com base nesses aspectos, o trabalho teve como objetivo avaliar o traço de solo-cimento com resíduo de cerâmica vermelha, verificando a influência da adição nas propriedades mecânicas e físicas de tijolos solo-cimento de tamanho real. Todos os resultados foram comparados com um tijolo de referência, isto é, sem resíduo. Neste trabalho optou-se por trabalhar com o traço 1:7 (cimento:solo), com a substituição de 20% e 30% do peso do solo por resíduo cerâmico. Os ensaios foram realizados nos períodos de 7 e 28 dias. Para cada período foram ensaiados um total de 10 tijolos para cada tipo, os tijolos foram marcados de maneira a serem identificados facilmente, desses tijolos 7 foram submetidos ao ensaio de compressão simples e 3 tijolos ao ensaio de absorção de água. Os resultados mostraram que a necessidade de realizar ajustes com a adição de areia nos traços empregados devido à alta plasticidade do solo utilizado. Portanto, conclui-se que a correção do solo atendeu aos requisitos normativos e que existe a necessidade de determinar a fração ideal de adição de resíduo cerâmico para que os requisitos normativos sejam atendidos, pois os resultados indicaram baixas propriedades mecânicas, não apresentando benefícios esperados em sua incorporação ao tijolo.

Palavras-chave: desempenho mecânico; desempenho físico; construções sustentáveis; mineração urbana.

*Mestranda. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPCEM) Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Bagé, Rio Grande do Sul. E-mail: luise.lence@hotmail.com

**Doutor em Física. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPCEM) Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Bagé, Rio Grande do Sul.
E-mail: wladimirflores@unipampa.edu.br

***Doutora em Engenharia. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPCEM) Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Bagé, Rio Grande do Sul.
E-mail: sabrinasilva@unipampa.edu.br

****Doutor em Engenharia. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPCEM) Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Bagé, Rio Grande do Sul.
E-mail: alexandregalio@unipampa.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Os níveis de perda de materiais na indústria da construção são significativos. Os materiais de construção são provenientes de fontes naturais e, dependendo de sua extração, podem gerar impactos no meio ambiente. Por conseguinte, as edificações têm se adaptado a novas abordagens construtivas, em conjunto com o conceito de sustentabilidade, com o intuito de reduzir o desperdício de materiais no local de construção por meio da otimização dos recursos (Boeriz e Gonçalves filho, 2021).

A maior parte dos resíduos da construção civil (RCC) são compostos por restos de argamassas, tijolo, alvenaria, concreto, cerâmica, gesso, madeira, metais. Na prática, esses resíduos são descartados em lixões ou aterros sanitários (Paschoalin et al., 2017).

Os resíduos da construção civil (RCC) servem, por exemplo, de matéria-prima para composição de elementos construtivos como tijolos (BOERIZ e GONÇALVES FILHO, 2021). O tijolo solo-cimento, ou tijolo ecológico, é um material obtido por meio da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas e que, após compactação e cura úmida, resulta em um produto durável e resistente (Miranda, 2019).

Ainda segundo Miranda (2019), os tijolos solo-cimento são uma alternativa sustentável devido ao menor consumo de energia na extração do solo e não necessitam do processo de queima, como ocorre em tijolos de cerâmica vermelha.

Dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2019) relataram que os tijolos solo-cimento trazem para a obra de 20 a 40% de economia com relação à construção convencional. Paschoalin et al., (2017) citam como benefícios do tijolo solo-cimento a resistência à compressão equivalente à do tijolo convencional e a propriedade de isolamento térmico.

Para tal, o objetivo deste artigo é de realizar a confecção de tijolos de solo cimento com resíduo cerâmico oriundo da construção civil, com a utilização de dois traços a fim de testar a resistência a compressão e absorção de água e avaliar os resultados obtidos, com o intuito de produzir um material que atenda as exigências regulatórias brasileiras e contribua com a preservação do meio ambiente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os tijolos solo-cimento elaborados neste trabalho foram compostos por resíduo cerâmico, solo argiloso, areia, cimento *Portland* e água.

Dentre os insumos empregados, dois deles foram provenientes de indústrias distintas. O primeiro insumo é oriundo de uma indústria que fabrica tijolos cerâmicos para o ramo da construção civil, trata-se de tijolos cerâmicos que são considerados inadequados para a venda, pois possuem defeitos ou sofreram fraturas durante o processo de fabricação, são considerados um resíduo industrial que precisa ser destinado ou descartado adequadamente. O segundo insumo trata-se de um solo argiloso proveniente de uma empresa que realiza a extração de carvão mineral, nesta indústria este material também é considerado um resíduo, pois o mesmo é extraído no processo de mineração e não possui um uso ou aproveitamento. Os demais insumos,

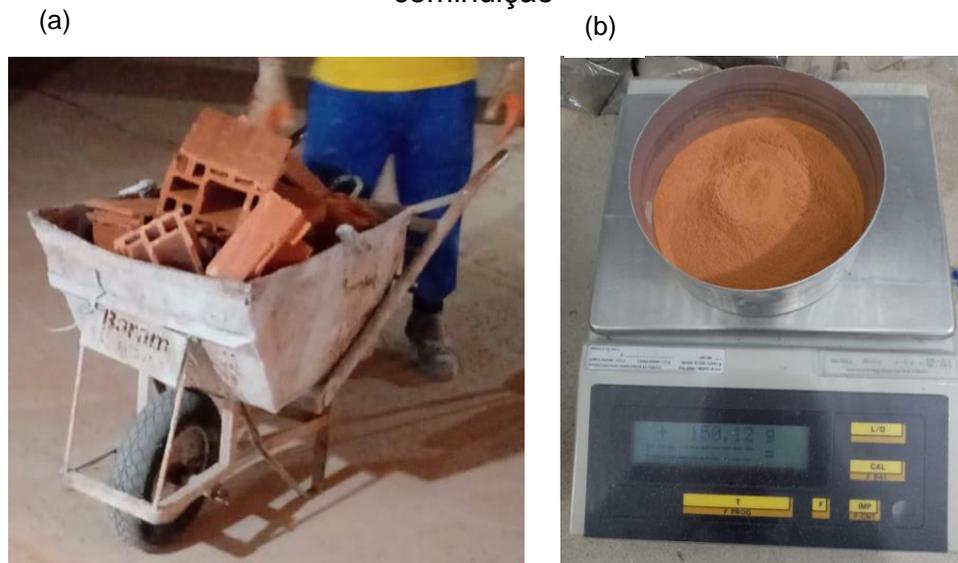
como o cimento e a areia foram comprados no comércio da cidade local, a água empregada é proveniente da rede de abastecimento local.

2.1.1 Insumos

2.1.1.1 Resíduo Cerâmico

O RCC utilizado neste artigo pode ser visualizado na Figura 1 (a), este consiste em um material proveniente de uma empresa da construção civil, localizada no município de Bagé, RS. O material cerâmico foi gentilmente cedido pela empresa, destaca-se que o RCC não contém argamassa, pois trata-se de um material que é resultante das perdas no processo de fabricação do tijolo cerâmico. Na Figura 1 (b), é possível visualizar o mesmo RCC após ser submetido ao processo de pulverização em um moinho de martelos, apresentando assim uma cominuição na sua granulometria.

Figura 1 – Aspecto do resíduo utilizado (a) antes da cominuição (b) resíduo após cominuição



Fonte: Autora (2024).

2.1.1.2 Cimento

O cimento empregado neste artigo, foi o cimento *Portland* CP IV-32 RS. De acordo com o fabricante este material apresenta resistência a sulfatos e possui baixo calor de hidratação, sendo recomendável na concretagem de grandes volumes e sob temperaturas elevadas, ou seja, podendo ser aplicado em diversos tipos de obras. A composição química e características físicas, fornecidas pelo fabricante, são apresentadas nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1 – Composição química do CP IV-32 RS

| Ensaio | Resultados | Normas |
|--|------------|------------------|
| Perda de Fogo – PF | 3,34% | NBR NM 18/2012 |
| Dióxido de Silício – SiO ₂ | 28,94% | NBR NM 11-2/2009 |
| Óxido de Alumínio – Al ₂ O ₃ | 9,97% | NBR NM 11-2/2009 |
| Óxido de Ferro – Fe ₂ O ₃ | 3,72% | NBR NM 11-2/2009 |
| Óxido de Cálcio – CaO | 45,12% | NBR NM 11-2/2009 |
| Resíduos Insolúveis – R.I. | 25,25% | NBR NM 15/2012 |
| Óxido de Cálcio Livre | 0,74% | NBR NM 13/2012 |

Fonte: Adaptado de Itambé (2015).

Tabela 2 – Caracterização física do CP IV-32 RS de acordo com o fornecedor

| Ensaio | Resultados | Normas |
|--|-------------------------|-------------------|
| Massa específica | 2,83 g/cm ³ | NBR NM 23/2001 |
| Área específica | 4340 cm ² /g | NBR NM 76/1998 |
| Água da Pasta de Consistência Normal | 30,3% | NBR NM NM 43/2003 |
| Início de Pega | 3,4 h | NBR 65/2003 |
| Fim de Pega | 4,25h | NBR 65/2003 |
| Expansividade de Le Chatelier – a Quente | 0,34 mm | NBR NM 11582/2012 |

Fonte: Adaptado de Itambé (2015).

2.1.1.3 Solo argiloso

Foi cedido pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM), uma empresa de economia mista controlada pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul. De acordo com a página da empresa (CRM, 2023), é detentora de um potencial de 2.53 bilhões de toneladas de carvão. Sua unidade mineira em atividade está situada no município de Candiota - RS, com exploração a céu aberto.

Para a elaborar os tijolos solo-cimento foi necessário definir as proporções de cada material empregado em sua composição, segundo a Tabela 3.

Destaca-se que este artigo utilizará traços de composição diferente na produção de tijolos solo-cimento, sendo o primeiro contendo solo argiloso, adição de areia e cimento *Portland* e água, identificado como Traço 1; o Traço 2 e o Traço 3 sendo compostos por solo argiloso, adição de areia, adição de resíduo cerâmico (20% e 30% respectivamente), cimento *Portland* e água.

Tabela 3 – Composição das amostras empregadas no preparo dos tijolos solo-cimento

| Materiais | Traço 1 (%) | Traço 2 (%) | Traço 3 (%) |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Solo argiloso | 35,79 | 28,63 | 25,05 |
| Resíduo cerâmico | - | 7,16 | 10,74 |
| Areia | 41,77 | 41,77 | 41,77 |
| Cimento | 11,94 | 11,94 | 11,94 |
| Água | 10,50 | 10,50 | 10,50 |

Fonte: Autora (2024).

2.1.2 Materiais para caracterização

Os ensaios de análise granulométrica, limites de Atterberg, compressão simples e absorção de água foram realizados no Laboratório da Construção Civil da Universidade da Região da Campanha (URCAMP). A análise por Difração De Raios-x foi realizada no Laboratório de raios-X (LRX) da Universidade Federal do Pampa, campus Bagé. A análise por Fluorescência por Raio-X foi realizada no LATRAM – Laboratório de Lavras e Tratamento de Minérios da Universidade Federal do Pampa, campus Caçapava do Sul. Todos os laboratórios disponibilizaram a aparelhagem necessária para execução dos ensaios e análises.

- **Equipamentos para os ensaios de Análise Granulométrica:** Moinho de martelos Verdez, modelo 033; estufa Fanem, modelo 515; balança eletrônica hidrostática Marte, modelo AS 5500; aparelho de dispersão para solos Solotest; agitador mecânico de peneiras Solotest; peneiras de 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm.
- **Equipamentos para os ensaios de Limites de Atterberg: Limite de Liquidez e de Plasticidade:** Estufa Fanem, modelo 515; aparelho Casa Grande Solotest para determinação do limite de liquidez; balança eletrônica hidrostática Marte, modelo AS 5500.
- **Equipamentos para a produção de tijolos solo-cimento:** Prensa manual da marca Sahara modelo tijolo ecológico modular com moldes de dimensões 12,5 cm x 25 cm x 6,5 cm (largura x comprimento x espessura) (Figura 2).

Figura 2 – Prensa manual para fabricação de tijolo solo-cimento



Fonte: Autora(2024).

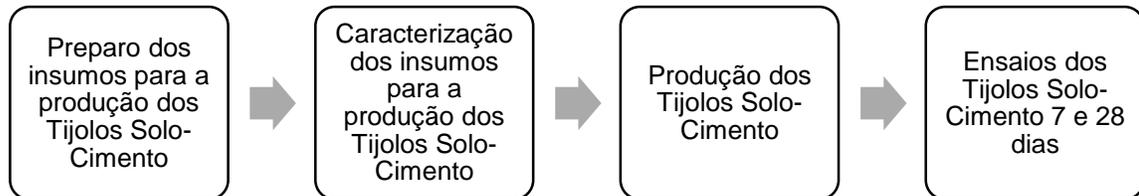
- **Equipamento para análise por Difração De Raios-x:** Rigaku modelo ULTIMA IV com geometria Bragg-Brentano seguindo as condições operacionais: 40 Kv / 20Ma, radiação linha k- α do cobre e passo de 0,02°/s, utilizando o software X-pert HighScore Plus, versão 2.2d de 2008.

- **Equipamento para análise por Fluorescência por Raio-X:** Espectômetro de Fluorescência de Raios-X, marca Bruker, modelo S1 Turbo SD LE.

2.2 Método

A metodologia de desenvolvimento do presente trabalho pode ser representada pelas etapas dispostas na Figura 3.

Figura 3 – Etapas da metodologia para o desenvolvimento do trabalho



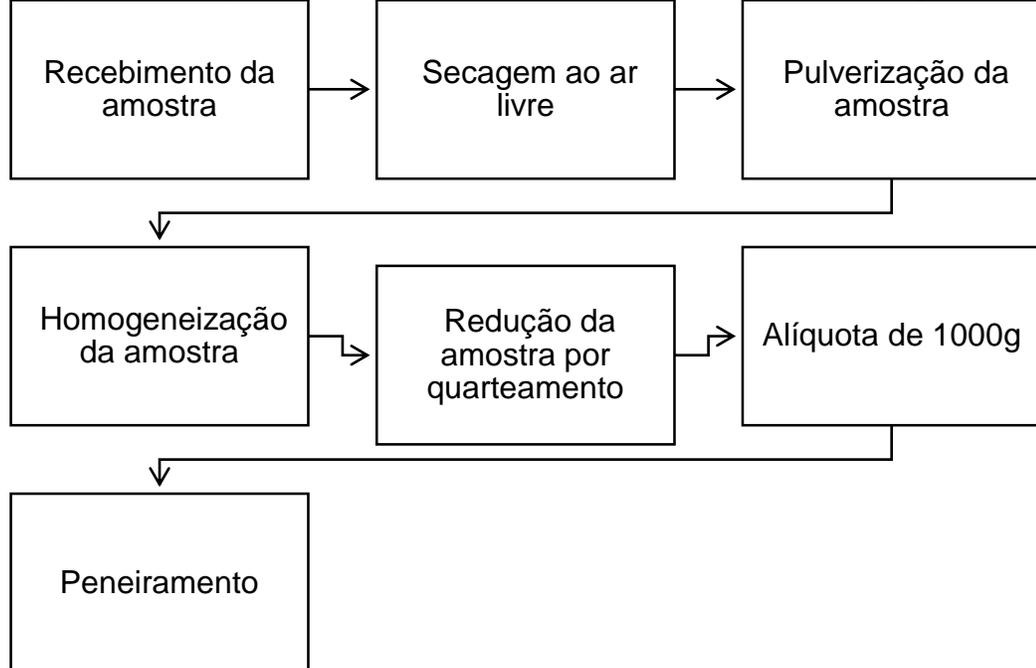
Fonte: Autora (2024).

2.2.1 Preparo dos insumos para a produção de tijolo solo-cimento

2.2.1.2 Preparo do resíduo cerâmico e do solo argiloso

Após o recebimento da amostra, foi efetuada a secagem da mesma ao ar livre, para que se pudesse realizar a etapa de pulverização da amostra, que consiste em reduzir a granulometria do resíduo por meio do uso de um moinho de martelos. Após a pulverização da amostra, é realizada a etapa de homogeneização da mesma para que a amostra final seja representativa do montante da massa de amostra inicial e possa ter a sua massa reduzida pela etapa seguinte. A redução da amostra é realizada por meio do processo de quarteamento até a que a massa de amostra apresente 1000g e seja submetida ao ensaio de peneiramento para caracterização da granulometria das partículas do resíduo e do solo argiloso previamente preparados. Essas etapas podem ser exemplificadas de acordo com a Figura 4.

Figura 4 – Etapas do preparo do resíduo cerâmico e do solo argiloso



Fonte: Autora (2024).

2.2.2 Caracterização dos insumos

Após o preparo dos insumos empregados na produção do tijolo solo-cimento foram realizados os seguintes ensaios de caracterização:

- a) Análise granulométrica: para verificar a distribuição de tamanhos das partículas dos materiais;
- b) Limites de Atterberg: para verificar a liquidez dos materiais;
- c) Difração de raios-X (DRX): para verificar a composição mineralógica dos materiais;
- d) Fluorescência por Raio-X (FRX): para quantificação da composição química dos materiais.

Os ensaios de DRX e FRX foram realizados na amostras de resíduo cerâmico (Amostra A) e solo argiloso (Amostra B).

O solo argiloso (Amostra B), o solo argiloso com adição de areia (Amostra C), solo argiloso com a adição de areia com 20% resíduo cerâmico (Amostra D), solo argiloso com a adição de areia e 30% resíduo cerâmico (Amostra E), foram submetidos aos ensaios de caracterização de análise granulométrica e limites de Atterberg.

2.2.2.1 Análise Granulométrica

Para a determinação da distribuição de tamanhos foi utilizado como referência a normativa da ABNT NBR 7181:2016, o ensaio é realizado pelo período de 15 minutos. Os resultados foram expressos graficamente, dispendo-se na abcissa os diâmetros das

partículas em escala logarítmica, e na ordenada as porcentagens das partículas passantes ou retidas referentes aos diâmetros considerados, em escala aritmética.

2.2.2.2 Limites de Atterberg

Para determinação do limite de liquidez do solo foi utilizado como referência normativa a ABNT NBR 6459:2016. Para a determinação do limite de plasticidade utilizou-se como referência normativa a ABNT NBR 7180:2016, para ambos os resultados são expressos em porcentagem, aproximando para o número inteiro mais próximo.

2.2.3 Preparo dos tijolos de solo-cimento

Os tijolos solo-cimento foram preparados através da homogeneização dos insumos com a adição de água, posteriormente foi necessário determinar a umidade de trabalho, a mesma foi determinada de acordo com o exposto a seguir:

- a) Primeiro, foi selecionada uma porção de solo-cimento já úmido e preenchida uma das mãos com ele;
- b) Em seguida, foi aplicada muita pressão sobre essa porção contra a palma da mão;
- c) Ao abrir a mão, o bolo formado mostrou claramente as marcas dos dedos, e ao partir em duas partes, ele não se desfez;
- d) Se o bolo se desfizesse ao ser partido, é sinal de que a mistura precisaria de mais água;
- e) Se a mão tivesse ficado suja e úmida, seria indicativo de excesso de água na mistura;
- f) Após esta etapa concluída, pode se proceder com o processo de moldagem e prensagem dos tijolos, seguindo o processo de cura (secagem) dos tijolos produzidos.

Os tijolos solo-cimento foram preparados conforme a ABNT NBR 10833 (2012) e ABNT NBR 8491 (2012), a porção de cimento foi adicionada a porção de solo, já destorroado, peneirado e com a adição do RCC. Posteriormente essas frações de materiais foram homogeneizados até que foi possível obter uma coloração uniforme, a água foi adicionada gradativamente, sempre misturando os materiais até atingir uma umidade ideal de trabalho.

2.2.4 Ensaio de resistência à compressão e absorção de água

Neste artigo foram produzidos três lotes de tijolo solo-cimento, cada lote é composto por vinte unidades de corpo de prova, onde a metade de cada lote (dez unidades) teve tempo de cura de sete dias e a outra metade vinte e oito dias. Para elaboração do lote 1 foram utilizadas as frações de insumos descritas no Traço 1, para o lote 2 as frações de insumos descritas no Traço 2 e para o lote 3 as frações de insumos descritas no Traço 3, as frações empregadas dispostas na Tabela 3. A determinação das dimensões, ensaios de compressão simples e água foram realizadas nos três lotes. Para a execução dos ensaios de compressão simples aos 7 dias utilizou-se 7 corpos de prova,

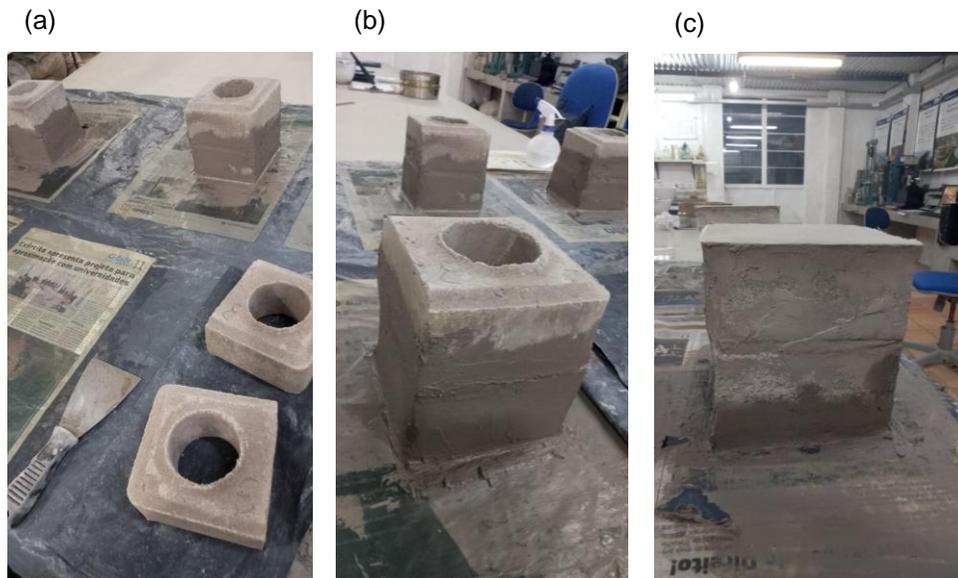
de cada lote e os ensaios de absorção foram empregados em três corpos de prova de cada lote. Aos 28 dias foi utilizado o restante dos tijolos de cada lote.

2.2.4.1 Ensaio de compressão simples

Foi realizado conforme a ABNT NBR 8492 (2012), inicialmente foi necessário cortar o tijolo ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão. Após sobrepor, por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas, ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento Portland pré contraída, com aproximadamente 2mm a 3mm de espessura, e aguardar o endurecimento da pasta.

O corpo de prova antes de ser submetido ao ensaio, apresentou suas faces planas e paralelas para que houvesse perfeito contato entre as superfícies de trabalho, podendo ser regularizadas por meio de retífica adequada ou capeamento com pasta de cimento Portland (Figura 5).

Figura 5 – Capeamento dos tijolos. (a) ligação das duas partes do tijolo (b) capeamento de uma superfície (c) capeamento completo



Fonte: Autora (2024).

Após o endurecimento do material utilizado, os corpos de prova foram identificados e imersos em água por seis horas. Eles foram retirados da água antes do ensaio e enxugados superficialmente com um pano levemente umedecido. Essa operação durou aproximadamente dois minutos. O corpo de prova foi colocado diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, de maneira a ficar centralizado. A aplicação da carga foi uniforme e com uma razão de 500 N/s (50 kgf/s). A carga foi gradativamente elevada até ocorrer a ruptura do corpo de prova. A Figura 6 apresenta a prensa aonde o tijolo de solo-cimento foi ensaiado.

Figura 6 – Compressão dos tijolos (a) prensa utilizada (b) tijolo na prensa e após rompimento



Fonte: Autora (2024)

A ABNT NBR 8492 (2012), apresenta que os valores individuais de resistência à compressão, em décimo de unidade, expressos em megapascals (MPa), são obtidos dividindo a carga máxima observada durante o ensaio, em newtons (N), pela área da face de trabalho, em milímetros quadrados (mm²) conforme a Equação 1, para satisfazer os requisitos os resultados não podem apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7 Mpa (17 kgf/cm²), com idade mínima de sete dias.

$$f_t = F/S \quad (1)$$

Onde:

f_t é a resistência à compressão simples, expressa em megapascals (MPa)

F é a carga de ruptura do corpo de prova, expressa em newtons (N)

S é a área de aplicação da carga, expressa em milímetros quadrados (mm²)

2.2.4.2 Ensaio de absorção de água

Para realização do ensaio foi necessário secar os corpos de prova em estufa, com a temperatura de 110°C, até constância da massa do corpo de prova seco, Figura 7.

Figura 7 – Secagem dos corpos de prova para ensaio de absorção de água



Fonte: Autora (2024).

Após, foi necessário medir a massa do corpo de prova seco e aguardar o mesmo atingir a temperatura ambiente e por fim realizar a imersão do corpo de prova em um tanque contendo água durante 24h, Figura 8.

Posteriormente os tijolos foram retirados da água, enxugados superficialmente com um pano levemente umedecido e pesados, obtendo-se assim a massa do corpo de prova saturado.

Para aceitar os resultados do ensaio os valores não podem apresentar a média dos valores de absorção de água maior que 20% nem valores individuais superiores a 22% com idade mínima de sete dias (ABNT NBR 8492, 2012).

Figura 8 – Absorção dos tijolos. (a) imersão dos tijolos no tanque (b) pesagem dos tijolos saturados



(b)



Fonte: Autora (2024).

Os valores individuais de absorção de água expressos em porcentagem são obtidos pela Equação 2 (ABNT NBR 8492, 2012):

$$A = ((m_2 - m_1) / m_1) * 100 \quad (2)$$

Onde:

A é a absorção de água, expressa em porcentagem (%)

m₁ é a massa do corpo de prova seco em estufa, expresso em gramas (g)

m₂ é a massa do corpo de prova saturado, expresso em gramas (g)

2.3 Análise Estatística

Avaliar estatisticamente os resultados de resistência à compressão considerando-se as adições foi necessário com o intuito de obter conclusões mais precisas. A análise da variância, ou ANOVA, constitui um procedimento estatístico adequado para a avaliação de respostas quantitativas em experimentos planejados (Devore, 2006).

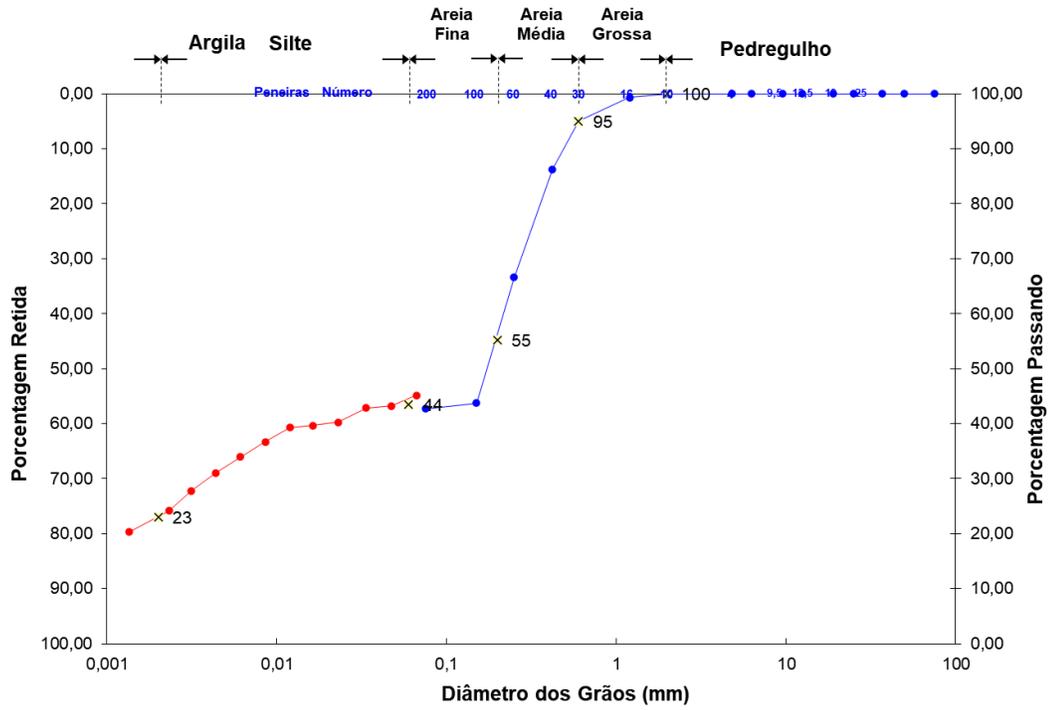
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização dos insumos

3.1.1 Análise granulométrica

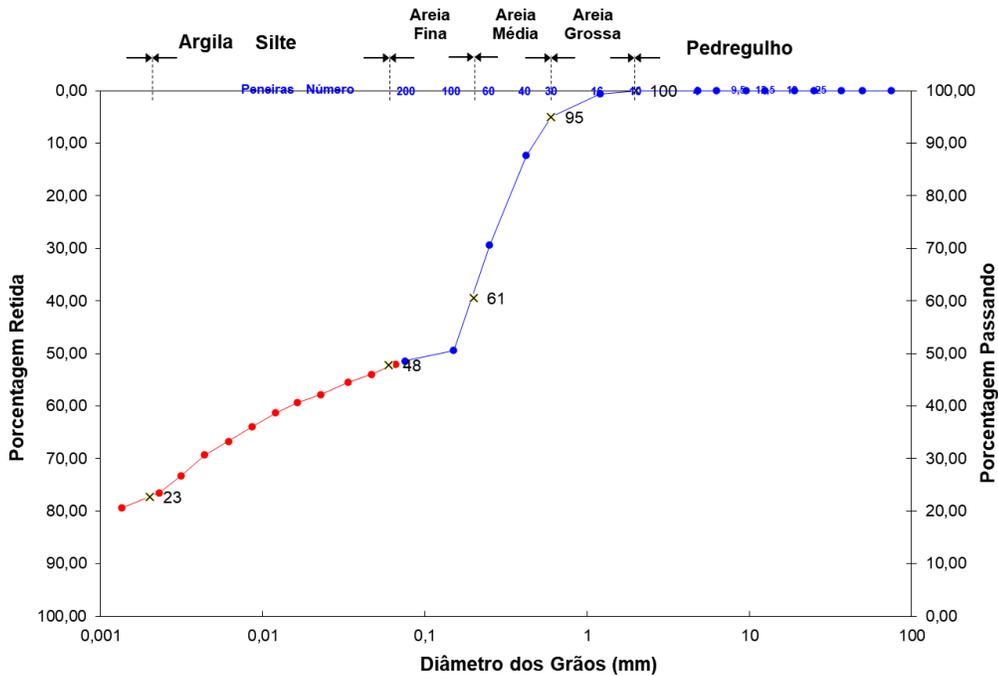
A partir dos ensaios granulométricos empregado para as Amostras C, D e E, foi possível gerar uma curva de distribuição do tamanho das partículas, para cada amostra como ilustra as Figuras 9, 10 e 11 respectivamente.

Figura 9 – Curva granulométrica Amostra C



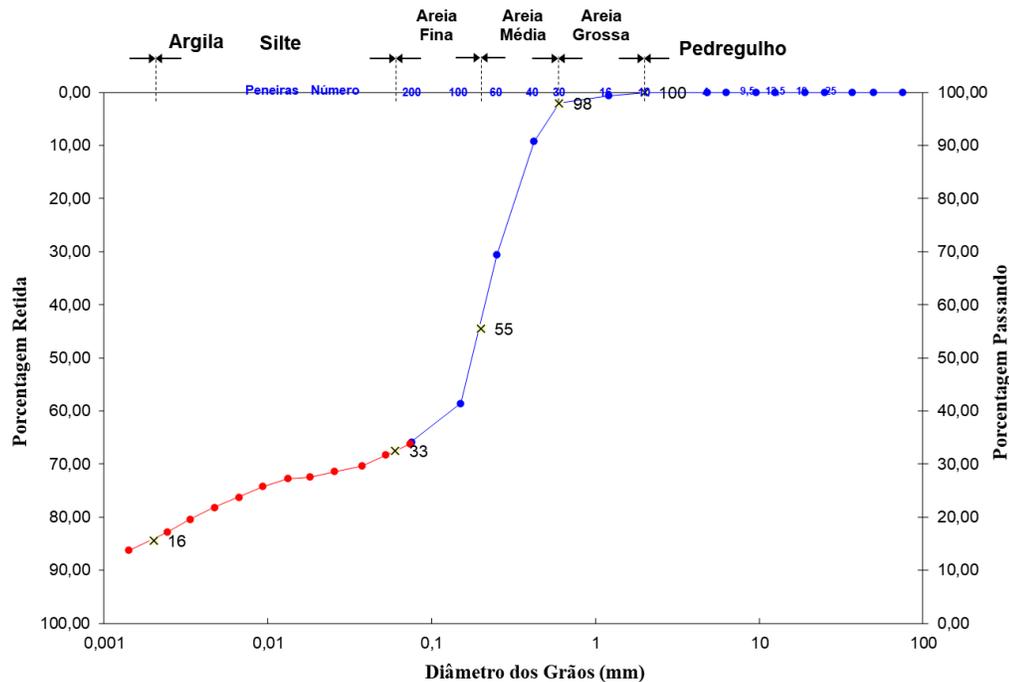
Fonte: Autora (2024).

Figura 10 – Curva granulométrica Amostra D



Fonte: Autora (2024).

Figura 11 – Curva granulométrica Amostra E



Fonte: Autora (2024).

Na Tabela 4, estão dispostas as frações das composições de cada amostra.

Tabela 4 – Composição das amostras de acordo com a granulometria

| Composição | Diâmetro (mm) | Amostra B (%) | Amostra C (%) | Amostra D (%) | Amostra E (%) |
|------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Argila | <0,02 | 51,5 | 23,0 | 22,7 | 15,7 |
| Silte | ≥0,002 a ≤0,06 | 49,5 | 20,5 | 25,0 | 16,9 |
| Areia | ≥0,06 a ≤2,0 | 0 | 56,5 | 52,2 | 67,5 |
| Pedregulho | >2,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Autora (2024).

Avaliando a Tabela 4, é possível identificar que a amostra B apresenta maior fração mássica em argila, as amostras C e D possuem a mesma quantidade de argila e a amostra E a menor fração mássica de argila.

A presença de silte ocorre em menor proporção na amostra E e em maior proporção da amostra B. Nenhuma das amostras possui a presença de pedregulhos.

Araalia e Pavia (2021) avaliaram o uso da argila lítica para a produção de tijolo solo-cimento sem cozimento, em seus estudos empregou a classificação da argila em % em peso, apresentando a predominância de silte na argila, constataram ainda que a adição de areia pode proporcionar aumento da resistência e diminuir a retração linear e a expansão do material por umidade.

3.1.2 Limites de Atterberg

Os Limites de liquidez e plasticidade das Amostra B, C, D e E estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos Limites de Atterberg

| Características | Requisitos (%) | Amostra B (%) | Amostra C (%) | Amostra D (%) | Amostra E (%) |
|------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Limite de Liquidez | ≤ 45 | 47,0 | 23,1 | 18,9 | 18,6 |
| Índice de Plasticidade | ≤18 | 22,8 | 13,1 | 8,6 | 5,5 |

Fonte: Autora (2024).

A norma ABNT NBR 10833 estabelece os requisitos normativos para a produção de tijolos solo-cimento em prensas manuais e hidráulicas, para isto o limite de liquidez da amostra deve ser ≤45%, o índice de plasticidade deve ≤ 18%. Verifica-se que a amostra B, composta pelo solo argiloso não atendeu os requisitos normativos para a fabricação de tijolos solo-cimento.

O autor Souza (2018) observou valor médio de Limite de Plasticidade de 29% em seus estudos, enquanto as amostras B, C, D e E apresentaram respectivamente 22,8%, 13,1%, 8,6% e 5,5%.

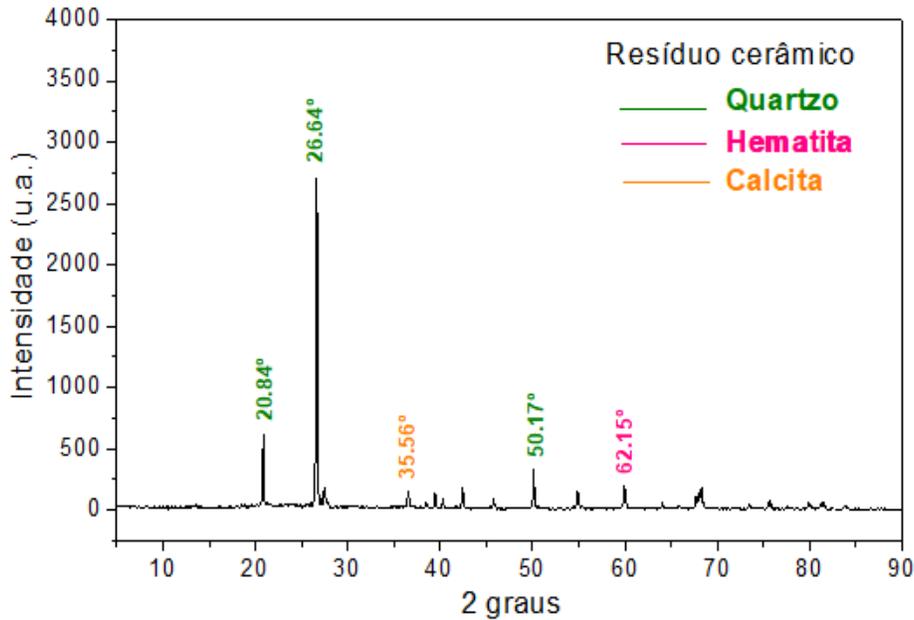
Inicialmente o objetivo seria produzir um tijolo solo-cimento composto por solo argiloso cimento *Portland* e água, após verificar os Limites de Atterberg constatou-se que o solo empregado não atendeu aos requisitos normativos. De acordo com Barros (2023), que avaliou a substituição parcial do solo por lama de alto-forno na produção de tijolos solo-cimento, e encontrou alta plasticidade em seu material, é necessário realizar a sua reconstrução adicionando areia. Para esta pesquisa o ajuste empregado foi de 7:1 (7 partes de solo argiloso para 1 parte de cimento *Portland*), onde a parte argilosa foi substituída por 50% de areia.

O solo argiloso empregado neste artigo é um resíduo proveniente da mineração, podendo apresentar características geológicas e composição química variada de acordo com a bancada da mina que é extraído, a amostra B apresentou limite de liquidez acima do normativo, onde apenas um lote de amostra foi cedido para o desenvolvimento desta pesquisa, para afirmar que o solo argiloso não seria adequado para a produção de tijolos solo-cimento, se faz necessário uma massa de amostra maior, efetuando-se o monitoramento da extração para que a amostra fosse representativa, ou seja fosse extraída de bancadas diversas em profundidades diferentes.

3.1.3 Difração De Raios-x

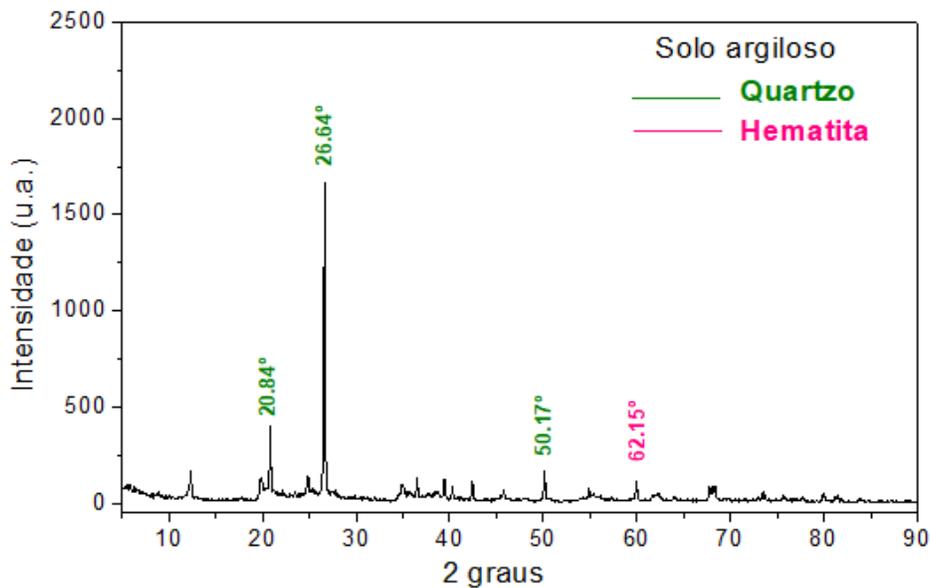
O difratograma apresentado na Figura 12, refere-se à caracterização mineralógica por Difração de Raios X (DRX) da Amostra A, a Figura 13 refere-se ao solo argiloso (Amostra B).

Figura 12 – Difratograma do resíduo cerâmico



Fonte: Autora (2024).

Figura 13 – Difratograma do solo argiloso



Fonte: Autora (2024)

As amostras apresentam um comportamento cristalino, sem halo amorfo aparente. Foram identificados traços de Quartzo (JCPDS #46-1045), Hematita (JCPDS #05-0586) e Calcita (JCPDS #05-0586).

3.1.4 Fluorescência por Raio-X

A análise química do resíduo cerâmico (Amostra A) e do solo argiloso (Amostra B) foi obtida através da Fluorescência por Raio-X, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise de composição química

| Elementos | Amostra A (%) | Amostra B (%) |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| SiO ₂ | 62,30 | 45,30 |
| Al ₂ O ₃ | 13,20 | 13,90 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,88 | 1,75 |
| SO ₃ | 0,02 | 0,10 |

Fonte: Autora (2024).

É possível verificar que há predominância do dióxido de silício, óxido de alumínio, óxido férrico e trióxido de enxofre, frequentemente presentes na composição de matéria prima argilosa para produção de materiais cerâmicos.

Gouveia (2009), realizou análise química da argila em seu estudo, quantificando SiO₂ 54,30%, Al₂O₃ 19,97%, Fe₂O₃ 9,47%, enquanto as amostras deste trabalho contêm SiO₂ 62,30%, Al₂O₃ 13,20%, Fe₂O₃ 1,88% no resíduo cerâmico (Amostra A) e SiO₂ 45,30%, Al₂O₃ 13,90%, Fe₂O₃ 1,75% no solo argiloso (Amostra B).

Rocha et al. (2021), analisou a composição química da cinza da casca de arroz para ser substituto do cimento Portland na produção de tijolos solo-cimento, o autor que destaca que para ser um substituto em potencial o material avaliado necessita apresentar SiO₂ superior a 80%, e em seus estudos encontrou SiO₂ de 90,74%. Neste estudo o resíduo cerâmico (Amostra A) apresentou SiO₂ 62,30% e SiO₂ 45,30% na amostra do solo argiloso (Amostra B).

3.2 Preparo dos tijolos de solo-cimento

Os tijolos elaborados podem ser visualizados na Figura 14, destaca-se que os mesmos foram produzidos com as medidas 125mm x 125mm x 130mm (C x L x A), atendendo a normativa ABNT NBR 8491 (2012).

Figura 14 – Tijolos solo-cimento



Fonte: Autora (2024).

3.3 Caracterização dos Tijolos Solo-cimento

3.3.1 Ensaio De Compressão Simples

As Tabelas 7 e 8, apresentam os valores da resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados aos 7 dias e 28 dias respectivamente.

Tabela 7 – Ensaios de resistência à compressão simples período de 7 dias

| Corpo de Prova | Resistência Lote 1 (Mpa) | Resistência Lote 2 (Mpa) | Resistência Lote 3 (Mpa) | Requisito Normativo |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 0,45 | 0,48 | 0,70 | ≥1,70 |
| 2 | 0,87 | 1,39 | 0,70 | ≥1,70 |
| 3 | 0,41 | 0,53 | 0,60 | ≥1,70 |
| 4 | 0,99 | 1,73 | 0,73 | ≥1,70 |
| 5 | 0,43 | 0,50 | 0,93 | ≥1,70 |
| 6 | 0,91 | 1,57 | 0,95 | ≥1,70 |
| 7 | 0,42 | 0,99 | 1,18 | ≥1,70 |
| Média | 0,45 | 1,03 | 0,83 | ≥2,00 |

Fonte: Autora (2024).

Tabela 8 – Ensaios de resistência à compressão simples período de 28 dias

| Corpo de Prova | Resistência Lote 1 (Mpa) | Resistência Lote 2 (Mpa) | Resistência Lote 3 (Mpa) | Requisito Normativo |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 0,52 | 1,48 | 0,98 | ≥1,70 |
| 2 | 0,35 | 0,64 | 0,81 | ≥1,70 |
| 3 | 0,98 | 1,35 | 1,18 | ≥1,70 |
| 4 | 0,68 | 1,25 | 0,68 | ≥1,70 |
| 5 | 0,49 | 0,97 | 0,69 | ≥1,70 |
| 6 | 0,82 | 0,83 | 0,82 | ≥1,70 |
| 7 | 0,74 | 1,04 | 0,77 | ≥1,70 |
| Média | 0,65 | 1,08 | 0,85 | ≥2,00 |

Fonte: Autora (2024).

É possível observar, que todo os corpos de prova do lote 1 e 3 apresentaram valores inferiores ao normativo para o período de cura de 7 dias. O destaque está para o corpo de prova número 4 do lote 2 (20% de resíduo cerâmico), obteve valor de 1,73 Mpa atendendo ao requisito normativo.

Avaliando as Tabelas 9 e 10, é possível constatar que quanto maior a proporção de resíduo cerâmico adicionado, a resistência tende a diminuir. De acordo com Cezar 2011, isso é resultante da formação de produtos de hidratação secundários, essencialmente os silicatos de cálcio hidratados, de baixa densidade.

Conforme Ferrari et al (2014), o valor da resistência à compressão das amostras por ele produzida atingiu o valor 2,27 MPa enquanto as amostras desenvolvidas nesse estudo tiveram os valores de 0,45 MPa para a amostras do lote 1, 1,03 MPa para amostras do lote 2 e 0,83 Mpa para as amostras do lote 3, com período de cura de 7 dias. Enquanto para o período de cura de 28 dias as médias foram de 0,65 MPa para a amostras do lote 1, 1,08 MPa para amostras do lote 2 e 0,85 MPa para o lote 3.

3.3.2 Ensaio De Absorção De Água

As Tabela 9 e 10 expressam os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água para os corpos de prova dos lotes correspondentes, os realizados foram realizados no período de cura de 7 e 28 dias.

Tabela 9 – Ensaios de absorção de água período de 7 dias

| Corpo de Prova | Umidade Lote 1 (Mpa) | Umidade Lote 2 (Mpa) | Umidade Lote 3 (Mpa) | Requisito Normativo (Mpa) |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| 1 | 18,65 | 16,31 | 19,40 | ≤22% |
| 2 | 16,60 | 16,95 | 19,41 | ≤22% |
| 3 | 18,24 | 18,16 | 20,38 | ≤22% |
| Média | 17,33 | 17,14 | 19,73 | ≤20% |

Fonte: Autora (2024).

Tabela 10 – Ensaios de absorção de água período de 7 dias

| Corpo de Prova | Umidade Lote 1 (Mpa) | Umidade Lote 2 (Mpa) | Umidade Lote 3 (Mpa) | Requisito Normativo (Mpa) |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| 1 | 15,33 | 17,55 | 18,43 | ≤22% |
| 2 | 16,20 | 16,04 | 19,31 | ≤22% |
| 3 | 18,15 | 15,04 | 17,09 | ≤22% |
| Média | 16,56 | 16,21 | 18,28 | ≤20% |

Fonte: Autora (2024).

De acordo com os requisitos normativos da ABNT NBR 8491 (2012), que estipula valores de absorção de água médio não superior a 20% e individual a 22%, destaca-se que os três lotes atenderam aos requisitos individuais e médios de absorção de água, para os dois períodos de cura, ou seja, de 7 e 28 dias.

3.4 Análise Estatística

O objetivo da análise estatística (ANOVA, com confiabilidade de 95%) foi avaliar se há influência na adição de resíduo cerâmico na resistência a compressão dos tijolos de solo-cimento aos 7 dias e 28 dias.

Percebeu-se que a adição de 20% de resíduo cerâmico ao solo (Amostra D) nos tijolos com 7 dias apresentou diferença significativa na resistência a compressão, isso porque $F > F_{crítico}$ e um índice $p = 0,000206$. Os tijolos com adição de 30% de resíduo cerâmico no solo (Amostra E) também evidenciaram um efeito significativo no aumento da resistência a compressão com um índice $p = 0,000115$.

O mesmo comportamento foi possível observar com os tijolos de solo-cimento com idade de cura de 28 dias, ambas as adições de 20% e 30 de resíduo cerâmico ao solo, amostras D e E respectivamente, obtiveram os mesmos resultados apresentaram um índice $p = 0,000117$ e $F > F_{crítico}$.

4 CONCLUSÃO

Quanto aos objetivos propostos conclui-se que na etapa de caracterização, foram realizados os ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade, FRX, DRX. Partindo desta caracterização foi possível elaborar um traço (7:1 com substituição de 20% do peso do solo por resíduo cerâmico), salienta-se que o solo argiloso empregado não atendeu aos requisitos da normativos, apresentando índices de liquidez e plasticidade acima do recomendado (47% e 23%) pela norma ABNT NBR 8491 (2012), a combinação desse solo argiloso com a areia proporcionou as características necessárias para a produção do tijolo, apresentando limite de liquidez $\leq 45\%$ e limite de plasticidade $\leq 18\%$.

A adição de 20% e 30% do peso do solo, por resíduo cerâmico da construção civil na composição, atendeu aos requisitos de caracterização da norma para fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento em prensa hidráulica e manual.

No ensaio de absorção para o período de cura de 7 dias, todos os tijolos dos lotes 1, 2 e 3 atenderam os requisito que constam na norma ABNT NBR 8491 (2012), não apresentar valores médios maiores a 20%, os resultados do ensaio foram 17,83%, 17,14% e 19,73% respectivamente.

Da mesma forma para o período de cura de 28 dias, os três lotes dos tijolos atenderam o requisito que constam na norma ABNT NBR 8491 (2012), apresentaram valores médios nos ensaios de absorção de água menores que 20%. Os resultados do ensaio foram 16,56%, 16,21% e 18,28% respectivamente.

No ensaio de resistência à compressão simples de 7 e 28 dias, os tijolos de referência (lote 1) e os com resíduo cerâmico (lotes 2 e 3), apresentaram resistência média inferior a 2MPa exigidos pela norma ABNT NBR 8491 (2012).

Conclui-se então, que a adição de resíduo cerâmico nas frações propostas não atendeu o requisito normativo (ABNT NBR 8492:2012) referente a resistência de compressão mínima de 2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais com idade de 7 e 28 dias, com isso os resultados indicaram baixas propriedades mecânicas, sendo necessário realizar a determinação das frações ideais de resíduo cerâmico para que os limites normativos sejam atendidos adequadamente.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto—Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Norma Tijolo de Solo Cimento - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Norma Tijolo de Solo Cimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: Norma Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834**: Norma Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Norma Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO TIJOLO ECOLÓGICO, **ANITECO**, 2020. Disponível em: <https://www.aniteco.org.br> Acesso em: 23 out. de 2022.

ARAALIA, D M.; PAVIA, S. **Properties of unfired, illitic-clay bricks for sustainable construction**, Construction and Building Materials. Volume 268, 2021, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121118>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820331226> Acesso em: 15 abr de 2024.

BARROS, I. L.D.; **Tijolos de solo-cimento com substituição parcial do solo por lama de alto forno**. Dissertação de Mestrado – Instituto Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/3581> Acesso em: 15 abr de 2024.

BOERIZ, T. A.; GONÇALVES FILHO, M. **Gestão da Qualidade na prevenção dos desperdícios em canteiros de obras da construção civil**. Brazilian Journal of Production Engineering. Volume 7, 2021, <https://doi.org/10.47456/bjpe.v7i3.35827>. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/35827/23707> Acesso em: 26 fev. 2023.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

FERRARI, J.F.; SOUZA, A.H.; BALTAZAR, H.P.; DOTTO, W.; NETO, J.G. **Soil-cement hollow bricks produced in the Caiuá Arenite Region of Paraná.** *Ambient. constr.* 14 (3) 2014, Pages 131-148, <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000300011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/hb9SSdWTV4ZGbJJ7krvh9XJ/> Acesso em: 10 jan. 2023.

GOUVEIA, F.P. **Incorporação de chamote em massa cerâmica para produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas.** Universidade de Brasília. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/240971595>. Acesso em: 15 set. 2023

MIRANDA, C. M. **Estudo de tijolos de solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição.** Universidade Federal de Tocantins, Palmas, 2019. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/1893>. Acesso em: 28 mai. 2021.

PASCHOALIN, J. A.; LIMA, P. R.; DE OLIVEIRA, L. R. G. J.; DE FARIA, A. C. **Gerenciamento de resíduos de construção civil (RCC) em edifícios residenciais de alto padrão no município de São Paulo/SP.** *Revista De Gestão Social E Ambiental – RGSA.* Volume 11,2017, Páginas 73-89, ISSN 1981-982, <https://doi.org/10.24857/rgsa.v11i1.1217> Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/1217>. Acesso em: 14 fev. 2023.

ROCHA, J. H. A.; ROSAS, M.H.; CHILENO, N. G. C; TAPIA, G.S.C. **Physical-mechanical assessment for soil-cement blocks including rice husk ash.** *Case Studies in Construction Materials.* Volume 14,2021, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00548>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509521000632> Acesso em:29 abr. 2024.

SEBRAE, **Como montar uma fábrica de tijolos ecológicos.** Brasília, 2019. Disponível em https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-tijolos-ecologicos_ce387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD#localizacao. Acesso em: 14 fev. 2023.

SOUZA, L. K. **Limites de Atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos.** *Brazilian Journal of Biosystems Engineering.* Volume 12,2018, Pages 185-196, ISSN 2359-6724, <https://doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p185-196>. Disponível em: <http://https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Qx3zyWVxQJPst4DWZyY3WqD/abstract/?lang=en#>. Acesso em: 12 mai. 2023.

4 CONCLUSÃO

Quanto aos objetivos propostos conclui-se que na etapa de caracterização, foram realizados os ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade, FRX, DRX. Partindo desta caracterização foi possível elaborar um traço (7:1 com substituição de 20% do peso do solo por resíduo cerâmico), salienta-se que o solo argiloso empregado não atendeu aos requisitos da normativos, apresentando índices de liquidez e plasticidade acima do recomendado (47% e 23%) pela norma ABNT NBR 8491 (2012), a combinação desse solo argiloso com a areia proporcionou as características necessárias para a produção do tijolo, apresentando limite de liquidez $\leq 45\%$ e limite de plasticidade $\leq 18\%$.

A adição de 20% e 30% do peso do solo, por resíduo cerâmico da construção civil na composição, atendeu aos requisitos de caracterização da norma para fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento em prensa hidráulica e manual.

No ensaio de absorção para o período de cura de 7 dias, todos os tijolos dos lotes 1, 2 e 3 atenderam os requisito que constam na norma ABNT NBR 8491 (2012), não apresentar valores médios maiores a 20%, os resultados do ensaio foram 17,83%, 17,14% e 19,73% respectivamente.

Da mesma forma para o período de cura de 28 dias, os três lotes dos tijolos atenderam o requisito que constam na norma ABNT NBR 8491 (2012), apresentaram valores médios nos ensaios de absorção de água menores que 20%. Os resultados do ensaio foram 16,56%, 16,21% e 18,28% respectivamente.

No ensaio de resistência à compressão simples de 7 e 28 dias, os tijolos de referência (lote 1) e os com resíduo cerâmico (lotes 2 e 3), apresentaram resistência média inferior a 2MPa exigidos pela norma ABNT NBR 8491 (2012).

Conclui-se então, que a adição de resíduo cerâmico nas frações propostas não atendeu o requisito normativo (ABNT NBR 8492:2012) referente a resistência de compressão mínima de 2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais com idade de 7 e 28 dias, com isso os resultados indicaram baixas propriedades mecânicas, sendo necessário realizar a determinação das frações ideias de resíduo cerâmico para que os limites normativos sejam atendidos adequadamente.

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. S. T.; MELO, M. C. de; BOARETO, M. D.; REZENDE, R. M.. **Análise da correlação do volume de resíduos sólidos provenientes da construção civil com o produto interno bruto para os municípios no estado de Minas Gerais**. Revista Augustu. Volume.24,2020, Pages 320-331. DOI: <https://doi.org/10.15202/1981896.2019v24n49p320>. Disponível em: <https://revistas.unisuam.edu.br/index.php/revistaagustus/article/view/478>. Acesso em: 17 dez. de 2023.

ANGEL, J. D. M. et al. **Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado**. Química Nova, Volume 32, 2009, Páginas 1110 – 1114, <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000500006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/bS3sjKSL9g3tZK8ZF5RdnMy/abstract/?lang=en>. Acesso em: 28 out. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto–Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Norma Tijolo de Solo Cimento - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Norma Tijolo de Solo Cimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: Norma Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834**: Norma Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Norma Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO TIJOLO ECOLÓGICO, **ANITECO**, 2020. Disponível em: <https://www.aniteco.org.br> Acesso em: 23 out. de 2022.

ARAALIA, D M.; PAVIA, S. **Properties of unfired, illitic-clay bricks for sustainable construction**, Construction and Building Materials. Volume 268,2021, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121118>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820331226> Acesso em: 15 abr de 2024.

BARROS, I. L.D.; **Tijolos de solo-cimento com substituição parcial do solo por lama de alto forno**. Dissertação de Mestrado – Instituto Federal do Espírito Santo,

Espirito Santo, 2023. Disponível em:
<https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/3581> Acesso em: 15 abr de 2024.

BOERIZ, T. A.; GONÇALVES FILHO, M. **Gestão da Qualidade na prevenção dos desperdícios em canteiros de obras da construção civil**. Brazilian Journal of Production Engineering. Volume 7,2021, <https://doi.org/10.47456/bjpe.v7i3.35827>. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/35827/23707> Acesso em: 26 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. D.O.U de 03/08/2010, pág. nº 3. Disponível em: https://planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm Acesso em: 15 fev. 2023.

CAETANO, M. J. L. **Tamanho das partículas e sua distribuição. Ciência e Tecnologia da Borracha – CTB**. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/cargas/cargas-e-propriedades/principais-caracteristicas-das-cargas/tamanho-das-particulas-e-sua-distribuicao/> . Acesso em: 08 mar. 2022.

CARASEK, H.; GIRARDI, A.C.C.; ARAUJO,R.C.; ANGELIM,R.;CASCUDO,O. **Study and evaluation of construction and demolition waste recycled aggregates for masonry and rendering mortars**. 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ce/a/nsVJSgzcP7gMzKVnHTjyQB_H/# . Acesso em: 28 dez. 2022.

DE CASTRO, D. M.; SARTORI, L. **A gestão de resíduos da construção civil constitui-se como um instrumento para mitigar danos ambientais advindos do setor**. Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar. Volume 1,2021. Pages e210920. ISSN 2675-6218. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v1i1.920>. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/920>. Acesso em: 12 nov. 2023.

CEZAR, D. S. **Características de Durabilidade de Concretos com Cinzas Volante e Cinza de Casca de Arroz com e sem Beneficiamento**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia. Santa Maria, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7759/CEZAR%2c%20DAIANA%20DE%20SOUZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 abril. 2024.

CHEREGATTI, M. C; SILVA, M. R. **Redução de resíduos no canteiro de Obra**. Boletim do Gerenciamento. Volume 26,2021. Páginas. 61-69. ISSN 2595-6531. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdoGerenciamento/article/view/592> . Acesso em: 12 jun. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. CONAMA, Brasil. 2002. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 08 jun. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 001, - Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.** CONAMA, Brasil. 1986. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 08 jun. 2021.

DANTAS, N. K. P. D. **Estudo do comportamento de tijolos de solo-cimento com substituição de solo por resíduos da construção civil.** Instituto Federal Goiano. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1286>. Acesso em: 26 dez. 2022.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

FERRARI, J.F.; SOUZA, A.H.; BALTAZAR, H.P.; DOTTO, W.; NETO, J.G. **Soil-cement hollow bricks produced in the Caiuá Arenite Region of Paraná.** Ambient. constr. 14 (3) 2014, Pages 131-148, <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000300011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/hb9SSdWTV4ZGbJJ7krvh9XJ/> Acesso em: 10 jan. 2023.

FIGUEIRA, J.M. **Preparo e caracterização de filmes de HEC/PAADDA reticulados com glutaraldeído.** Macaé. 2022. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/19192/1/JMFIGUEIRA.pdf> Acesso em: 22 nov. 2022.

FONSÊCA, N. J. M. D. **Potencial de substituição do cimento pela cal em tijolos de solo-cimento com incorporação de resíduo cerâmico.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/25338>. Acesso em: 26 dez. 2022.

GOBBO, L. de A. **Os compostos do clínquer portland: sua caracterização por difração de raios-X e quantificação por refinamento de Rietveld.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, São Paulo, 2003.

GONÇALVES, C. P.; CARDOSO, A. F. **A utilização da cerâmica nas técnicas construtivas em busca da inovação e sustentabilidade.** Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://www.doccity.com/pt/utilizacao-da-ceramica-nas-tecnicas-construtivas/5074470/>. Acesso em: 26 dez. 2022.

GONÇALVES, E. S.; GUEDES, R. I. D. O. **A utilização do tijolo solo cimento como alternativa à demanda ambiental e econômica na construção de casas populares.** 2021. <https://repositorio.unifaema.edu.br/handle/123456789/3112>. Acesso em: 26 nov. 2021.

GOUVEIA, F.P. **Incorporação de chamote em massa cerâmica para produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas.** Universidade de Brasília.

2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/240971595>. Acesso em: 15 set. 2023

HOPPE, F. J. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto**. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-19082008-172648/publico/TESE_DOUTORADO_JUAREZ_HOPPE_FILHO.pdf. Acesso em: 22 nov. 2022.

KONGKAJUN, N.; INEURE, P.; CHERDHIRUNKORN, B.; CHAKARTINARODOM, P., **Soil-cement bricks produced from local clay brick waste and soft sludge from fiber cement production**. Case Studies in Construction Materials. Volume 13,2020, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00448>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509520301200>. Acesso em: 16 out. 2023.

LIMAMI, H.; CHERKAOI, K.; MANSSOURI, I.; KHALDOUN, A. **Recycled wastewater treatment plant sludge as a construction material additive to ecological lightweight earth bricks**, Cleaner Engineering and Technology, Volume 2,2021, Pages 974-979, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100050>. Disponível em: <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821000100>. Acesso em: 16 out. 2023.

MARCHIORI, J. C. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de tijolos solo-cimento prensados com a incorporação de materiais alternativos**. Instituto Federal do Espírito Santo. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1052>. Acesso em: 28 out. 2023.

MAHLLAWAY, M. S. E; KANDEEL. A. M. **Engineering and mineralogical characteristics of stabilized unfired montmorillonitic clay bricks**. HBRC Journal, Volume 10,2014, Pages 82-91, ISSN 1687-4048, <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.08.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/%20pii/S168740481300076X>. Acesso em: 29 abr 2024.

MELO, A. E. de; DIAS, G. N.; Queiroz, HEDWIG T. P. de; ALMEIDA, I. G. de; ANDRADE, J. S. de; Mergulhão, R.; OLIVEIRA, R. G. de . **Recycling as a sustainable alternative to irregular disposal of waste in civil Construction**. Revista Mangaio Acadêmico. Volume 7,2022. Pages 76-99. Disponível em: <https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/mangaio/article/view/1619>. Acesso em: 26 jan. 2023.

MICHAEL, A.; MOUSSA, R. R. **Investigating the Economic and Environmental Effect of Integrating Sugarcane Bagasse (SBC) Fiber in Cement Bricks**. Ain Shams Engineering Journal, Volume 12,2021, Pages 13297-3303, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.12.012>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447921000459> . Acesso em: 29 abr. 2024.

MIRANDA, C. M. **Estudo de tijolos de solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição.** Universidade Federal de Tocantins, Palmas, 2019. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/1893>. Acesso em: 28 mai. 2021.

MORAES, C. S. B. de, DOLPHINE, L. M. MAEDA, A. Y. **Auditoria do plano de gerenciamento de resíduos em instituição com base na Política Nacional de Resíduos Sólidos e leis correlatas.** Peer Review, Volume 5,2023. Pages 59–81. DOI: <https://doi.org/10.53660/208.prw212> Disponível em: <https://peerw.org/index.php/journals/article/view/208>. Acesso em: 28 nov. 2023.
NASCIMENTO, Á.M.; FEITOSA A. O.; ALMEIDA, T. S.; LACERDA, D. M. **Tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil.** Inter Scientia, Volume 6,2018, Páginas 187-202. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/download/645/527>. Acesso em: 8 de jun. 2021.

NIYOMUKIZA, J. B.; NABITAKA, C. K.; KIWANUKA, M.; TIBOTI, P.; AKAMPURILA, J.; **Enhancing Properties of Unfired Clay Bricks Using Palm Fronds and Palm Seeds.** Results in Engineering, Volume 16,2022, Pages 1-7, ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100632>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123022003024>. Acesso em: 8 de abril. 2024.

NEVES, G.A.; SILVA, C.G.; FIGUEIREDO, S.S. **Durabilidade de tijolos solo-cal incorporados com resíduos de demolição da construção civil.** Revista Escola de Minas, Ouro Preto, Volume 64,2020, Páginas 273-279.

OLIVEIRA, R. F. V. **Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2382>. Acesso em: 28 nov. 2021.

PASCHOALIN, J. A.; LIMA, P. R.; DE OLIVEIRA, L. R. G. J.; DE FARIA, A. C. **Gerenciamento de resíduos de construção civil (RCC) em edifícios residenciais de alto padrão no município de São Paulo/SP.** Revista De Gestão Social E Ambiental – RGSA. Volume 11,2017, Páginas 73-89, ISSN 1981-982, <https://doi.org/10.24857/rgsa.v11i1.1217> Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/1217>. Acesso em: 14 fev. 2023.

PINTO, L. M. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil.** TCC Graduação - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em:

<http://coral.ufsm.br/gepetecs/images/pdf/TCC--Lucas-Mazzoleni-Pinto---correes.pdf>.

Acesso em: 05 dez. 2021.

QUEIROZ, M. E. R. de; OLIVEIRA, Jaqueline M. de; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. **Boas práticas na redução, reutilização e reciclagem de resíduos na construção de edifícios.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO. Volume 12,2021. Pages 1–8. DOI: <https://doi.org/10.46421/sibragec.v12i00.436>. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/436>.. Acesso em: 12 jun. 2023.

RODRIGUES, P.L; HOLANDA, J.S.F. **Recycling of water Treatment Waste Plant Wast for Production of Soil-Cement Bricks.** Procedia Materials Science, Volume 8,2015, Pages 197-202, ISSN 2211-8128, <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.064>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211812815000656> Acesso em: 29 abr. 2024.

ROCHA, J. H. A.; ROSAS, M.H.; CHILENO, N. G. C; TAPIA, G.S.C. **Physical-mechanical assessment for soil-cement blocks including rice husk ash.** Case Studies in Construction Materials. Volume 14,2021, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00548>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509521000632> Acesso em:29 abr. 2024.

ROQUE, R. A. L.; PIERRI, A. C. **Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil.** Research, society and development. Volume 8,2019, ISSN 2525-3409, <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i2.703>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/703>. Acesso em: 26 dez. 2022

SEBRAE, **Como montar uma fábrica de tijolos ecológicos.** Brasília, 2019. Disponível em <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-tijolos-ecologicos,ce387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD#localizacao>.. Acesso em: 14 fev. 2023.

SILVA, B.S.; GOMES, N.T.; BAHIENSE, A.V.; OLIVEIRA, R.P. ALEXANDRE, J. **Soil-cement brick: incorporation of waste and feasibility in civil construction in Brazil.** Research, Society and Development. Volume 11,2022. Disponível em: [file:///C:/Users/Luise/Downloads/25605-Article-299489-1-10-20220122%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Luise/Downloads/25605-Article-299489-1-10-20220122%20(1).pdf) Acesso em: 15 out. 2022.

SINIR 2023. **Sistema Nacional de informações sobre a gestão dos resíduos sólidos Resíduos sólidos da construção civil.** Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-da-construcao-civil/> Acesso em: 15 jan. 2023.

SITTON, J. D.; STORY, B. A., **Estimating Soil Classification Via Quantitative and Qualitative Field Testing for Use in Constructing Compressed Earth Blocks**,

Procedia Engineering, Volume 145,2016, Pages 860-867, ISSN 1877-7058,

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.112>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816301187>. Acesso em: 29 abr. 2024.

SOARES, M. C. R. **Logística reversa aplicada à construção civil: análise dos processos de descarte em uma construtora no município de Capão da Canoa/RS.**

TCC Graduação – Curso de Administração, Universidade Santa Cruz do Sul, Rio

Grande do Sul, 2017. ISSN 2318-8685. Disponível em:

<https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/semic/article/view/17529>. Acesso em: 03 dez. 2021.

SOUZA, L. K. **Limites de Atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos.** Brazilian Journal of Biosystems Engineering. Volume 12,2018,

Pages 185-196, ISSN 2359-6724, <https://doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p185-196>.

Disponível em:

<http://https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Qx3zyWVxQJPst4DWZyY3WqD/abstract/?lang=em#>. Acesso em: 12 mai. 2023.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A.A.S.; PEREIRA, J.A. **Soil-cement pressed bricks made with concrete wastes.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,

Campina Grande. Volume 12,2008, Páginas 205-212, <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200014>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Qx3zyWVxQJPst4DWZyY3WqD/abstract/?lang=en>.

Acesso em: 23 ago. 2023.

TABOSA, M. T.; VIEIRA, M. M.; SOARES, S. R.; OLIVEIRA, A.S.; HAYAMA, A. O. F.

Os processos de reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) e a produção de agregado. Anais do Seminário Regional de Extensão Universitária da Região

Centro-Oeste (SEREX). Volume 5,2021, Páginas 1-6, ISSN 2764-1570. Disponível em:

<https://anais.ueg.br/index.php/serex/article/download/14897/11841>. Acesso em: 20 dez. 2022.

TEIXEIRA, F.P.; MACHADO, T.G.; JUNIOR, N. P. J.; BORGES, S.P.T.; RIBEIRO, R.B.;

JUNIOR, L.A.B. **Propriedades tecnológicas do tijolo solo-cimento vazado de 2**

furos. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração. Volume 18, 2021, Páginas 1-

6, ISSN 2176-1523, <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20212147>. Disponível em:

<https://tecnologiamm.com.br/article/doi/10.4322/2176-1523.20212147> Acesso em: 15 nov. 2023.

XIONG, W.; HANQING, Z.; XU, J.; MA, J.; LUO, C. **Experimental investigations n**

physical and mechanical properties of excavated concrete aggregate-base unfired clay bricks containing compound additives. Case Studies in Construction Materials.

Volume 17,2023, Pages 150-163, ISSN 2199-6512, [https://doi.org/10.2478/cee-2021-](https://doi.org/10.2478/cee-2021-0016)

[0016](https://doi.org/10.2478/cee-2021-0016). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221450952300236X>. Acesso em: 16 abr. 2024.

XIONG, W.; CHEN, Y.; XU, J.; ZHANG, Z.; LIANG, C. **Reuse of engineering waste soil and recycled fine aggregate to manufacture eco-friendly unfired clay bricks: Experimental assessment, data-driven modeling and environmental friendliness evaluation.** Case Studies in Construction Materials. Volume 19,2023, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02608>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science%20/article/pii/S221450952300788X>. Acesso em: 16 out. 2023.

XU, J.; LAI, T.; XIONG, W.; LIU, Y.; YING, W.; GUO, X. **Properties or using excavated soil waste as fine and coarse aggregates in unfired clay bricks after dry-wet cycles.** Case Studies in Construction Materials. Volume 17,2022, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01471>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science%20/article/pii/S2214509522006039>. Acesso em: 16 out. 2023.

WANG, W.; GAN, Y.; KANG, X. **Synthesis and characterization of sustainable eco-friendly unburned bricks from slate tailings.** Journal of Materials Research and Technology. Volume 14,2021. Pages 1697-1708, ISSN 1697-1708 , <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.071>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785421007341>. Acesso em: 16 out. 2023.