



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

BARBARA REIS CARBONE
NATHALIA DE ALMEIDA MACIENTE MARTINS DA SILVA

Potencial de uso de carepa de laminação como componente de tijolos ecológicos

Guaratinguetá
2023

Barbara Reis Carbone
Nathalia de Almeida Maciente Martins da Silva

Potencial de uso de carepa de laminação como componente de tijolos ecológicos

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dr^a Isabel Cristina de Barros Trannin.

Coorientadora: Jaqueline Arice Gaudencio da Silva.

Guaratinguetá

2023

S586p	Silva, Nathalia de Almeida Maciente Martins da Potencial de uso de carepa de laminação como componente de tijolos ecológicos / Nathalia de Almeida Maciente Martins da Silva ; Barbara Reis Carbone – Guaratinguetá, 2023. 54 f : il. Bibliografia: f. 48-54 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientadora: Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin Coorientadora: Jaqueline Arice Gaudencio da Silva 1. Gerenciamento de resíduos. 2. Construção sustentável. 3. Tijolos. 4. Construção civil. I. Título. II. Carbone, Barbara Reis. CDU 69
-------	---



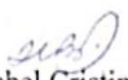
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

BARBARA REIS CARBONE

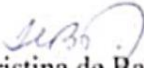
NATHALIA DE ALMEIDA MACIENTE MARTINS DA SILVA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADA EM ENGENHARIA CIVIL"

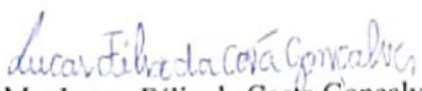
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin
Orientadora/UNESP-FEG


Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
UNESP-FEG


Me. Lucas Félix da Costa Gonçalves
Empresa Verde - Membro Externo

Janeiro de 2023

Aos nossos pais.

AGRADECIMENTOS DE BARBARA

Gostaria de agradecer, primeira e imensamente, aos meus pais, estes que sempre me apoiaram nas minhas decisões e me deram todo apoio e suporte que precisei durante todos esses anos. Sou grata a eles pela minha saúde, educação, bem-estar, dedicação, força de vontade e por nunca deixarem me faltar nada; vocês são a minha maior base e inspiração.

Também gostaria de agradecer à minha orientadora Prof^a Dr^a Isabel Trannin por todo suporte, força e disposição durante a execução deste trabalho, e que mesmo perante todas as dificuldades nos foi imensamente solícita; à minha coorientadora Jaqueline Arice que disponibilizou tempo, atenção e conhecimento para nos ajudar na confecção dos tijolos; ao Lucas Félix que nos viabilizou a utilização das máquinas e equipamentos necessários para a confecção dos tijolos, oferecendo seu tempo e experiência na área, e ao Prof. Dr. Teófilo de Souza pelas correções e dicas para executarmos um trabalho com excelência. Além destes, agradeço ao técnico do Departamento de Engenharia Civil, Flávio Augusto por dispor do seu tempo, atenção e prática durante os ensaios realizados e ao Thiago Alvarenga por viabilizar a utilização da carepa de laminação em nosso estudo.

Não menos importante, agradeço ao meu antigo colega de turma, Gabriel Barros, pelos anos de estudo, apoio, compreensão, parceria, ajuda e principalmente amizade que perduram além da faculdade. Seu suporte como parceiro de estudo e como amigo foi e ainda é fundamental para mim. À Taciana Reis, agradeço por tornar minha primeira experiência no mercado de trabalho mais leve, estando sempre disposta a ajudar, por tantos conselhos profissionais e pessoais e por partilhar conhecimento e experiência, sendo não apenas minha líder, mas também uma amiga, contribuindo para minha formação de forma muito positiva.

Além destes, agradeço imensamente às minhas amigas da República TudoPelaDona que me acolheram como minha segunda família, que partilharam de tantos momentos maravilhosos e me foram base durante situações difíceis desta longa jornada.

Agradeço, também, à minha dupla, Nathalia Maciente, por toda dedicação, paciência, parceria e foco durante a realização deste trabalho acadêmico que tanto nos orgulhamos de ter executado, além das boas risadas e dificuldades que compartilhamos juntas durante nossa graduação.

Por fim, agradeço a todos os meus colegas, amigos e parentes, que de alguma forma me incentivaram, me ajudaram e me apoiaram nesses cinco anos muito importantes e árduos da minha vida.

AGRADECIMENTOS DE NATHALIA

Agradeço primeiramente a Deus, que permitiu que meus objetivos fossem alcançados durante os meus anos de estudo. Agradeço imensamente aos meus pais, minha irmã e meu namorado, por todo o amor e dedicação, que jamais deixaram de me apoiar e incentivar, estando comigo em todos os momentos que precisei. Tudo o que sou hoje é graças a vocês.

Com muita admiração e carinho, agradeço à minha orientadora, Prof.^a Dr^a Isabel Trannin, que não mediu esforços para nos auxiliar, e que mesmo em tempos difíceis fez questão de manter a nossa motivação, sendo para mim uma verdadeira inspiração.

Também agradeço à minha coorientadora Jaqueline Arice, que nos deu muito suporte, compartilhando sua experiência e dedicando tempo para que nossos tijolos pudessem ser confeccionados; agradeço ao Thiago Alvarenga por conseguir nosso principal componente de estudo; agradeço ao Lucas Félix, que prontamente disponibilizou todo o equipamento e ajuda necessária para a produção dos tijolos, com muita paciência e gentileza; ao Prof. Dr. Teófilo de Souza pelo suporte e correções, e ao Daniel que me auxiliou durante a preparação dos tijolos para ensaio.

Ademais, agradeço ao técnico do Departamento de Engenharia Civil da FEG, Flávio Augusto Bernardes da Silva, que permitiu a realização de todos os ensaios com a maior dedicação e carisma possíveis.

Não menos importante, agradeço aos meus amigos: Lucas, Gabi, João, Matheus, Gab e Maryelen, pela parceria, preocupação, incentivo e auxílio durante a graduação, vocês foram e são muito importantes para mim.

Agradeço também à minha dupla, Barbara, por aceitar dividir comigo essa experiência, desde toda a ansiedade e aflição até o orgulho que sentimos ao finalizar o trabalho. Sou muito grata à sua dedicação, esforço e amizade, não só durante a elaboração deste estudo, mas também durante esses anos de faculdade.

E por fim, agradeço a todas as pessoas que durante esse processo contribuíram de alguma forma para que esse trabalho fosse possível, e para a minha formação, vocês certamente tiveram impacto na minha vida.

“Ninguém vai bater tão forte como a vida, mas a questão não é o quão forte você consegue bater. É o quão forte você consegue apanhar e continuar seguindo em frente.”;

Rocky Balboa

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar pela primeira vez o potencial de aproveitamento da carepa de laminação, resíduo da siderurgia, como substituto parcial do cimento Portland CPIII, na produção de tijolos solo-cimento, também conhecidos como tijolos ecológicos, como alternativa sustentável para minimizar os impactos ambientais causados pela destinação inadequada deste resíduo e para a redução do uso de cimento, cuja produção gera grandes quantidades de CO₂. As proporções de solo, cimento e carepa de laminação, utilizadas na confecção dos tijolos, foram definidas com base na textura do solo e nas propriedades físicas dos demais componentes, aplicando os procedimentos de fabricação e ensaios estabelecidos pelas normas brasileiras NBR 10833, NBR 8491 e NBR 8492. Após a correção da textura do solo até a fração areia atingir 76%, foi utilizado o traço de solo: cimento de 7:1. Para avaliar a substituição parcial do cimento por carepa de laminação, foram testadas as proporções (%) de cimento: carepa: 1) 100:0; 2) 85:15 e 3) 75:25. Após a homogeneização dos componentes, os tijolos de dois furos foram moldados por prensagem manual e passaram pelo processo de cura de 7 e 28 dias e, em seguida, foram analisados quanto à resistência à compressão e à absorção d'água. Os resultados obtidos indicaram que o solo do município de Canas (SP), mesmo após a correção da fração de areia, quando utilizado para a confecção de tijolos solo-cimento, não atendeu aos requisitos estabelecidos pelas normas, quanto à resistência à compressão, que deve ser de no mínimo 2,0 MPa, apresentando valores de 1,27 MPa para a proporção de 15% e 1,14 MPa para 25%. Já quanto à absorção de água, os tijolos apresentaram resultados positivos em relação à norma, com 0% de carepa, a absorção de água média foi de 15,2%, com 15% de carepa a absorção foi de 13,9% e com 25% o resultado obtido foi de 16,6%. A adição de carepa de laminação em substituição ao cimento nas proporções de 15% e 25% não teve influência significativa sobre o comportamento mecânico dos tijolos testados, indicando que apresenta potencial de uso como substituto parcial do cimento, o que deve ser avaliado em estudos posteriores aplicando outros traços para este solo ou até mesmo avaliando a utilização de solos mais adequados à confecção de tijolos solo-cimento. Também recomenda-se o uso de prensa hidráulica para manter o padrão de prensagem; a avaliação da carepa com e sem trituração; diferentes tipos de materiais de assentamento e por fim a avaliação da interação entre solo-cimento-carepa e/ou cimento-carepa.

PALAVRAS-CHAVE: Construção Civil. Tijolo Solo-cimento. Resíduo de Siderurgia. Aproveitamento de Resíduos. Materiais Sustentáveis.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate, for the first time, the potential of using mill scale, a steelworks residue, as a partial substitute for CPIII Portland cement, in the production of soil-cement bricks, also known as ecological bricks, as a sustainable alternative to minimize the environmental impacts caused by the disposal of this residue and the reduction in the use of cement, whose production generates large amounts of CO₂. The proportions of soil, cement and mill scale, used in the production of the bricks, were established based on the texture of the soil and the physical properties of the other components, applying the manufacturing and testing procedures in accordance with Brazilian standards NBR 10833, NBR 8491 and NBR 8492. After correcting the soil texture until sand reached 76%, the trait used of soil:cement was 7:1. To evaluate the partial replacement of cement by mill scale, the proportions (%) of cement:mill scale used was 1) 100:0; 2) 85:15 and 3) 75:25. After homogenizing the components, the two-hole bricks were molded by manual pressing and underwent a curing process of 7 and 28 days and then were analyzed for resistance to compressive strength and water absorption, according to the standard. The results obtained indicate that the soil from the county of Canas (SP), even after correcting the sand portion, when used for the manufacture of soil-cement bricks, did not reach the requirements, regarding resistance to compressive strength, which must be at least 2.0 MPa, representing values of 1.27 MPa for the proportion of 15% of mill scale and 1.14 MPa for the 25%, being necessary further studies aiming the adequacy of the trace used. As for water absorption, the bricks showed positive results in relation to the norm, with 0% scale, the average water absorption was 15.2%, with 15% scale the absorption was 13.9% and with 25% the result obtained was 16.6%. The addition of lamination scale replacing Portland cement CPIII in the proportions of 15% and 25% did not have a significant influence on the mechanical behavior of the two-hole soil-cement bricks, indicating that it has potential for use as a partial substitute for cement, which should be evaluated in further studies applying other traces to this soil or even evaluating the use of soils that are more suitable for making soil-cement bricks. It is also recommended to use a hydraulic press to maintain the pressing pattern; assessment of scale with and without crushing; different types of laying materials and finally the evaluation of the interaction between soil-cement-scale and/or cement/scale.

KEYWORDS: Civil Construction. Soil-cement brick. Steelworks waste. Use of Waste. Sustainable Materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formatos de tijolos ecológicos: meio tijolo com furo, tijolo inteiro com dois furos e canaleta com dois furos, da esquerda para a direita.	20
Figura 2 - Curva granulométrica na escala ABNT e antiga AASHTO.	23
Figura 3 - Evolução da degradação da carepa em aço.....	27
Figura 4 - Evolução da degradação da carepa.	28
Figura 5 - Carepa de laminação a quente, resíduo gerado pela empresa Gerdau de Pindamonhangaba (SP).	30
Figura 6 - Análise granulométrica do solo do município de Canas (SP) por peneiramento úmido.	31
Figura 7 - Determinação do limite de plasticidade do solo	32
Figura 8 - Equipamentos utilizados para o ensaio de limite de liquidez.	33
Figura 9 - Solo corrigido no equipamento de Casa Grande.	34
Figura 10 - Picnômetro com carepa, com carepa e água e apenas com água, respectivamente.	36
Figura 11 - Triturador à esquerda e prensa manual à direita, utilizados na confecção dos tijolos.	37
Figura 12 - Tijolos de solo-cimento com substituição de cimento Portland por 15% de carepa de laminação.....	38
Figura 13 - Tijolos contendo 15%; 25% e 0% de carepa (da esquerda para a direita), cortados ao meio e sobrepostos com pasta de cimento.	39
Figura 14 - Corpos de prova imersos em água pré-ensaio de resistência à compressão.	39
Figura 15 - Corpo de prova (CP25-2) contendo 25% de carepa de laminação, rompido.....	40
Figura 16 - Tijolos contendo diferentes proporções de carepa de laminação imersos em água por 24 horas.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável impactados pela construção civil brasileira.	18
Tabela 2 - Dimensões nominais de tijolos de solo-cimento.	20
Tabela 3 - Fração granulométrica do solo segundo o diâmetro de suas partículas.	23
Tabela 4 - Requisitos do solo para composição de tijolos ecológicos.	24
Tabela 5 - Resultados obtidos com tijolos ecológicos contendo diferentes resíduos.....	26
Tabela 6 - Resultados obtidos com a utilização de carepa como componente de materiais de construção civil.....	29
Tabela 7 - Composição da carepa de laminação, obtida pelo ensaio de extrato solubilizado. .	35
Tabela 8 - Resultados obtidos do ensaio de porcentagem de areia do solo puro e corrigido e dos demais ensaios para o solo corrigido.	42
Tabela 9 - Massa seca e saturada dos três corpos de prova (CP) e valores médios e individuais de absorção de água (A) em cada proporção de carepa de laminação.	43
Tabela 10 - Dimensão dos corpos de prova (CP) nas diferentes proporções de carepa de laminação (%) utilizadas na confecção dos tijolos solo-cimento.	44
Tabela 11 - Valores individuais e médios de resistência à compressão simples dos sete corpos de prova (CP) em cada proporção de carepa de laminação (%).	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
BTC	Bloco de terra comprimida
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma Mercosul
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
VMP	Valor máximo permitido

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	15
2.1.	OBJETIVO GERAL	15
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1.	CONSTRUÇÃO CIVIL X DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	16
3.2.	TIJOLOS ECOLÓGICOS	18
3.2.1.	A importância dos tijolos para a construção civil	18
3.2.2.	Os tijolos ecológicos e seus componentes	19
3.2.3.	Vantagens e limitações dos tijolos ecológicos	25
3.3.	CAREPA DE LAMINAÇÃO	27
4.	MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO UTILIZADO	30
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DA CAREPA DE LAMINAÇÃO	34
4.3.	CONFECÇÃO DOS TIJOLOS E ENSAIOS REALIZADOS	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1.	ENSAIO DO SOLO	42
5.2.	ENSAIO DE ABSORÇÃO D'ÁGUA	43
5.3.	ANÁLISE DIMENSIONAL DOS CORPOS DE PROVA	44
5.4.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	44
6.	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	48
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	53

1. INTRODUÇÃO

A preocupação ambiental é uma das principais motivações para o aumento da busca por métodos e materiais que resultem em menor impacto ao meio ambiente, redução de custos, maior reaproveitamento de resíduos e eficiência aos sistemas construtivos, uma vez que o setor da construção civil se destaca pelo elevado consumo de recursos naturais, geração de resíduos e poluição. Atrelado a isso, temos o notável crescimento das cidades e da população urbana, que desde a década de 1970 vem se desenvolvendo em um modelo não sustentável, o que foi apontado por Meadows (1972):

Os recursos interligados da Terra – o sistema global da natureza em que todos vivemos – provavelmente não podem suportar as taxas atuais de crescimento econômico e populacional muito além do ano 2100, mesmo que por tanto tempo, mesmo com tecnologia avançada (MEADOWS *et al.*, 1972).

Esse crescimento populacional e de urbanização, justifica o uso crescente e desenfreado de recursos naturais, e esse desequilíbrio tem desencadeado mudanças climáticas, crises hídricas e energéticas, além do risco de esgotamento destes recursos. A partir desses acontecimentos, torna-se indiscutível o fato de necessitarmos de mudanças no modelo de desenvolvimento, que consiste na busca por alternativas que impactem menos o meio ambiente.

Dentre essas alternativas, no que tange a construção civil, podem ser destacados os tijolos de solo-cimento, confeccionados a partir de solo estabilizado pela adição de cimento, como um método construtivo mais barato e sustentável que o tradicional, uma vez que utiliza solo, uma matéria-prima abundante, consome menos água e não necessita do processo de queima para adquirir resistência mecânica.

O processo de confecção do tijolo de solo-cimento, também conhecido como tijolo ecológico, se baseia em uma mistura de solo, cimento e água, prensada e curada em ambiente com controle de umidade, atingindo a resistência necessária a partir dessa compactação somada às reações de hidratação do cimento. O uso do solo traz conforto termoacústico para as construções, enquanto o cimento traz durabilidade, segundo Pereira e Pezzuto (2010).

Vários estudos já foram desenvolvidos com tijolos ecológicos visando avaliar o potencial de aplicação de diferentes resíduos em sua composição, visando retirá-los do meio ambiente e utilizá-los como componente do tijolo, ou até mesmo, visando a melhoria de algumas de suas propriedades físicas e mecânicas.

Nogueira *et al.* (2021) avaliaram tijolos ecológicos de encaixe utilizando resíduos de vidro e isopor triturados provenientes de lixo industrial e caseiro e verificaram que os tijolos mostraram alta resistência e semelhança com os produtos já aceitos para compra e venda, assim como boa absorção e evaporação de água.

Mendes, Zanotti e Menezes (2014) incorporaram o resíduo gerado no processo de lixamento do grés de porcelanato na indústria cerâmica como material alternativo à areia na mistura utilizada para a produção de tijolo solo-cimento. Os autores verificaram que o tijolo atendeu aos requisitos da norma quanto à resistência à compressão e absorção máxima de água e no ensaio de solubilização, o pH foi o único parâmetro que não atendeu à norma.

Neste trabalho de graduação foi avaliado o potencial de uso da carepa de laminação, resíduo originado da oxidação da superfície do aço. Conforme o Relatório Anual da Gerdau de 2020, neste foram gerados cerca de 7,3 milhões de toneladas de resíduos durante a produção do aço, sendo estimada a geração de 10 a 20 kg de carepa por tonelada de aço, fomentando a necessidade de estudos que viabilizem a reinserção deste resíduo na cadeia produtiva.

A carepa é composta, em sua maior parte, por ferro, que pode ser reciclado, entretanto, pode apresentar porcentagens variáveis de contaminantes como óleos, que quando presente em quantidades elevadas, faz com que o resíduo seja enquadrado na classe I pela NBR 10004, ou seja, resíduo perigoso, e que deve ser destinado a aterros de resíduos perigosos (ABNT, 2004).

No entanto, para encontrar uma forma mais sustentável e ambientalmente segura de destinação deste resíduo, este estudo avaliou o potencial de aplicação da carepa de laminação na composição de tijolos ecológicos, em substituição parcial do Cimento Portland e em proporção que atenda os padrões de qualidade estabelecidos pelas normas brasileiras para tijolos solo-cimento.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi analisar o potencial de aproveitamento da carepa de laminação, resíduo da indústria siderúrgica, em substituição parcial do cimento Portland na produção de tijolos ecológicos, como alternativa sustentável para minimizar os impactos ambientais causados pela destinação inadequada deste resíduo e pelo uso de cimento, cuja produção gera grandes quantidades de CO₂.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fundamentar teórica, técnica e cientificamente o trabalho de graduação por meio de revisão bibliográfica;
- Caracterizar o solo, o cimento e a carepa de laminação para definir as proporções destes componentes na confecção dos tijolos ecológicos, aplicando os procedimentos estabelecidos pelas normas brasileiras;
- Analisar o potencial de uso do solo de Canas (SP) fornecido para a confecção de tijolos de solo-cimento segundo a norma NBR 10833.
- Analisar o potencial de uso da carepa de laminação como substituto parcial do cimento Portland na confecção de tijolos ecológicos de dois furos, por meio de ensaios de resistência à compressão e absorção d'água, em atendimento às normas NBR 8492 e NBR 8491.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CONSTRUÇÃO CIVIL X DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Nas sociedades primitivas, os impactos ecológicos não eram considerados, pois a produção de resíduos era pequena e a assimilação ambiental era grande, e segundo Brasileiro e Matos (2015), foi somente após o desenvolvimento tecnológico da revolução industrial no mundo que essa preocupação veio à tona, e a partir daí, começaram a surgir as primeiras preocupações e questionamentos relativos às questões ambientais, como o aumento do consumo de energia, a poluição, o consumo desenfreado e não consciente de matérias-primas não renováveis, a enorme geração de resíduos, etc.

Neste cenário, surgiu o termo 'desenvolvimento sustentável', que possui como definição mais aceita: “o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações”, como define o relatório Our Common Future (“Nosso Futuro Comum”), da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pela Organização das Nações Unidas – ONU.

A indústria da construção civil é a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente, sendo, porém, reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento social-econômico. Grandes quantidades de energia e recursos naturais são consumidos em todas as etapas, tanto na construção quanto durante o seu uso e ocupação (PEREIRA, G., 2012)

De acordo com dados disponibilizados pela ABRELPE (2021), em 2020 foram coletados cerca de 47 milhões de toneladas de Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD), um aumento de 5,5% em relação ao ano anterior, sendo a região Sudeste a de maior participação nesse número. Dado que a cada ano a geração de resíduos cresce e junto dela a competitividade do mercado, adotar medidas sustentáveis são relevantes não somente para questões ambientais, mas também para conseguir reduzir custos, desperdício de material e mão de obra, promovendo o reuso de materiais, além do uso inteligente dos mesmos.

A gestão eficaz de materiais de construção é a chave para o sucesso de um projeto de construção, uma vez que estes resíduos são um problema sério nessa indústria. Observa-se que os RCD são menos homogêneos, menos padronizados e mais numerosos do que aqueles de fabricação, então se não gerenciados de forma correta, geram problemas financeiros,

ambientais e de organização do canteiro. Contudo, de acordo com Brasileiro e Matos (2015), ainda não há áreas suficientes para o recebimento dos RCD, além da gestão de resíduos exigir alto custo inicial de implantação de usinas de reciclagem. Este fato corrobora com a falta de implementação de ações sustentáveis por parte das empresas de construção civil, as quais segundo Ferreira (2018), que realizou uma pesquisa com 8 especialistas dessa área, mostrou que a maioria concorda que as empresas buscam sim ser mais sustentáveis, porém em escala insuficiente, apenas quando não acarreta aumento de custos, quando há pressão do mercado ou governamental, ou então por questões da imagem da empresa.

Como um apelo global, a ONU estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, que compõem a Agenda 2030, uma lista de 17 objetivos que devem ser atingidos até 2030, segundo o documento elaborado em 2015, PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento):

1. Erradicação da pobreza;
2. Fome zero e agricultura sustentável;
3. Saúde e bem-estar;
4. Educação de qualidade;
5. Igualdade de gênero;
6. Água potável e saneamento;
7. Energia limpa e acessível;
8. Trabalho decente e crescimento econômico;
9. Indústria, inovação e infraestrutura;
10. Redução das desigualdades;
11. Cidades e comunidades sustentáveis;
12. Consumo e produção responsáveis;
13. Ação contra a mudança global do clima;
14. Vida na água;
15. Vida terrestre;
16. Paz, justiça e instituições eficazes;
17. Parcerias e meios de implementação.

Segundo Ferreira (2018), ao todo, 13 dos 17 ODS são impactados pelo setor da construção civil, analisando cimenteiras, construtoras e fábricas, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável impactados pela construção civil brasileira.

Impactados Positivamente	Impactados Negativamente
ODS 3 - Saúde e Bem-Estar	ODS 5 - Igualdade de gênero
ODS 4 - Educação de Qualidade	ODS 6 - Água potável e saneamento
ODS 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico	ODS 7 - Energia limpa e acessível
ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura	ODS 10 - Redução das desigualdades
	ODS 11- Cidades e comunidades sustentáveis
	ODS 12 - Consumo e produção responsáveis;
	ODS 13 - Ação contra a mudança global do clima
	ODS 15 - Vida terrestre
	ODS 16 - Paz, justiça e instituições eficazes.

Fonte: Ferreira (2018).

Ferreira (2018) verificou, entre outras questões, que as empresas não vêm considerando a mudança climática com a devida importância, uma vez que ela está diretamente ligada à poluição e uso desenfreado de recursos, os maiores problemas do setor da construção civil. Somado a isso, segundo as Nações Unidas no Brasil, apenas 1,1% do total de recursos disponíveis para o financiamento dos ODS é investido no objetivo 13, o que demonstra que ainda se tem um longo caminho a percorrer em se tratando de desenvolvimento sustentável.

3.2. TIJOLOS ECOLÓGICOS

3.2.1. A importância dos tijolos para a construção civil

O tijolo tradicional é um dos elementos de construção mais antigos, utilizado pelo homem. Acredita-se que sua utilização é datada de cerca de 4000 a.C. para os mais diversos tipos de habitações. A alvenaria, como é intitulado o conceito de construção vertical de paredes que separam ambientes, de tijolos cerâmicos é o método de produção mais antigo e mais utilizado. (BARBOSA *et al.*, 2011).

Os tijolos são constituídos de argila, podendo receber aditivos ou não em sua composição, apresentam a cor avermelhada e seu processo de fabricação consiste basicamente na moldagem, secagem, queima e estocagem para uso futuro (BARBOSA *et al.*, 2011).

Por ser economicamente viável, ser facilmente encontrado em casas de materiais

de construção, e apresentar grande praticidade e rapidez em sua construção, os tijolos cerâmicos maciços são amplamente utilizados na construção civil. Apesar de seus pontos positivos, seu processo de fabricação, especialmente o transporte e a queima, representa uma grande ameaça para o meio ambiente e ao ser humano, pois emitem gases que podem provocar o efeito estufa e problemas respiratórios, respectivamente.

Conforme o estudo realizado por Liensenfeld *et al.* (2017), para a produção de 21000 tijolos por dia em uma olaria em Caçapava do Sul - RS, no seu processo de queima, cerca de 10,17kg de CO_2 são emitidos para a atmosfera.

Em razão disso e de outros motivos, como a possibilidade da incorporação de diversos tipos de resíduos em sua composição, por dispensar a queima em fornos, e possibilitar a utilização de prensa manual para sua moldagem, dispensando o uso de energia elétrica, óleo diesel ou gás, o tijolo ecológico tornou-se uma alternativa viável e sustentável para a construção civil.

Com a possibilidade de incorporar diversos resíduos em sua composição, o tijolo ecológico tornou-se um grande aliado na solução de problemas ambientais, pois, ao ser retirado do meio ambiente e ser reaplicado no ciclo econômico, os resíduos não mais precisarão ser amontoados em aterros sanitários ou descartados de forma incorreta.

Ciceri (2016) realizou uma análise comparativa entre a utilização de tijolo cerâmico maciço, tijolo de solo-cimento e bloco de cerâmica como método construtivo de uma edificação popular em Estrela – RS. O estudo indicou aumento do custo de 5,37%, utilizando tijolos cerâmicos maciços, e uma redução de 3,95% utilizando tijolos de solo-cimento, em comparação à alvenaria de blocos cerâmicos. Além disso, em relação ao tempo de execução, houve um aumento de 6,38% com a utilização de tijolos cerâmicos maciços e uma redução de 27,66% quando foram utilizados tijolos de solo-cimento, em relação aos blocos cerâmicos.

3.2.2. Os tijolos ecológicos e seus componentes

Segundo a NBR 11798/2012, o solo-cimento é resultado da mistura de solo, cimento, areia e água, e graças à abundância do material principal, o solo, viu-se aí uma oportunidade para o setor da construção civil de diminuir impactos ambientais e possibilidade de redução de custos a partir da criação do tijolo de solo-cimento. O tijolo de solo-cimento pode ser denominado modular, por ser confeccionado em formato e medidas regulares na prensa, possibilitando o encaixe entre eles. Além disso, pode ser encontrado com o nome de tijolo ecológico, por não necessitar de queima, reduzindo o consumo de madeira e de combustíveis

fósseis, e a emissão de poluentes atmosféricos; além de permitir a inclusão de diversos resíduos em sua composição, como o lodo de Estação de Tratamento de água.

Para a fabricação dos tijolos são necessários equipamentos como prensa e destorroadores, tendo possibilidade de a prensa ser manual, hidráulica ou automática. A partir daí, são definidos os tipos de tijolos, que podem ser encontrados no mercado brasileiro nos seguintes formatos: maciço comum, maciço com encaixe, $\frac{1}{2}$ tijolo com encaixe, tijolo com 2 furos e encaixe, $\frac{1}{2}$ tijolo com furo e encaixe e canaleta, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Formatos de tijolos ecológicos: meio tijolo com furo, tijolo inteiro com dois furos e canaleta com dois furos, da esquerda para a direita.



Fonte: Autoras.

A função do tijolo é determinada pelo seu formato, portanto, os tijolos inteiros fazem o preenchimento da alvenaria em geral, os meios-tijolos realizam a amarração da alvenaria, colocados no encontro de paredes e laterais de portas e janelas, enquanto os tijolos no formato de canaleta são utilizados para vergas, contravergas, final de parede e cintas de amarração.

Segundo a NBR 8491/2012, as dimensões nominais devem seguir as constantes apresentadas na Tabela 2, podendo apresentar variações desde que permaneça com altura (H) maior que sua largura (L).

Tabela 2 - Dimensões nominais de tijolos ecológicos.

Tipo	A	B
Comprimento [mm]	200	240
Largura [mm]	100	120
Altura [mm]	50	70

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012).

A proporção dos elementos que compõem o traço dos tijolos varia seguindo os objetivos da sua utilização e o processo de prensagem utilizado. O traço básico, segundo o Boletim Técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2000), para os tijolos que atendam aos requisitos padrões é de 1:10, mas no caso de grandes produções diárias preparam-se três traços para realizar os testes de compressão e absorção de água.

Conforme a Norma Geral de Dosagem do Solo-cimento, fornecida pela ABCP (2004), a dosagem do cimento se faz experimentalmente, realizando ensaios com diferentes quantidades de cimento, conforme mencionado acima, e analisando os resultados, a fim de identificar qual é o menor teor que estabiliza o solo seguindo os requisitos pré-estabelecidos. A possibilidade de utilização de resíduos na composição da mistura para a confecção dos tijolos, também implicará na alteração do traço dos tijolos.

Definida a proporção, é necessário saber sobre a mistura em si e como ela é preparada. A princípio, o solo selecionado deve apresentar textura arenosa, contendo cerca de 50% a 90% de areia, segundo a NBR 10833 (2012), que define que a porcentagem de material retido na peneira 0,075mm deve estar dentro deste intervalo, o qual se refere à granulometria da areia.

Caso não apresente essa textura, deverá ser corrigido por meio da adição de areia, e para garantir a coesão da mistura é necessário que o solo apresente pequena porcentagem de argila. Em seguida, o solo deve passar por peneiramento e tritramento, para a separação dos torrões e adição de cimento e água. Posteriormente é realizado o amassamento da mistura para posterior moldagem, cura e estocagem.

As principais normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas utilizadas para a confecção do tijolo de solo-cimento são:

- NBR 8491/2012: Tijolo de solo-cimento - Requisitos.
- NBR 8492/2012: Tijolo de solo-cimento: análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água: método de ensaio.
- NBR 10833/2012: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento.

A seguir são descritos com mais detalhes os componentes dos tijolos ecológicos.

3.2.2.1. Solo

Desde os primórdios o Homem vem utilizando o solo para diversas atividades, devido a sua grande disponibilidade e ampla variedade, desde o plantio e colheita em sociedades

agrícolas, até como sustento e material para suas edificações. Entretanto, para tais utilizações, o conhecimento de suas características sempre foi essencial, a fim de possibilitar o usufruto da melhor forma, aplicando em diversas áreas.

A definição de solo varia para cada área de estudo, porém, segundo a EMBRAPA (2018):

O solo que classificamos é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas. (EMBRAPA, 2018).

Segundo Correia (2006), um dos resquícios mais antigos de uso de terra crua em construções é datado de cerca de 7000 a.C., presente em uma aldeia em ruínas construída em adobe localizada em Mehrgarh, Paquistão. Outra técnica construtiva, como a taipa, também foi amplamente utilizada nos tempos antigos, e tem-se como exemplo a cidade de Mureybet (2500 a.C.), Síria, que foi levantada em terra prensada.

Na atualidade o solo ainda é usado como matéria-prima para diversas construções, porém, com o avanço da modernidade, seu uso tornou-se marginalizado. Correia (2006) cita a ilha de Mayotte, no Oceano Índico, como um exemplo do uso de Blocos de Terra Comprimida (BTC) em resposta à crise energética que ocorreu em meados dos anos 80, a qual afetou a construção civil na época.

Os mais diversos tipos de solo apresentam características intrínsecas e o conhecimento delas é de suma importância para caracterização física, química e mineralógica de suas classes. A textura do solo diz respeito às frações de areia, silte e argila de sua composição, para tal, sua classificação é feita conforme a sua granulometria, ou seja, segundo o diâmetro de suas partículas. Conforme a NBR 6502 (ABNT, 2022) o pedregulho é definido com diâmetro compreendido entre 60 mm e 2 mm, a areia entre 2 mm e 0,06 mm, o silte entre 0,06 mm e 0,002 mm e a argila as partículas são menores que 0,002 mm, cujas frações intermediárias são apresentadas na Tabela 3.

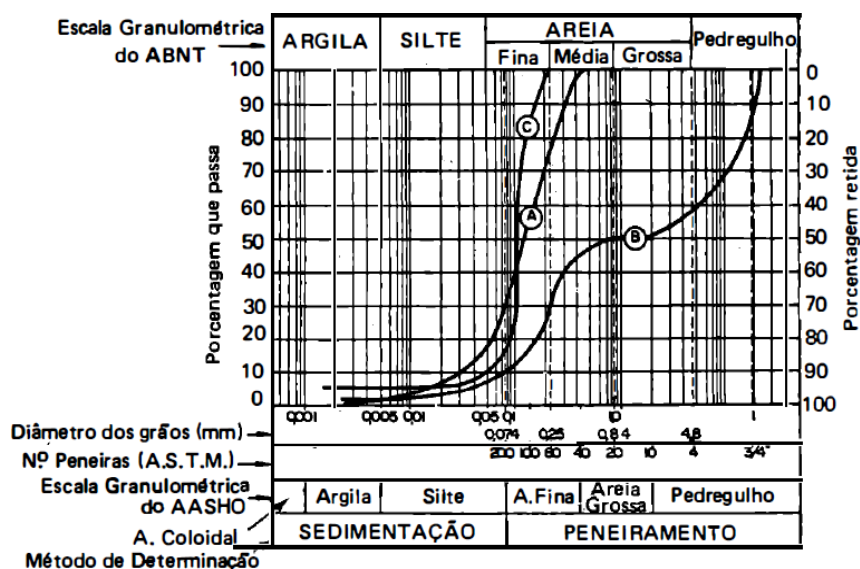
Tabela 3 - Fração granulométrica do solo segundo o diâmetro de suas partículas.

Fração Granulométrica	Diâmetro
Matação	200 a 1000 mm
Pedra de Mão	60 a 200 mm
Pedregulho	2,0 a 60 mm
Pedregulho grosso	20 a 60 mm
Pedregulho médio	6 a 20 mm
Pedregulho fino	2 a 6 mm
Areia	0,06 a 2,0 mm
Areia grossa	0,6 a 2,0 mm
Areia média	0,20 a 0,60 mm
Areia fina	0,06 a 0,20 mm
Silte	0,002 a 0,006 mm
Argila	< 0,002 mm

Fonte: NBR 6502 (ABNT, 2022).

A análise das proporções das partículas e seus diâmetros é feita conforme a curva granulométrica (Figura 2), esta representa curvas nas quais, dependendo de suas curvaturas e inclinações, é possível determinar a textura do solo e suas características granulométricas.

Figura 2 - Curva granulométrica na escala ABNT e antiga AASHTO.



Fonte: CAPUTO (1988).

Segundo o formato da curva é possível determinar os diferentes tipos de granulometria do solo analisado.

A fase sólida do solo é constituída por minerais e matéria orgânica; sua porção

mineral é de grande importância, pois é estudando ela que é possível compreender as características do solo e de qual maneira ele pode ser mais bem utilizado, seja como base para construções, seja para agricultura. A mineralogia do solo implica no conhecimento da resistência dos grãos que o compõem, na sua riqueza, nas suas cores, cheiros e aspecto.

Em se tratando de solo para utilização em tijolos ecológicos, de acordo com Fiais e Souza (2017), o solo mais adequado é o arenoso, pois geralmente requer menos quantidade de cimento na composição do tijolo, e não é recomendado o uso de solo argiloso e siltoso, pois os tijolos podem sofrer alguns danos como trincas, fissuras e rachaduras após seco, diminuindo sua resistência. Além disso, a presença de matéria orgânica também não é indicada, pois pode prejudicar o processo de hidratação do cimento e alterar as reações químicas presentes na cura do tijolo (DE OLIVEIRA, 2020).

A NBR 10833/2012 determina que o solo utilizado na composição dos tijolos de solo-cimento deve atender os requisitos apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Requisitos do solo para composição de tijolos ecológicos.

Material passante na peneira de malha 4,75mm	100%
Material passante na peneira de malha 0,075mm	10 a 50%
Limite de Liquidez	$\leq 45\%$
Índice de Plasticidade	$\leq 18\%$

Fonte: NBR 10833 (ABNT, 2012).

3.2.2.2. Cimento Portland

O cimento é um dos materiais mais consumidos na indústria da construção e, segundo Cirilo (2019), a emissão de gases do efeito estufa pela indústria cimenteira responde, em escala global, por cerca de 7% de todo o CO_2 emitido no planeta, com tendência a aumentar a demanda desse material, seguindo o crescente padrão de urbanização. Diante disso, se torna necessária cada vez mais a implementação de ações de sustentabilidade, em vista de impedir que a poluição acompanhe tal crescimento.

No Brasil, essa porcentagem é menor, por apresentar ações de sustentabilidade implementadas ao longo dos últimos anos. Entretanto, apesar desses dados de diminuição no consumo de cimento no Brasil, segundo a ABCP no geral, segue com mais de 60 milhões de toneladas por ano, tendo como base o acúmulo anual de 2021 apresentado pelo SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento).

Como definição, ainda conforme a ABCP (2016), o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água, e graças a essas propriedades, confere trabalhabilidade e durabilidade como componente do tijolo ecológico.

A produção do cimento consiste na mistura e aquecimento de calcário, sílica e óxido de alumínio, formando várias substâncias, principalmente o silicato de cálcio ($CaSiO_3$), e o aluminato de cálcio de fórmula $Ca(AlO_2)_2$.

Durante a fabricação do tijolo ecológico, o cimento é misturado ao solo, e ao sofrer o processo de hidratação (reação química quando em contato com a água), envolve os grãos de solo formando agregados que aumentam de tamanho conforme a continuidade do processo e consequente cristalização. A hidratação, em específico dos silicatos de cálcio, vai acarretar resistência mecânica na pasta, uma vez que esses influenciam na maioria das propriedades físico-mecânicas do cimento endurecido.

Os cimentos a serem utilizados para a confecção dos tijolos ecológicos deverão atender às especificações contidas na NBR 16697 – Cimento Portland – Requisitos.

A presença de impurezas na mistura, nocivas ao cimento, pode prejudicar a sua hidratação e, consequentemente, as propriedades do tijolo. Por esse motivo, a água e o solo devem ser analisados e estar isentos desse tipo de material, tal qual indicam a NBR 15900-1 e a NBR NM 49, respectivamente.

3.2.3. Vantagens e limitações dos tijolos ecológicos

Em se tratando de tijolos ecológicos, é possível listar diversas vantagens, que incluem questões ambientais e socioeconômicas. Iniciando com a segunda temática, o tijolo ecológico é considerado uma alternativa para atender a demanda habitacional, principalmente de famílias de baixa renda, podendo melhorar a qualidade da moradia com redução significativa de custos, uma vez que facilita a linha de produção, por possuir encaixes próprios, agilizando o processo. Também é preciso destacar seu bom acabamento e formato modular, que permitem a redução da quantidade de concreto e argamassa para assentamento e reboco, e não utilização de madeira para formas (MOTTA *et al.*, 2014).

Todas essas características contribuem para diminuir a geração de resíduos, além de contribuírem para um canteiro limpo e organizado, com redução de perda e desperdício, tanto de material quanto de mão de obra e tempo.

Segundo Pisani (2005), os furos nos tijolos têm o objetivo de permitir o encaixe uns sobre os outros, facilitando o assentamento, diminui o peso da alvenaria, e aumenta o isolamento termoacústico, pois os furos formam câmaras de ar no interior da parede, além de combaterem a umidade. Além disso, conforme citado em tópicos anteriores, é possível a inserção de resíduos em sua composição, o que se enquadra como uma das suas várias vantagens, uma vez que adiamos o descarte final desses resíduos em locais possivelmente inadequados que trariam futuros impactos ao meio ambiente. Na tabela 5 são apresentados três resultados obtidos em estudos desenvolvidos com tijolos ecológicos utilizando diferentes tipos de resíduos.

Tabela 5 - Resultados obtidos com tijolos ecológicos contendo diferentes resíduos.

Referência	Resíduo incorporado	Resultados obtidos
Mendes; Zanotti; Menezes (2014)	Resíduo do polimento de grés de porcelanato como fonte de sílica	O tijolo ecológico com adição do resíduo de porcelanato atendeu as normas ABNT de resistência à compressão e absorção de água, apresentando valores elevados de resistência, em torno de 6 MPa.
Barros (2016)	Cinza de casca de arroz e cal em substituição do cimento	A composição com 8,75% de cinza + cal se mostrou a mais adequada, substituindo 75% de cimento em comparação com a composição de referência (11% de cimento na mistura). Porém, todos os CPs atingiram níveis satisfatórios de resistência mecânica e absorção de água, sem substituição total do cimento.
Marques <i>et al.</i> (2022)	Plástico reciclável PET	A adição do plástico para a fabricação de tijolos ecológicos é uma alternativa viável, visto que atende aos requisitos da norma e se trata de uma prática sustentável para o reaproveitamento desse resíduo.

Fonte: Autoras.

Apesar das muitas vantagens, o tijolo ecológico também possui algumas limitações, como, por exemplo, o tamanho dos projetos, que segundo Campos, Weber e Borga (2017) devem ter paredes de 4 a 5 m de altura. Além disso, seu custo inicial também pode desagradar no primeiro momento, uma vez que a quantidade de tijolos ecológicos por m² é maior do que a dos cerâmicos. Outra limitação, de acordo com Motta *et al.* (2014), é a possibilidade de erro de dosagem, que acarreta surgimento de patologias na construção.

Estas limitações podem gerar desinteresse por esse material como componente de

alvenaria, o que somado à falta de incentivo aumenta o desconhecimento deste tipo de tijolo pela população. Entretanto, essas limitações possuem soluções plausíveis, uma vez que, por exemplo, apesar do custo inicial elevado, quando analisada a obra como um todo, a otimização e redução de desperdícios pode ser mais vantajosa.

Além disso, o erro de dosagem é passível de qualquer produto que não tenha controle de qualidade, e uma vez resolvido isso enquadrando-o nos requisitos das normas, temos mais uma limitação solucionada.

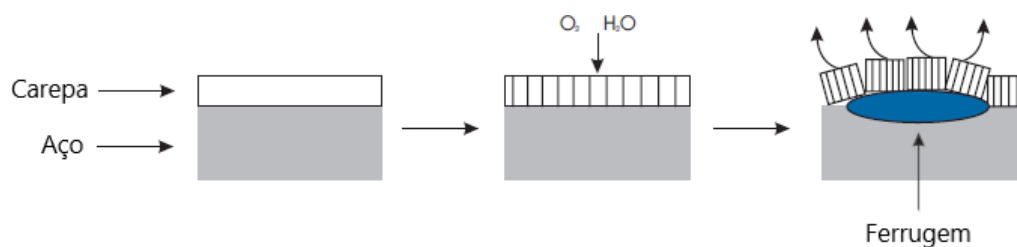
3.3. CAREPA DE LAMINAÇÃO

De acordo com Cunha *et al.* (2006) a carepa de laminação é um coproduto proveniente da oxidação da superfície do aço quando submetido a altas temperaturas, quando exposto a um meio corrosivo ou simplesmente quando exposto à ação do tempo.

Em usinas siderúrgicas a carepa é originária do processo de lingotamento contínuo e laminação do aço. Ela é uma película cinza-azulada, muito dura, composta por três camadas de óxidos sobrepostas que, segundo Pannoni (2002), correspondem a wustita (FeO), magnetita (Fe_3O_4) e hematita (Fe_2O_3).

A espessura da carepa varia de 10 μm a 1000 μm e seu processo de expulsão no aço é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Evolução da degradação da carepa em aço.

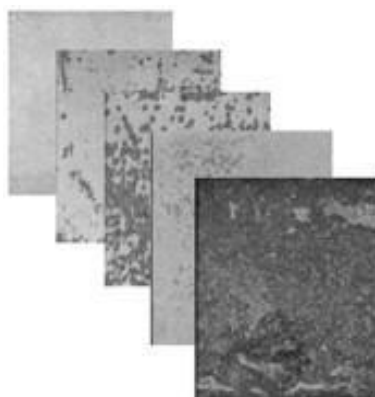


Fonte: Adaptada de Pannoni (2002).

Ainda conforme Pannoni (2002), após formada pelo processo de laminação do aço, a carepa, por possuir um coeficiente de dilatação diferente do aço, apresenta trincas em sua estrutura devido ao processo de aquecimento e resfriamento contínuo. Essas trincas permitem

a penetração de água e oxigênio entrando em contato com o aço e iniciam o processo de oxidação e redução do oxigênio, criando a ferrugem. Depois de algum tempo de ataque a ferrugem progride por baixo da carepa e conforme seu aumento ela é expulsa da superfície do aço, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Evolução da degradação da carepa.



Fonte: Adaptada de Pannoni (2002).

Por apresentar óleos em sua composição, a carepa é considerada um resíduo de classe I - perigoso, consoante a NBR 10004 (ABNT, 2004) e segundo Oliveira (2004) *apud* Pereira *et al.* (2011), em usinas integradas, a produção de 1 tonelada de aço gera cerca de 10kg de carepa.

A Gerdau, maior empresa brasileira produtora de aço, produziu em 2021 cerca de 13,3 milhões de toneladas de aço bruto, ou seja, aproximadamente 133 mil toneladas de carepa foram produzidas (GERDAU, 2021). Em ciência dessa enorme produção de resíduo, a empresa se preocupa com a sustentabilidade e se baseia nos princípios da economia circular, fazendo o reaproveitamento desse e de outros resíduos no ciclo produtivo do aço, além de vendê-los para clientes e parceiros que também os utilizam para outros fins em prol da preservação e conservação do meio ambiente. Alguns exemplos de estudos feitos para o aproveitamento e reinserção da carepa de laminação no ciclo econômico são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados obtidos com a utilização de carepa como componente de materiais de construção civil.

Referência	Material analisado	Resultados Obtidos
Pereira; Cossa; Pereira (2008)	Carepa de laminação na produção de concreto	Relativamente ao concreto de referência, o emprego da carepa de aço, para uma relação água/cimento de 0,55 e 0,65, aumentou a demanda de água para trabalhabilidade, reduziu a resistência à compressão em média de 20% e 23%, respectivamente e aumentou a absorção de água em torno de 44% e 57%, respectivamente.
Almeida (2009)	Carepa de laminação na fabricação de blocos de concreto	Os blocos de concreto com carepa de aço apresentaram melhor desempenho quanto à resistência à compressão de 6,10 MPa, em todas as idades ensaiadas (7, 14 e 28 dias) com relação aos blocos convencionais, e a absorção de água diminuiu de 5,18%, em blocos convencionais, para 4,98% em bloco com o resíduo.
Sousa <i>et al.</i> (2017)	Carepa de laminação em massas de cerâmica vermelha	A adição da carepa em massa de cerâmica vermelha apresentou uma diminuição relativa da absorção de água: amostra com 0% de carepa apresentou uma absorção de água de 17,66% e a amostra com 10% de carepa manifestou 14,32%. Já com relação à resistência da massa os resultados obtidos foram: amostra com 0% de carepa - resistência de 10,77 MPa; amostra com 5% de carepa - 7,63 MPa; amostra com 10% de carepa - 8,55 MPa.

Fonte: Autoras.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os tijolos foram confeccionados com a utilização de máquinas cedidas pela empresa Verde Equipamentos, em seu laboratório localizado no Distrito de Moreira César, em Pindamonhangaba (SP), com solo do município de Canas – SP.

A carepa de laminação foi fornecida pela empresa Gerdau, com sede em Pindamonhangaba (SP) e seu aspecto físico pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Carepa de laminação a quente, resíduo gerado pela empresa Gerdau de Pindamonhangaba (SP).



Fonte: Autoras.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO UTILIZADO

O solo utilizado foi fornecido por um cliente da empresa Verde, obtido no município de Canas (SP), e foi caracterizado fisicamente, por meio de análise granulométrica executada pelo ensaio de peneiramento por lavagem, seguindo a norma NBR 7181 (ABNT, 2017); a norma NBR 7180 (ABNT, 2017) para a determinação do limite de plasticidade [LP]; e a norma NBR 6459 (ABNT, 2017) para a determinação do limite de liquidez [LL].

Para a análise granulométrica do solo, a amostra seca foi pesada e submetida à lavagem sob água corrente na peneira #200 (0,075 mm) para a verificação da porcentagem retida, que corresponde à fração areia do solo, como ilustra a Figura 6. Após a lavagem do solo, o material retido foi reservado e levado para a estufa por 24 horas, sendo pesado posteriormente.

Figura 6 - Análise granulométrica do solo do município de Canas (SP) por peneiramento úmido.



Fonte: Autoras.

Após a análise granulométrica, o solo foi corrigido com adição de areia, visando atingir 70% de areia. Para a correção do solo foi utilizada a metodologia de Neves e Faria (2011) baseada na fórmula:

$$P = \frac{T_{co} - T_i}{T_i - T_t}$$

Onde,

P: índice de correção;

T_{co} : percentual de areia no solo proveniente de Canas, SP;

T_t : percentual de areia utilizada para correção, equivalente a 97%;

T_i : percentual de areia da mistura ideal, equivalente a 70%.

Com a análise granulométrica e aplicando a fórmula de Neves e Faria (2011), foi obtido o índice de correção de 1,19 partes de areia para 1 parte de solo. Então, considerando o traço de 7:1 de solo: cimento em volume, a correção foi realizada da seguinte forma:

$$1x + 1,19x = 7$$

$$2,19x = 7$$

$$x = 3,19$$

$$\text{Solo: } 1x = 3,19 \rightarrow 3$$

$$\text{Areia: } 1,19x = 3,80 \rightarrow 4$$

Portanto, foi utilizada a proporção de 3 partes de solo para 4 partes de areia.

A análise granulométrica da mistura (solo + areia) foi realizada aplicando o mesmo procedimento utilizado para o solo natural, por meio de pesagem e posteriormente peneiramento via úmida, em peneira #200 (0,075 mm), sendo posteriormente seco em estufa por 24 h e pesado.

Para a determinação do limite de plasticidade, baseado na norma NBR 7180 (ABNT, 2016), foi primeiramente adicionada água destilada a uma pequena amostra de solo corrigido de forma gradativa e obteve-se uma pasta homogênea da amostra, sendo que a quantidade de água a ser adicionada, depende da experiência do laboratorista.

Após esse procedimento, foi moldada uma pequena bola do material com cerca de 10 g da amostra; ela foi rolada e pressionada sobre uma placa de vidro a fim de tomar o formato cilíndrico próximo ao do gabarito, com cerca de 3 mm de diâmetro. Devido ao elevado teor de areia na mistura, não foi possível moldar a amostra, como pode ser observado na figura 7.

Figura 7 - Determinação do limite de plasticidade do solo.



Fonte: Autoras.

A determinação do limite de liquidez foi realizada conforme a norma NBR 6459 (ABNT, 2016), utilizando uma pequena amostra de solo corrigido misturada com água destilada, incrementada gradualmente até formar uma massa homogênea. Essa mistura foi transferida para a concha do equipamento “Casa Grande” (Figura 8).

Figura 8 - Equipamentos utilizados para o ensaio de limite de liquidez.



Fonte: Autoras.

A massa foi dividida em duas partes com o auxílio do cinzel, para abrir uma ranhura no centro da amostra, como pode ser observado na Figura 9. Após a ranhura feita, a manivela do equipamento foi acionada liberando a concha em queda livre, golpeando a estrutura. A quantidade de golpes necessários para fechar a ranhura foi anotada e uma pequena quantidade do material foi separada e levada para a determinação da umidade.

O ensaio foi repetido mais cinco vezes para a determinação dos pontos de umidade, que distribuídos em um gráfico permitiram a determinação do teor de umidade, obtido com 25 golpes, correspondente ao limite de liquidez do solo.

Figura 9 - Solo corrigido no equipamento de Casa Grande.



Fonte: Autoras.

Para a determinação do Índice de Plasticidade (IP) do solo foi utilizada a equação:

$$IP = LL - LP$$

Onde,

LL: limite de liquidez;

LP: limite de plasticidade do solo;

IP: índice de plasticidade do solo expresso em porcentagem.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA CAREPA DE LAMINAÇÃO

O ensaio de extrato solubilizado, seguindo a metodologia estabelecida pela NBR 10006 (ABNT, 2004) foi realizado pelo laboratório da Empresa Gerdau para caracterizar a composição da carepa de laminação, cujos resultados foram confrontados com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004) e apresentados na Tabela 7. Como pode ser observado, este resíduo apresenta teores de alumínio e de fluoreto superiores aos VMP pela NBR 10004.

Tabela 7 - Composição da carepa de laminação, obtida pelo ensaio de extrato solubilizado.

Parâmetros	Limite Quantificável	Resultados Analíticos	Valor Máximo Permitido pela NBR 10004:2004
	----- mg L ⁻¹ -----		
Alumínio	0,01	2,61	0,2
Arsênio	0,01	< 0,01	0,01
Bário	0,01	0,156	0,7
Cádmio	0,001	< 0,001	0,005
Chumbo	0,01	< 0,01	0,01
Cianeto	0,05	< 0,05	0,07
Cloreto	0,5	1,60	250
Cobre	0,005	< 0,005	2,0
Cromo	0,01	< 0,01	0,05
Ferro	0,01	< 0,01	0,3
Fluoreto	0,05	1,82	1,5
Índice de Fenóis	0,01	< 0,01	0,01
Manganês	0,01	< 0,01	0,1
Merúrio	0,00008	< 0,00008	0,001
Nitrato (como N)	0,2	< 0,2	10,0
Prata	0,01	< 0,01	0,05
Selênio	0,008	< 0,008	0,01
Sódio	0,5	0,800	200
Sulfato	0,5	15,1	250
Surfactantes (como LAS)	0,2	< 0,2	0,5
Zinco	0,01	< 0,01	5,0

Fonte: Gerdau (2022).

Para a utilização da carepa de laminação na composição do tijolo foi necessário considerar sua densidade. Esta foi determinada por meio de um ensaio simples, seguindo a metodologia de Sampaio, França e Braga (2007) e aplicando a seguinte fórmula:

$$d_c = \frac{A_2 - A_1}{(A_4 + A_2) - (A_1 + A_3)}$$

Onde:

d_c : densidade da carepa;

A_1 : massa do picnômetro;

A_2 : massa do picnômetro + amostra de carepa;

A_3 : massa do picnômetro + amostra de carepa + água;

A_4 : massa do picnômetro + água.

As massas foram obtidas, conforme o procedimento apresentado na Figura 10, sendo pesado o picnômetro vazio, limpo e seco, que correspondeu à massa A_1 . Em seguida, a amostra de carepa foi adicionada ao picnômetro e juntos foram pesados, obtendo-se a massa A_2 . O picnômetro foi completado com água até transbordar e após sua superfície ser seca, foi pesado, obtendo-se a massa A_4 . Finalmente, a amostra de carepa foi adicionada ao picnômetro e seu volume foi completado com água para sua pesagem final, resultando na massa A_3 .

Figura 10 - Picnômetro com carepa, com carepa e água e apenas com água, respectivamente.



Fonte: Autoras.

4.3. CONFECÇÃO DOS TIJOLOS E ENSAIOS REALIZADOS

O traço 7:1 (solo: cimento) foi utilizado como base para a confecção dos tijolos e para a avaliação da substituição do cimento por carepa de laminação nas proporções da mistura solo:cimento:carepa, como segue:

1. Solo constante: 100% cimento: 0% carepa;
2. Solo constante: 85% cimento: 15% carepa;
3. Solo constante: 75% cimento: 25% carepa.

Para cada traço, o solo e a areia foram misturados com o auxílio de uma enxada até a obtenção de uma massa homogeneizada, em seguida o cimento e a carepa foram adicionados e, após obter um composto uniforme, a aspersão da água foi realizada até atingir a umidade necessária para a conformação dos tijolos.

Posteriormente, a mistura foi levada ao triturador e direcionada à prensa manual para conformação de tijolos de dois furos. Para cada traço foram produzidas 12 unidades. O triturador e a prensa manual utilizados neste processo podem ser observados na Figura 11 e os tijolos produzidos na Figura 12.

Figura 11 - Triturador à esquerda e prensa manual à direita, utilizados na confecção dos tijolos.



Fonte: Autoras.

Figura 12 - Tijolos de solo-cimento com substituição de cimento Portland por 15% de carepa de laminação.



Fonte: Autoras.

Os corpos de prova, após prensagem, passaram pelo processo de cura de 7 e 28 dias, umedecidos uma vez ao dia durante os primeiros sete dias. Após o tempo de cura ser concluído, os tijolos foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão e absorção de umidade, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012). Também foram avaliados quanto ao atendimento dos requisitos determinados pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012).

De acordo com a norma NBR 8492 (ABNT, 2012), foram selecionados aleatoriamente 10 tijolos de cada traço, que passaram pela análise dimensional da seguinte forma: para cada dimensão do corpo de prova, com o auxílio de um paquímetro, foram realizadas três medições em pontos distintos de cada face, para permitir uma determinação em cada extremidade e outra no meio do corpo de prova. As dimensões das faces de trabalho devem ser determinadas com exatidão de 1 mm.

Após a análise dimensional, 7 tijolos das 10 amostras foram submetidos ao ensaio de compressão simples da seguinte forma: cortou-se o tijolo ao meio em sua maior dimensão, as duas metades foram sobrepostas de forma invertida e entre elas foi adicionada uma pasta de cimento Portland CPIII pré-contraída de 2 a 3 mm de espessura, com repouso de aproximadamente 24 horas para seu endurecimento (Figura 13).

Figura 13 - Tijolos contendo 15%; 25% e 0% de carepa (da esquerda para a direita), cortados ao meio e sobrepostos com pasta de cimento.



Fonte: Autoras.

Após o capeamento da face superior dos tijolos, os corpos de prova foram identificados e imersos em água por 6 horas (Figura 14).

Figura 14 - Corpos de prova imersos em água pré-ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autoras

Em seguida, os tijolos foram retirados da água e sua superfície foi seca com um pano levemente umedecido, posicionado diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio de compressão de forma centralizada.

No ensaio de resistência à compressão foi aplicada uma carga uniforme de 500 N s^{-1} (50 kgf s^{-1}), aumentada de forma gradativa até obter a ruptura do corpo de prova, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Corpo de prova (CP25-2) contendo 25% de carepa de laminação, rompido.



Fonte: Autoras

Para o cálculo da resistência à compressão simples dos corpos de prova foi utilizada a fórmula a seguir:

$$f_t = \frac{F}{S}$$

Onde:

f_t : resistência à compressão simples (MPa);

F: carga de ruptura do corpo de prova (kgf);

S: área de aplicação da carga (cm^2).

Para o ensaio de absorção de água foram utilizados três corpos de prova de cada traço, que após a secagem em estufa, entre 105 °C e 110 °C, foi obtida a massa m_1 do corpo de prova seco em quilogramas (kg). Após os corpos de prova atingirem a temperatura ambiente, foram imersos em um tanque com água por um período de 24 horas, como apresenta a Figura 16.

Figura 16 - Tijolos contendo diferentes proporções de carepa de laminação imersos em água por 24 horas.



Fonte: Autoras.

Após serem retirados da água, os corpos de prova foram secos superficialmente com um pano levemente umedecido, obtendo-se a massa m_2 do corpo de prova saturado em quilogramas (kg).

Para o cálculo da absorção de água dos corpos de prova foi utilizada a seguinte fórmula:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Onde:

A: absorção de água (%);

m_1 : massa do corpo de prova seco em estufa (kg);

m_2 : massa do corpo de prova saturado (kg).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tijolos ecológicos contendo diferentes proporções de carepa de laminação foram analisados, principalmente, quanto aos requisitos estabelecidos nas normas NBR 8491 – Tijolo de solo-cimento - Requisitos (ABNT, 2012); NBR 8492 - Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio (ABNT, 2012) e NBR 10833 - Fabricação de tijolo de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento (ABNT, 2012) quanto a seus materiais, dimensões, aspectos, processo de fabricação, resistência à compressão e absorção de água, e os resultados obtidos foram comparados aos parâmetros estabelecidos nessas normas.

5.1. ENSAIO DO SOLO

Os resultados atingidos por meio do ensaio de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Resultados obtidos do ensaio de porcentagem de areia do solo puro e corrigido e dos demais ensaios para o solo corrigido.

Porcentagem de areia		Porcentagem Passante		LL	LP	IP
Solo puro	Solo corrigido	4,75mm	75µm			
38%	76%	100%	24%	22%	0	22%

Fonte: Autoras.

Esses dados demonstram a necessidade da correção do solo com a adição de areia, representando também, o êxito nesta correção, tanto por atender a granulometria, quanto o limite de liquidez definidos pela norma NBR 10833 (ABNT, 2012).

Apesar do êxito na correção granulométrica, o resultado do índice de plasticidade não se mostrou positivo no que tange ao requisito da norma, justificando a dificuldade de execução do ensaio com um solo contendo alta porcentagem de areia. Por não ser coeso o suficiente para a realização do ensaio de forma plena, aos se sucederem os golpes, partes do solo se desprenderam e caíram dentro da ranhura, dificultando a verificação de seu fechamento.

5.2. ENSAIO DE ABSORÇÃO D'ÁGUA

Os resultados obtidos a partir da pesagem dos corpos de prova secos em estufa (m_1) e dos corpos de prova saturados (m_2) imersos em água por 24 horas são apresentados na Tabela 9, bem como os valores médios e individuais de absorção de água (A) para cada proporção de carepa de laminação.

Tabela 9 - Massa seca e saturada dos três corpos de prova (CP) e valores médios e individuais de absorção de água (A) em cada proporção de carepa de laminação.

Corpo de Prova	0% de Carepa		15% de Carepa		25% de Carepa	
	m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_1 (kg)	m_2 (kg)
CP 1	2,990	3,440	3,160	3,600	3,005	3,495
CP 2	3,050	3,510	3,240	3,690	3,065	3,565
CP 3	2,975	3,440	3,050	3,475	2,935	3,440
A (%)						
CP 1	15,1		13,9		16,3	
CP 2	15,1		13,8		16,3	
CP 3	15,6		13,9		17,2	
Média (%)	15,2		13,9		16,6	

Fonte: Autoras.

Verificou-se que todos os tijolos, contendo as diferentes proporções de carepa de laminação, atenderam às especificações da norma NBR 8492 (ABNT, 2012) quanto à absorção de água, que estabelece que a amostra ensaiada não deve apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20% nem valores individuais superiores a 22%, com idade mínima de sete dias.

5.3. ANÁLISE DIMENSIONAL DOS CORPOS DE PROVA

Como pode ser observado na Tabela 10, as dimensões dos corpos de prova, corrigido da norma para centímetros, utilizados no estudo apresentaram baixíssima variação dimensional, com comprimento entre 25,35 e 25,5 cm, largura entre 12,9 e 13 cm e altura entre 7,4 a 7,5 cm.

Tabela 10 - Dimensão dos corpos de prova (CP) nas diferentes proporções de carepa de laminação (%) utilizadas na confecção dos tijolos ecológicos.

Amostra	0% de Carepa			15% de Carepa			25% de Carepa		
	C (cm)	L (cm)	H (cm)	C (cm)	L (cm)	H (cm)	C (cm)	L (cm)	H (cm)
CP 1	25,35	12,90	7,50	25,50	12,90	7,50	25,50	13,00	7,50
CP 2	25,50	13,00	7,45	25,45	13,00	7,40	25,45	12,95	7,40
CP 3	25,40	12,95	7,50	25,45	12,95	7,45	25,50	13,00	7,50
CP 4	25,35	13,00	7,50	25,50	12,90	7,40	25,50	13,00	7,40
CP 5	25,35	12,90	7,45	25,45	13,00	7,40	25,50	12,95	7,45
CP 6	25,40	13,00	7,45	25,50	12,95	7,50	25,45	13,00	7,50
CP 7	25,35	12,95	7,50	25,45	12,90	7,50	25,45	12,95	7,50
CP 8	25,35	12,95	7,45	25,50	13,00	7,45	25,50	12,95	7,45
CP 9	25,50	12,90	7,50	25,40	12,90	7,40	25,50	12,90	7,40
CP 10	25,50	13,00	7,50	25,45	13,00	7,50	25,45	13,00	7,50

*C = comprimento; L = largura e H = Altura

Fonte: Autoras.

5.4. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Os valores individuais e as médias de resistência à compressão simples dos corpos de prova são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores individuais e médios de resistência à compressão simples dos sete corpos de prova (CP) em cada proporção de carepa de laminação (%).

Amostr a	0% de Carepa			15% de Carepa			25% de Carepa		
	F (kgf)	S (cm ²)	ft (MPa)	F (kgf)	S (cm ²)	ft (MPa)	F (kgf)	S (cm ²)	ft (MPa)
CP 1	1930	159,012	1,214	1330	159,012	0,836	1600	159,012	1,006
CP 2	2270	159,012	1,428	1170	159,012	0,736	1920	159,012	1,207
CP 3	2960	159,012	1,861	2740	159,012	1,723	1820	159,012	1,145
CP 4	1540	159,012	0,968	2910	159,012	1,830	2070	159,012	1,302
CP 5	2100	159,012	1,321	2430	159,012	1,528	2030	159,012	1,277
CP 6	1860	159,012	1,170	1630	159,012	1,025	1620	159,012	1,019
CP 7	2010	159,012	1,264	1880	159,012	1,182	1590	159,012	1,000
Média			1,318			1,266			1,136

Fonte: Autoras.

De acordo com os resultados obtidos no ensaio de compressão simples, verificou-se que os tijolos ecológicos, inclusive os confeccionados sem adição de carepa de laminação, não atenderam aos requisitos mínimos determinados pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012), que estabelece que os corpos de prova não devem 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.

Esta análise indicou que o solo do município de Canas (SP), não apresentou as características desejáveis de limites de consistência para a confecção dos tijolos ecológicos, mesmo após a correção realizada por meio da adição de areia para que atingisse a proporção mínima de 70% desta fração. Isto comprova que nem sempre o solo utilizado é o ideal para a fabricação de tijolos ecológicos, mas que é possível corrigi-lo para obtenção de bons níveis de modelagem e economia de cimento.

Por outro lado, este estudo permitiu verificar que a adição de carepa de laminação em substituição ao cimento nas proporções de 15% e 25%, não teve influência significativa sobre o comportamento mecânico dos tijolos ecológicos, tendo em vista a baixa variação dos valores de resistência à compressão simples.

Outra questão a ser considerada é o fato de a carepa de laminação não ter sido triturada antes de ser misturada aos demais componentes dos tijolos ecológicos, o que não resultou em

uma mistura uniforme, sendo desejável em estudos posteriores, a trituração deste resíduo para a obtenção de uma mistura mais homogênea, visando entender o quanto esse aspecto interfere na coesão dessa mistura.

Além disso, para a confecção foi utilizada prensa manual, o que pode gerar variabilidade na força aplicada para a conformação dos tijolos, sendo recomendável o uso de prensa hidráulica ou automática, visando manter um padrão de prensagem.

Também é preciso destacar a necessidade de estudos futuros, considerando as várias alternativas de materiais utilizados para o assentamento dos tijolos ecológicos, pois neste estudo foi aplicada uma pasta de cimento Portland CPIII pré-contraída de 2 a 3 mm de espessura. No entanto, vários produtos para assentamento de tijolos ecológicos devem ser testados, como, por exemplo, cola PVA branca, argamassa polimérica, entre outros, além da necessidade de testes sem materiais de assentamento, considerando que os tijolos ecológicos permitem o intertravamento.

Como não foram encontrados estudos anteriores utilizando a carepa de laminação para a confecção de tijolos ecológicos na literatura, neste trabalho buscou-se verificar o potencial de uso deste resíduo, considerando os requisitos estabelecidos pelas normas brasileiras vigentes, que visam padronizar e assegurar a qualidade de diferentes tipos de materiais e serviços.

6. CONCLUSÕES

O estudo realizado com a carepa de laminação aplicada em tijolos ecológicos é inédito e permitiu concluir que a correção nos métodos de fabricação, quantidades e qualidade dos materiais empregados é fundamental para o bom desempenho destes tijolos.

Além disso, o atendimento às normas brasileiras é imprescindível, pois mesmo que estas não atuem como leis, exceto quando existe alguma lei que as obriguem, têm uma importância considerável na segurança dos produtos colocados no mercado (ABNT, 2014), e ditam as diretrizes a serem seguidas na obtenção dos melhores resultados.

Os tijolos confeccionados com o solo do município de Canas (SP), mesmo após a correção da fração areia, quando utilizado o traço 7:1 (solo: cimento) não atendeu aos requisitos estabelecidos pela norma NBR 8491 e 10833 (ABNT, 2012) quanto à resistência à compressão e ao índice de plasticidade do solo, sendo necessários estudos posteriores visando a adequação do solo e do traço utilizado. Apesar disso, no ensaio de absorção de água, todos os corpos de prova atenderam ao requisito de absorção individual inferior a 22% e absorção média inferior a 20%.

Quanto a adição de carepa de laminação em substituição ao cimento Portland CPIII nas proporções de 15% e 25%, não foi observada influência relevante sobre o comportamento mecânico dos tijolos ecológicos de dois furos no traço 7:1 (solo: cimento), tendo em vista a baixa variação dos valores de resistência à compressão e absorção d'água em relação aos tijolos confeccionados sem a adição deste resíduo.

Para estudos posteriores, sugere-se que a carepa seja triturada antes de ser misturada aos demais componentes utilizados para a confecção dos tijolos ecológicos, visando a obtenção de uma mistura mais homogênea e coesa, além da investigação mais aprofundada da interação entre os componentes solo-cimento-carepa.

Também, para ensaios futuros de resistência mecânica, poderão ser testados os tijolos ecológicos intertravados, com produtos alternativos para o assentamento referente ao ensaio de compressão: como a cola PVA branca, argamassa polimérica, entre outros, além da análise de diferentes traços da mistura solo-cimento-carepa de laminação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. **Potencial de utilização do resíduo "carepa de aço" na fabricação de blocos de concreto**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/83>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento**: normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo, 2004. 52 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais**. Boletim Técnico, BT - 111. São Paulo, 2000. 21p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Vendas de cimento crescem 6,6% em 2021**. Disponível em: <https://abcp.org.br/vendas-de-cimento-crescem-66-em-2021/>. Acesso em: 5 out. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2021. 54 p. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento: análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11798**: Materiais para base de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 49**: Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. MERCOSUL, 2001. 3 p.

BARBOSA, F. B.; JOHN, L. M.; SILVA, V. E.; SILVA, E. C. R. Um comparativo entre blocos cerâmicos utilizados nas edificações de Caruaru: Estudos Preliminares. *In*: SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO IFPE, 2., 2011, Campus Caruaru, Caruaru, PE. **Anais [...]**. Caruaru: IFPE, 2011, 7 p. Disponível em: https://www.cin.ufpe.br/~lsc4/snct2011/files/SNCTIFPE_0015.pdf. Acesso em: 13 out. 2022.

BARROS, F. **Efeito da substituição do cimento Portland por cinza de casca de arroz e cal nas propriedades de tijolos ecológicos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP, Guaratinguetá, São Paulo. 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/143976>. Acesso em: 5 out. 2022.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**. v. 61, p. 178-189, 2015.

CAMPOS, R. F. F.; WEBER, E.; BORGA, T. Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil. **Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação**, v. 1, n. 2, p. 18-34, 2017. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/1178/706>. Acesso em: 2 out. 2022.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: Fundamentos. Rio de Janeiro - RJ: LTC, 6. ed., 1988. 234 p. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>. Acesso em 3 out. 2022.

CICERI, T. **Estudo comparativo de viabilidade econômica para uma edificação com bloco cerâmico, tijolo cerâmico maciço e tijolo de solo-cimento**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Univates, Centro Universitário, Lajeado, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/1418>. Acesso em: 14 nov. 2022.

CIRILO, F. **Redução na emissão de CO₂ é sinônimo de competitividade na indústria global do cimento**. Associação Brasileira de Cimento Portland. 2019. Disponível em: <https://abcp.org.br/reducao-na-emissao-de-co2-e-sinonimo-de-competitividade-na-industria-global-do-cimento/>. Acesso em: 15 out. 2022.

CORREIA, M. Universalidade e diversidade da arquitetura da terra. Terra: Forma de Construir Arquitetura, Antropologia, Arqueologia. *In*: MESA REDONDA DE PRIMAVERA, 10, 2006, Portugal. **Anais eletrônicos [...]**. Guimarães, Portugal, p. 12–19. 2006. Disponível em: <https://www.aldeia.org/portal/user/documentos/MCorreia.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2022.

CUNHA, A. F. D.; MOL, M. P. G.; MARTINS, M. E.; ASSIS, P. S. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. **Metalurgia & Materiais**, Ouro Preto, v. 62, n. 568, p.111-116, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 5. ed., 2018. 355 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 7 out. 2022.

FERREIRA, D.; LUSO, E.; CRUZ, M. Blocos ecológicos de solo-cimento com incorporação de resíduos. In: REHABEND Congress. 7. Cáceres, Espanha. **Anais [...]**. Espanha: Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança. Instituto Politécnico de Bragança, 2018. p. 15-18. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10198/18061>. Acesso em: 18 out. 2022.

FERREIRA, T. C. **Impactos e desafios da construção civil brasileira para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2018. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96132/tde-22102018-093936/pt-br.php>. Acesso em: 5 nov. 2022.

FIAIS, B. B.; SOUZA, D. S. **Construção Sustentável com Tijolo Ecológico**. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, v. 2, n. 1, p. 94-108. 2017. Disponível em: <http://ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/2559>. Acesso em: 9 nov. 2022.

GERDAU S.A. **Produção de aço - Relatório anual 2020**. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/wp-content/uploads/2022/07/RelatorioGerdau2020-1.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2022.

GERDAU S.A. **Produção de aço - Relatório anual 2021**. Disponível em: https://www2.gerdau.com.br/wpcontent/uploads/2022/08/relatorio_anual_gerdau_2021.pdf. Acesso em: 16 nov. 2022.

MARQUES, F. P.; GARCIA, S. do V.; SANTOS, R. M. dos; MAGALHÃES, R. da S.; SOBRINHO, J. F. R.; SOUSA, A. de; SILVA, A. A. M. da. Fabricação do tijolo ecológico com adição de plástico reciclável PET/Manufacture of ecological brick with the addition of recyclable PET plastic. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 20204 – 20226, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/45450>. Acesso em: 18 nov. 2022.

MENDES, R.; ZANOTTI, R. A. R.; MENEZES, J. C. S. S. Produção de solo-cimento (tijolo ecológico) utilizando resíduo do polimento de grés de porcelanato como fonte de sílica. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 1, n. 1, p. 50-55, 2014.

MOTTA, J. C. S. S.; MORAIS, P. W. P.; ROCHA, G. N.; TAVARES, J. C.; GONÇALVES, G. C.; CHAGAS, M. A.; MAGESTE, J. L.; LUCAS, T. P. B. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **Revista E-xacta**, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014. Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/1038/665>. Acesso em: 17 nov. 2022.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** [s.d.], [s.n.]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 16 nov. 2022.

NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de construção com terra.** Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79 p. Disponível em: https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4b_PP-Tecnicas-de-construcao-com-terra_2011.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

NOGUEIRA, M. D.; MINAS, R. S.; KWIATHOWSKI, A.; SILVA, F. X.; JARDIM, G. N.; VIERA JUNIOR, L. Desenvolvimento de um tijolo ecológico de encaixe utilizando resíduos de vidro e isopor triturados. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 335-349, 2021.

OLIVEIRA, D. N. **Análise da viabilidade do tijolo ecológico de solo-cimento na construção civil:** uma revisão de literatura. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, UFRS, Pau dos Ferros, RN, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufrs.edu.br/bitstream/prefix/7626/1/DiegoNO_MONO.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio:** coletânea do uso do aço. Gerda, 5 ed., 90 p., 2011. Disponível em: http://www.acaogerda.com.br/profissionaldoaco/blog/manual_corrosao.pdf. Acesso em: 29 nov. 2022.

PEREIRA, D. B.; PEZZUTO, C. C. Estudo do solo-cimento para a fabricação de tijolos ecológicos. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC-CAMPINAS, 15., 2010, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: PUC-Campinas, 2010. Disponível em: <https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/tijolo-solo-cimento.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2022.

PEREIRA, F. M., VERNEY, J. C. K., LENZ, D. M. Avaliação do emprego de carepa de aço como agregado miúdo em concreto. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 64, p. 463–469, 2011.

PEREIRA, G. B. C. **Ecoeficiência nas edificações de uso residencial:** estudo de caso da casa eficiente. 2012. Monografia (Especialização em Construção Civil com ênfase em Gestão e Tecnologia na Construção Civil) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais. 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-AY4MG9>. Acesso em: 16 nov. 2022.

PEREIRA, G. L.; COSSA, R. J.; PEREIRA, F. M. Estudo da viabilidade da utilização de carepa de aço na produção de concreto. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, p. 221-230, 2008. Disponível em: <https://silo.tips/download/estudo-da-viabilidade-da-utilizaao-de-carepa-de-ao-na-producao-de-concreto>. Acesso em: 04 nov. 2022.

PISANI, J. M. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo cimento. **Sinergia**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 53-59, 2005.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de minérios:** práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. 570 p.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Roadmap tecnológico do cimento.** [S.l.], [s.n.], 2019. Disponível em: <http://snic.org.br/noticias-ver.php?id=28>. Acesso em: 6 out. 2022.

SOUSA, P. V. C.; GONÇALVES, C. P.; GOMES, C. A. de O.; NEVES, A. S. S.; SOUZA, J. A. S.; HILDEBRANDO, E. A. Estudo da influência da carepa/resíduo de laminação em massas de cerâmica vermelha. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA*, 27., Belém, PA. **Anais [...]**. Belém: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2017. p. 1-9. Disponível em: <https://www.artigos.entmme.org/download/>. Acesso em: 21 out. 2022.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **O que fazemos. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.** [S.l.], [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 18 nov. 2022.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

COPARI, V. P.; DE OLIVEIRA, M. B. Confecção de tijolos ecológicos como alternativa para reutilização dos resíduos gerados por centrais dosadoras de concreto. **Revista Interdisciplinar Pensamento Científico**, v. 2, n. 1, p. 122-134, 2016. Disponível em: <http://reinpeconline.com.br/index.php/reinpec/article/view/105/68>. Acesso em: 02 nov. 2022.

LIESENFELD, K. A.; FIGUEIREDO, A. S.; SILVA, M. P.; SILVA, M. G. Panorama das emissões de gases de efeito estufa em olaria. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSAIO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE, 9, 2017, Rio Grande do Sul. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 2017. 7 p. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/13734/seer_13734.pdf. Acesso em: 13 nov. 2022.

LIMA, T. V.; ALEXANDRE, J.; ALVES, M. G. Estabilização de solos argilosos para a produção de blocos ecológicos. **Revista Engenharia Civil**, v. 34, p. 15-26, 2009. Disponível em: http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n34/Pag_15-26.pdf. Acesso em: 28 out. 2022.

MACHADO, A. O.; ARAÚJO, J. A. de. Avaliação de tijolos ecológicos compostos por lodo de ETA e resíduos da construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2014, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2014. 13 p. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/41220411.pdf>. Acesso em: 8 out. 2022.

MARQUES, S. B.; BISSOLI-DALVI, M.; ALVAREZ, C. E. Políticas públicas em prol da sustentabilidade na construção civil em municípios brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, p. 186-196, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/Wr9KpxWnS9wbLvd44p7XfKK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 out. 2022.

MORAIS, M. B.; CHAVES A. M.; JONES, K. M. Análise da viabilidade de aplicação do tijolo ecológico na construção civil contemporânea. **Revista Pensar Engenharia**, v. 2, n. 2, 18 p. 2014. Disponível em: <https://silo.tips/download/analise-de-viabilidade-de-aplicacao-do-tijolo-ecologico-na-construcao-civil-contem>. Acesso em: 24 nov. 2022.

MOTA, J. D.; OLIVEIRA, D. F.; SOUSA, A. A. P.; LARANJEIRA, E.; MONTEIRO, M. R.S. Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento. In: SEMINÁRIO DA REGIÃO NORDESTE SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2., 2010, Campina Grande. **Anais [...]**. Fortaleza: Assembleia Legislativa do Estado do Ceará, 2010. 5 p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/13542320-Utilizacao-do-residuo-proveniente-do-desdobramento-de-rochas-ornamentais-na-confeccao-de-tijolos-ecologicos-de-solo-cimento.html>. Acesso em: 22 nov. 2022.

QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland-estudo em pasta**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-15092008-153909/>. Acesso em: 27 nov. 2022.

SAMPAIO, E. P. M. **Mineralogia do Solo**. Évora, Portugal: Universidade de Évora, 2006. 21p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. de A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, v. 3, 2013. 356 p.

SANTOS, R. J. **Análise na produção de tijolos solo-cimento incorporando sacos de cimento na sua composição**. 2020. Dissertação (Mestrado em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2020. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/71734>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SIQUEIRA, E.; AMARAL, A. G.; SCHNEIDER, R. M.; ATOATTI, C. Características mecânicas de tijolos ecológicos com incorporação de resíduo. **Nativa**, v. 4, n. 3, p. 170-174, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n03a10>. Acesso em: 17 nov. 2022.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Hidratação do cimento**: a importância do tempo de reação. Mapa da Obra. [s.n.], 2019. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/hidratacao-do-cimento/>. Acesso em: 3 out. 2022.