



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

FRANKLYN ALVES DE ARAUJO

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO
SOLO-CIMENTO**

Caraúbas - RN
Outubro - 2023

FRANKLYN ALVES DE ARAUJO

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO
SOLO-CIMENTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel no Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Neves Bedoya

Caraúbas - RN
Outubro - 2023

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

A474r Araujo, Franklyn Alves de.
Revisão bibliográfica: efeito da adição do
resíduo sólido da construção civil no processo de
fabricação do tijolo ecológico solo-cimento /
Franklyn Alves de Araujo. - 2023.
53 f. : il.

Orientador: Ricardo Neves Bedoya.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2023.

1. Sustentabilidade. 2. Solo - cimento. 3.
Tijolo ecológico. 4. Meio ambiente. I. Bedoya,
Ricardo Neves, orient. II. Título.

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

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

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

FRANKLYN ALVES DE ARAUJO

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO
SOLO-CIMENTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido como requisito para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Neves Bedoya

Defendida em: 14/ 10/ 2023.

Documento assinado digitalmente
gov.br RICARDO NEVES BEDOYA
Data: 21/10/2023 17:00:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

BANCA EXAMINADORA

Ricardo Neves Bedoya, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
gov.br ANTONIO VITOR MACHADO
Data: 21/10/2023 09:31:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Antônio Vitor Machado, Prof. Dr. (UFERSA)
1º Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
gov.br WILKER FERNANDES SOARES
Data: 20/10/2023 17:45:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Wilker Fernandes Soares, Prof. Dr. (UFERSA)
2º Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus por estar sempre ao meu lado, me protegendo do mal e guiando o meu caminho, contribuindo na minha trajetória e sempre me proporcionando saúde e forças para que eu consiga alcançar meus objetivos. Agradeço ao nosso senhor não só pela dádiva da vida, mas pela sua presença constante em todos os dias que passo neste mundo.

Agradeço a minha família pelo apoio e incentivo de sempre aos estudos, agradeço aos meus pais e irmãos, primos, tias e tios, meus avós que sempre sonham em ver seus netos formados e bem sucedidos, principalmente a minha avó Raimunda, que a todo momento está orando por mim e por toda a família, ela é como se fosse o pilar de uma estrutura, sempre dando suporte para que as coisas permaneçam de pé.

Aos meus amigos que contribuíram e ainda contribuem de forma significativa na minha vida, pessoas incríveis que chegaram para somar, principalmente ao meu colega de residência e da engenharia civil, Vitor Manoel, pelas dicas e lições de vida.

À Saulo e sua avó Titica, pelo suporte que me deram nessa minha jornada acadêmica.

À Ana Camila, pelos cuidados e carinho que tens comigo, por dividir aflições e sorrisos que me animam, namorada excepcional que Deus colocou no meu caminho.

Sou grato a minha tia-avó Antônia Alves, pelo apoio, contribuição e confiança que tem me dado nessa nova trajetória da minha vida.

Quero agradecer também ao meu orientador Ricardo Neves Bedoya, pela força e comprometimento que tem em ajudar os alunos. Gratidão ao professor Luiz Eduardo, por contribuir de forma significativa nesse momento, um cara incrível dentro e fora da universidade. E a todos os professores que de uma forma vieram para somar e colaborar na aprendizagem de cada aluno do campus. A todos, meu muito obrigado.

“És o meu alívio, a força e o ânimo que eu necessito pra prosseguir, se eu não desisti, o motivo é porque sempre estive aqui, nos piores momentos dizendo que nunca desiste de mim”.

Jessé Aguiar

RESUMO

Diante do cenário atual, têm-se buscado novas soluções positivas para melhorar a sustentabilidade ambiental, formas práticas que diminuam os impactos ambientais que estão associados aos resíduos sólidos da construção civil. Técnicas como a reciclagem e reaproveitamento destes resíduos são essenciais para diminuir esses impactos, podendo contribuir de maneira significativa, uma vez que os materiais descartados retornam na forma de novos materiais que podem ser introduzidos na construção com uma melhor qualidade, durabilidade e resistência. Sendo assim, é possível alcançar uma melhor qualidade de vida no que se refere a saúde da população e, sobretudo, diminuir os efeitos negativos na natureza com o desenvolvimento sustentável de práticas ecologicamente corretas e minimizar o uso de recursos naturais. Dito isso, neste trabalho buscamos dados concretos por meio de revisões bibliográficas em sites como: Google Acadêmico, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), colhendo artigos, monografias e livros com o intuito de analisar e compreender o efeito da adição de resíduos sólidos da construção civil para fabricação de tijolos ecológicos solo-cimento, assim como compreender os tipos e classes de materiais que podem ser utilizados na fabricação destes tijolos. Observamos que os trabalhos pesquisados e analisados obtiveram resultados satisfatórios e importantes para o estudo. Os diferentes trabalhos e experimentos feitos por outros autores e abordados neste trabalho, trouxeram dados significativos quanto à resistência à compressão, absorção de água e custo de fabricação, sendo que a resistência dos tijolos e absorção de água atingiram valores médios, cumprindo o que as normas exigem. Com relação ao custo de fabricação, houve pesquisa que mostrou um aumento considerável no valor, mas em outra mostra uma boa redução de custo na produção dos tijolos ecológicos. Essa variável dependerá das componentes e porcentagens usadas para a confecção dos tijolos.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Solo-cimento, Tijolo Ecológico, Meio Ambiente.

ABSTRACT

Faced with the current scenario, new positive solutions have been sought to improve environmental sustainability, practical ways to reduce the environmental impacts associated with solid construction waste. Techniques such as recycling and reusing this waste are essential for reducing these impacts and can make a significant contribution, since the discarded materials return in the form of new materials that can be introduced into construction with better quality, durability and resistance. In this way, it is possible to achieve a better quality of life in terms of the population's health and, above all, reduce the negative effects on nature through the sustainable development of ecologically correct practices and minimizing the use of natural resources. That said, in this work we sought concrete data through bibliographic reviews on sites such as Google Scholar, the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD) and the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), collecting articles, monographs and books with the aim of analyzing and understanding the effect of adding solid construction waste to make ecological soil-cement bricks, as well as understanding the types and classes of materials that can be used to make these bricks. We observed that the works researched and analyzed obtained satisfactory and important results for the study. The various studies and experiments carried out by other authors and discussed in this paper have provided significant data in terms of compressive strength, water absorption and manufacturing costs, with brick strength and water absorption reaching average values, meeting the standards required. With regard to the cost of manufacture, one study showed a considerable increase in value, while another showed a good reduction in the cost of producing ecological bricks. This variable will depend on the components and percentages used to make the bricks.

Keywords: Sustainability, Soil-cement, Ecological brick, Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeitos dos resíduos.	21
Figura 2 - Restos de tijolos e areia de uma demolição.	22
Figura 3 - Restos de gesso.	23
Figura 4 - Materiais de madeira.	24
Figura 5 - Construção residencial utilizando tijolo ecológico.	26
Figura 6 - Construção de uma residência finalizada.	27
Figura 7 - Componentes do tijolo solo-cimento.	27
Figura 8 - Tijolo vazado e maciço de solo-cimento.	28
Figura 9 – Processo de fabricação.	29
Figura 10 – Verificação da umidade da mistura aplicando uma força.	33
Figura 11 – Verificação da umidade da mistura a queda livre.	33
Figura 12 – Prensa manual SAHARA.	34
Figura 13 - Determinação da absorção de água por imersão (%).	39
Figura 14 – Dados do ensaio à compressão simples dos 7 corpos de prova (MPa).	42
Figura 15 - Análise da absorção de água (%).	43
Figura 16 - Resistência à compressão dos traços.	45
Figura 17 - Absorção de água dos traços em função dos tempos de cura.	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos Resíduos da Construção Civil segundo a resolução 307//2002 do CONAMA.....	20
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe e diâmetro das partículas.....	25
Tabela 2 - Aspectos apropriados do solo.....	31
Tabela 3 - Dimensões do bloco de tijolo.	35
Tabela 4 - Resistência à compressão em MPa – NBR 8492 (ABNT, 2012).....	38
Tabela 5 - Determinação da absorção de água por imersão (%).	39
Tabela 6 - Determinação da massa específica da amostra seca (g/cm ³).	40
Tabela 7 - Massa específica da amostra saturada (g/cm ³).	40
Tabela 8 - Massa específica real (g/cm ³).	41
Tabela 9 - Planilha de custos de agregado natural e agregados reciclados.	41
Tabela 10 - Resultados do ensaio de compressão simples dos 7 corpos de prova (MPa).	42
Tabela 11 - Custo para a produção de 1.000 tijolos ecológicos.	44
Tabela 12 - Valores de cada etapa construtiva.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

µm	Micrómetro
AA	Absorção de Água
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
cm	Centímetro
cm ²	Centímetros por Metros Quadrados
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DRX	Difração de Raios X
g/cm ³	Gramas por Centímetros Cúbicos
hab	Habitante
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kg	Quilograma
kg/m ³	Quilograma por Metros Cúbicos
kgf	Quilograma-força
mm	Milímetro
Mpa	Mega Pascal
NBR	Normas Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RSCC	Resíduos Sólidos da Construção Civil

S.d	Sem Data
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivo geral	16
1.1.1. Objetivos específicos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. Sustentabilidade na construção civil.....	17
2.2. Resolução 307/2002 estabelecida pelo conselho nacional do meio ambiente	18
2.2.1. Classificação dos resíduos de acordo com a resolução do CONAMA 307/2002.....	19
2.2.2. Efeitos dos resíduos	21
2.3. Causas da geração de resíduos da construção civil.....	24
2.4. Origem do solo.....	25
2.5. Tijolo de solo-cimento	25
2.6. Materiais componentes do solo-cimento	30
2.7. Pesquisas com resíduos empregados a solo-cimento.....	35
3. METODOLOGIA.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1. Análise da resistência à compressão simples, absorção de água e custo de tijolos ecológicos	37
4.2. Características entre tijolos solo-cimento e tijolos convencionais	48
5. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

Envolvendo desde a captação de recursos até a construção de projetos, a construção civil é, sem dúvida, uma das atividades mais significativas e influentes na política socioeconômica e ambiental brasileira. É fundamental ressaltar a importância da gestão adequada de resíduos para o meio ambiente, com a colaboração presente na busca de uma resposta positiva visando a redução do risco ambiental desde o início da cadeia produtiva. Sendo assim, é possível alcançar uma melhor qualidade de vida visando a saúde da população e principalmente também diminuir os impactos ao meio ambiente com o desenvolvimento sustentável de práticas ecologicamente corretas.

Os resíduos sólidos da construção civil (RSCC), conhecidos como “entulho”, quando descartados de forma incorreta, geram mais danos à natureza e à saúde humana. Devemos procurar métodos que tragam resultados positivos em relação ao desperdício de recursos naturais no cotidiano. A construção civil é representada como indústria de grande impacto na economia, pois se trata de uma construção abundante de mão de obra em qualquer lugar que seja, contribuindo para geração de emprego, desenvolvimento social e renda para o país. Um dado divulgado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2022) mostra nos últimos resultados do PIB, divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que a construção civil, na série trimestre versus trimestre consecutivamente anterior, com o ajuste sazonal, cresceu em sete trimestres consecutivos, mostrando a grande importância do setor para o país.

Mesmo tendo um papel fundamental no desenvolvimento do país, o setor é, também, uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais, estima-se que entre 40% e 75% dos recursos naturais existentes são consumidos por esse setor, causando, assim, uma enorme geração de resíduos. Só no Brasil, a construção gera 25% do total desses resíduos (Mattes, 2019).

Dados da CBIC (2020), referentes às Contas Nacionais Trimestrais 1º Trim./2021, retirados do IBGE, revelam que o PIB do Brasil no ano de 2020 foi de 7,45 trilhões, tendo o setor da indústria responsável por 20,4%, e a construção civil por 3,3%. Essas estatísticas mostram como o setor da construção civil afeta a economia de um país e o quanto contribui para a produção e destinação de resíduos em larga escala, utilizando recursos e prejudicando o meio ambiente.

Em meio a esse cenário de grande preocupação ambiental, a estabilização de solo com destino à utilização na construção civil, como na produção de tijolos de solo-cimento, surge como

uma alternativa viável, factível e de menor impacto ambiental face aos métodos construtivos já consolidados. Para ter oportunidade de tal ascensão no mercado, é necessário que o tijolo de solo-cimento conquiste mais confiabilidade e credibilidade, que até então não possui de forma expressiva.

Logo, o estudo tem como prioridade os materiais da classe II, onde pode ser encontrado, o resíduo concreto, tijolos, argamassa, revestimento cerâmicos e telhas. Quando manuseado de forma correta, o gerenciamento desses resíduos não só diminui os índices de desperdício e os gastos com materiais, como também efetua um desempenho ecológico e sustentável. Segundo o estudo (Gestão de Resíduos na Construção Civil), desenvolvido pelo SENAI em parceria com o SEBRAE, além de produzir em torno de 50% do gás carbônico lançado na atmosfera, o setor é um dos principais vilões ambientais, uma vez que gera algo entre 2 e 3 bilhões de toneladas de entulho por ano.

O presente trabalho busca trazer análises através de uma revisão bibliográfica a fabricação do tijolo solo-cimento com a utilização de seus agregados na sua composição adicionando resíduos da construção civil, resíduos classificados como de classe A, reutilizáveis ou recicláveis como agregados e oriundos de processo de fabricação e/ou demolição de construções, cujo o objetivo é minimizar os impactos ambientais gerados pelo desperdício desses materiais, como também diminuir o uso dos recursos naturais e minimizar os custos de fabricação. Portanto, o estudo a ser desenvolvido é essencial para acrescentar novos conhecimentos teóricos dentro do setor da construção civil e do gerenciamento de resíduos, contribuindo de forma social e econômica para o país.

1.1. Objetivo geral

Fazer uma revisão bibliográfica para estudar o efeito da adição de resíduos sólidos da construção civil para a fabricação de tijolos ecológicos solo-cimento.

1.1.1. Objetivos específicos

- Caracterizar os materiais utilizados para a fabricação de tijolos ecológicos solo-cimento;
- Analisar o efeito da resistência à compressão e da absorção de água no tijolo;
- Avaliar o custo de produção do tijolo;
- Comparar algumas características entre tijolos solo-cimento e tijolos convencionais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Sustentabilidade na construção civil

Na atualidade, a construção civil vem demonstrando ser uma das maiores vilãs e inimigas da natureza, pois é a área que mais gera resíduos na terra. Semelhante a outros países, o Brasil vem enfrentando constantes mudanças em termo de tecnologia e construção de obras, buscando aprimorar métodos e meios tecnológicos para agilizar e evoluir dentro das construções, mas ao mesmo tempo vem sendo cobrado pela preservação do meio ambiente.

A Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo, na Suécia, em 1972, representou o início das discussões sobre o desenvolvimento sustentável, de forma que o principal objetivo é a preservação do meio ambiente. Refere-se ao processo de manutenção do equilíbrio envolvendo a capacidade do ambiente e as demandas por igualdade, bonança e uma boa qualidade de vida da população humana (CBIC, 2022).

Em 2012, entre os dias 13 e 22 de junho no Rio de Janeiro, foi realizada uma conferência com o intuito de debater temas ambientais. Contando com representantes dos 193 Estados-membros da ONU e com milhares de participantes dos mais variados setores da sociedade civil e escolhido como um dos maiores eventos organizados pela ONU, a Rio+20 ocorreu em diversas partes da cidade do Rio de Janeiro, tendo como os principais temas abordados na conferência: o desenvolvimento sustentável, economia verde, inclusão social e pobreza. Além de debater temas sobre questões ambientais, o evento também teve como objetivos fortalecer e assegurar o desenvolvimento sustentável, incluindo os países envolvidos. Além disso, o tema da economia verde foi um dos principais objetivos da conferência (“Rio Mais 20”, [s.d.]).

A economia verde introduzida no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza, constitui um instrumento para empregos de programas e políticas com o intuito de fortalecer a implementação dos compromissos de desenvolvimento sustentável englobando todos os países da ONU. No Brasil, a “economia verde” precisa ser sempre enfocada no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza, uma vez que esses temas não podem ser subdivididos das preocupações do cunho social (“Temas — Rio + 20”, [s.d.]).

Um dos documentos de suma importância sobre a economia verde é o relatório do Programa das nações unidas para o meio ambiente (PNUMA) intitulado “Rumo à economia verde: caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza”, e ele descreve o termo economia verde como:

[...] um modelo econômico que resulta em “melhoria do bem-estar da humanidade e igualdade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente riscos ambientais e escassez ecológica”. Em outras palavras, uma economia verde tem baixa emissão de carbono, é eficiente em seu uso de recursos e é socialmente inclusiva. Em uma economia verde, o crescimento de renda e emprego deve ser impulsionado por investimentos públicos e privados que reduzam as emissões de carbono e a poluição, aumentem a eficiência energética e o uso de recursos e impeçam a perda da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (PNUMA, 2011, p.17).

Essa descrição da economia verde exposta no relatório é uma das diversas versões do termo que se encontra na literatura científica.

Segundo Silva (2003, p. 4) o empenho preciso para ser mais sustentável é preciso “(...) fornecer mais valor, poluir menos, ajudar o uso sustentável de recursos, responder efetivamente às partes interessadas e melhorar a qualidade de vida presente sem comprometer o futuro”. Nesse sentido, a construção sustentável não é um desenvolvimento ambiental à custa de uma empresa que saia do mercado, políticas devem ser feitas para orientar o setor, buscar um sistema de avaliação e classificação do desempenho ambiental.

2.2. Resolução 307/2002 estabelecida pelo conselho nacional do meio ambiente

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal nº 12.305/2010, "resíduos da construção civil" são aqueles materiais produzidos durante as construções, reformas, demolições, preparação e escavação de terrenos para obras de construções civis.

Para que haja um destino final correto desses resíduos gerados em canteiros de obras e que também futuramente não venham agredir ao meio ambiente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou a Resolução 307/2002, na qual são estabelecidos critérios, diretrizes e procedimentos específicos para a gestão desses resíduos poluentes. Esta resolução busca diminuir os efeitos ambientais causados pela geração destes resíduos, ao mesmo tempo que promove a sua gestão eficaz e boa qualidade sustentável. Buscar também o incentivo da reutilização e reciclagem desses materiais que ao serem descartados na natureza de forma inapropriada causam grandes impactos ambientais. Desse modo, as grandes empresas e os principais geradores de resíduos conseguem criar e alcançar um plano de gerenciamento e controle sobre esses materiais, apoiando e ajudando a minimizar esse obstáculo ambiental.

Segundo a Resolução 307/2002 do CONAMA, ao que diz respeito ao art. 2º para efeito desta resolução, sugere que sejam adotadas as seguintes definições:

I - Resíduos 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;

II - Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;

III - Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação;

IV - é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

V - Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;

VI - Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

VII - Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;

VIII - Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo às operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto (CONAMA 307/2002).

2.2.1. Classificação dos resíduos de acordo com a resolução do CONAMA 307/2002

O art. 1º estabelece diretrizes, normas e procedimentos para o gerenciamento de resíduos de canteiros de obras, aplicando as ações necessárias para minimizar os efeitos ambientais.

Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os resíduos precisam ser identificados de acordo com as suas devidas características, e separados de acordo com as classes que são determinadas pela resolução, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos Resíduos da Construção Civil segundo a resolução 307//2002 do CONAMA.

Tipo de RCC	Definição	Exemplos	Destinações
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	-Resíduos de pavimentação solos provenientes de terraplanagem; -Resíduos de componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; -Resíduos oriundos de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios fios etc.) produzidos nos canteiros de obras.	Reutilização/reciclagem na forma de agregados, ou encaminhados às áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações.	Plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e outros.	Reutilização/reciclagem ou encaminhamento às áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos para permitir sua utilização/reciclagem futura.
Classe C	São resíduos que ainda não existem tecnologias/aplicações que permitam a sua reciclagem/recuperação.	Resíduo radioativo	Armazenamento, transporte e destinação final conforme normas técnicas específicas a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe D	Resíduos perigosos, oriundos do processo de construção.	Tintas, solventes, óleos e outros, ou contaminados oriundos de demolições. Reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.	Armazenamento, transporte, reutilização e destinação final. Conforme normas técnicas específicas.

Fonte: Adaptada de CONAMA, Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002.

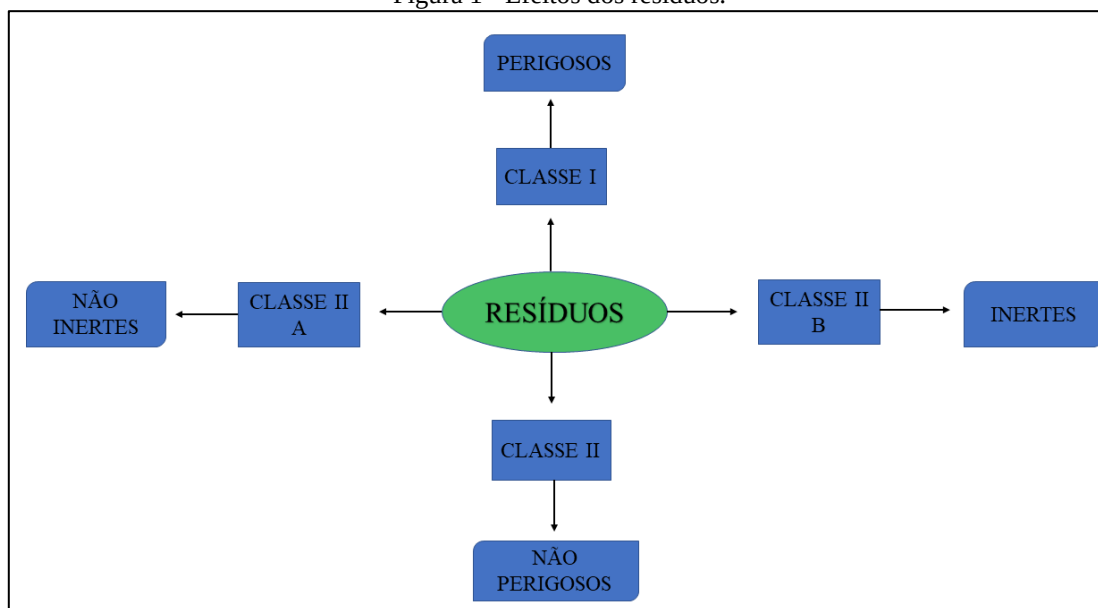
Essa classificação é importante para direcionar a gestão e o manuseio correto dos resíduos da construção civil, estabelecendo as medidas necessárias para o seu transporte, armazenamento, tratamento e destinação final, conforme a legislação ambiental vigente.

Segundo a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2019, os municípios brasileiros colheram numa faixa total 44,5 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), o que implica em uma apuração per capita de 213,5 kg/hab/ano; em relação às regiões do Brasil, do total apurado, 52,19% representam à região Sudeste, 19,77% à região Nordeste, 13,32% à região Sul, 10,86% à região Centro-Oeste e 3,86% à região Norte (ABRELPE, 2020). Levando em consideração que os dados da pesquisa citada não incluem os resíduos coletados pelas empresas privadas, visto que os dados foram da pesquisa direta da ABRELPE e dos municípios, percebe-se que há um quantitativo bem maior na produção dos RCD.

2.2.2. Efeitos dos resíduos

Conforme a ABNT NBR 10004:2004 os efeitos dos resíduos são classificados de acordo com a Figura 1.

Figura 1 - Efeitos dos resíduos.



Fonte: Autoria própria (2023).

Resíduos classe I – Perigosos

Aspecto apresentado por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode expor:

- a) risco à saúde pública, podendo provocar mortalidade, aparecimento de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é gerenciado de forma imprópria.

Resíduos classe II – Não perigosos

Contrário da classe I, os resíduos da classe II são quase que inofensivos a saúde humana, alguns deles são: sucata de metais ferrosos, resíduo de papel e papelão, resíduos de plástico polimerizado, resíduos de borracha, resíduo de madeira e outros resíduos não perigosos.

Resíduos classe II A – Não inertes

Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter algumas propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos classe II B – Inertes

Todos resíduos que, quando amostrados de uma forma específica, segundo a ABNT NBR 10007, e sujeitos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações maiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se cor, turbidez, aspecto, dureza e sabor, como: prata, alumínio, chumbo, cobre, cloreto etc.

Logo abaixo estão expressas as Figuras 2, 3 e 4, ilustrando alguns dos tipos de resíduos que podem ser encontrados facilmente em canteiros de obras provenientes de construção civil independente de demolições, escavações entre outros.

Figura 2 - Restos de tijolos e areia de uma demolição.



Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 2, é uma imagem que foi capturada no distrito Cana Brava da cidade de Pureza/RN, e ilustra alguns resíduos de construção e demolição (RCD), que estavam em um canteiro de obra, classificados como da classe A, resíduos oriundos do processo de fabricação e/ou demolição (tijolos e blocos de concreto) segundo a resolução 307//2002 do CONAMA.

Figura 3 - Restos de gesso.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 3, retrata-se do resíduo de gesso que consequentemente foi de uma demolição de teto (forro) residencial da cidade de Caraúbas/RN. Analisando a importância desse material, em 2002, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) introduziu na resolução nº 307, instituindo diretrizes, critérios e métodos para uma gestão adequada dos resíduos oriundos da construção civil, de forma que fossem submeter as ações buscando minimizar os impactos gerados ao meio ambiente. Portanto, já em 2011, o CONAMA constituiu a resolução nº 431, com o intuito de alterar a classificação do gesso, ou seja, o gesso passou de classe C para a classe B, onde se enquadra nos resíduos recicláveis para outras destinações.

Tendo este ponto de vista, Ângulo (2005) confirma em suas análises que o gesso é introduzido na classe dos materiais recicláveis, junto com cerâmicas, tijolos, telhas, etc. Mas para isso seus resíduos precisam ser acondicionados separadamente, possibilitando assim a reciclagem de 100% do material. Como resultado, o gesso pode ser empregado na agricultura, sendo utilizado na correção de solos, como aditivo para compostagem, como absorvente de óleos, no controle de odores e na secagem de lodos em estações de tratamento de esgoto etc. Tendo em vista, que este

processo só será possível com treinamento da mão de obra vinculada nas operações, envolvendo também os prestadores de serviços terceirizados.

A Figura 4, retrata uma pequena empresa reciclando materiais de madeira proveniente de uma demolição de construção civil, materiais pertencentes da classe B.

Figura 4 - Materiais de madeira.



Fonte: Chiabi (2022).

Vale ressaltar que as classificações e definições dos resíduos podem variar de acordo com a legislação e regulamentos específicos de cada país ou região. Além do mais, fazer uma gestão adequada desses resíduos é fundamental para diminuir os impactos ambientais, sobrepondo a redução, reutilização, reciclagem e destinação exata, em concordância com as normas ambientais vigentes.

2.3. Causas da geração de resíduos da construção civil

A reprodução crescente desses resíduos gerados nos canteiros de obras da construção civil, é devido a ineficiência dos processos construtivos, pois na maioria das vezes, os métodos construtivos utilizados não são bem elaborados, fazendo com que ocorra os desperdícios de materiais, e esse problema dá-se devido à falta de planejamento adequado, má direção entre as equipes de trabalho, falta de habilidades técnicas, e outros fatores como: construção, demolição, reformas, perdas de materiais quando quebrados ou cortados, como por exemplo tijolos, cerâmicas, ferros e etc.

2.4. Origem do solo

A origem dos solos se dá através da decomposição das rochas devido a agentes físicos e químicos que transformam a rocha matriz em solo em decorrência de variações de temperatura, dos rios e água das chuvas, o vento por fazer variar a umidade do solo, a presença da fauna e da flora. Caracteristicamente os sedimentos são separados em classificações baseadas no tamanho dos grãos, que podem variar de extremamente pequenos como de siltes e argilas até maiores como pedregulhos e rochas. A terminologia para a descrição dos tamanhos dos grãos é um aspecto importante, pois o tamanho do grão define a maioria das propriedades básicas dos sedimentos. (Pipacasa, 2022). Conforme a ABNT NBR 6502/2022, as classes e diâmetros das partículas de cada solo podem ser classificados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Classe e diâmetro das partículas.

Classe	Diâmetro das partículas, d (mm)
Pedregulho	$d > 2$
Areia grossa	$0,6 < d \leq 2$
Areia média	$0,2 < d \leq 0,6$
Areia fina	$0,06 < d \leq 0,2$
Silte	$0,002 < d \leq 0,06$
Argila	$d \leq 0,002$

Fonte: Adaptada de NBR 6502/2022.

2.5. Tijolo de solo-cimento

Nos dias de hoje, a busca do tijolo ecológico se torna uma alternativa, em virtude do processo de produção sistematizado e econômico, pois não exige que haja a necessidade de queima, processo este de grande impacto ambiental. O solo utilizado para compor o tijolo ecológico pode ser tanto na forma como ele é encontrado na natureza (solo natural) como arranjado após a execução de correções nas suas propriedades de engenharia, como a granulometria, peso específico aparente do solo-seco e a umidade ótima (Santana, Carvalho, Faria, 2013).

A aplicação de resíduos sólidos no processo de fabricação de tijolo solo-cimento pode tornar-se uma rota tecnológica viável, pois o tijolo gera uma menor quantidade de resíduos e na sua fabricação podem ser usados resíduos de outras construções e sua matéria-prima é abundante.

O tijolo padrão é a base de uma composição de solo, cimento e água, em que o solo deve estar entre 50% e 70%, podendo ser montado por encaixe, colocando-se um sobre o outro e facilitando o assentamento, o tempo de execução e diminuindo a quantidade de argamassa ou cola aplicada (Pipacasa, 2022).

Segundo Fernandadg (2014), o tijolo ecológico é conhecido por tijolo de solo-cimento, pois é construído a partir da mistura de terra, cimento, areia e aditivos, prensados em uma máquina específica. O tijolo é chamado de ecológico por diversos motivos, um deles é que, durante o processo de fabricação, ele não precisa ser queimado, evitando assim, a liberação de CO_2 (dióxido de carbono), e também porque sua aplicabilidade dispensa o uso de pilares e vigas, constituindo um sistema autoportante. Isso evita o desperdício de material, ou seja, as fôrmas de madeira usadas para construir os pilares. As Figuras 5 e 6 representam o processo e trabalho final de uma construção residencial construída com a utilização de tijolos solo-cimento.

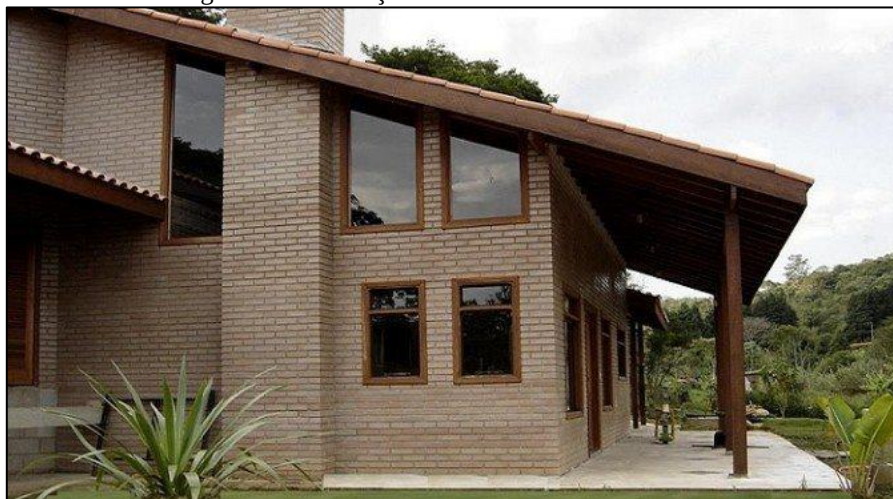
Figura 5 - Construção residencial utilizando tijolo ecológico.



Fonte: Fernandadg, (2014).

Uma das vantagens é a possibilidade de passar as tubulações elétricas e hidráulicas conforme as paredes vão sendo montadas, sem precisar quebrá-las, o que otimiza o tempo, o custo e novamente o gasto de material.

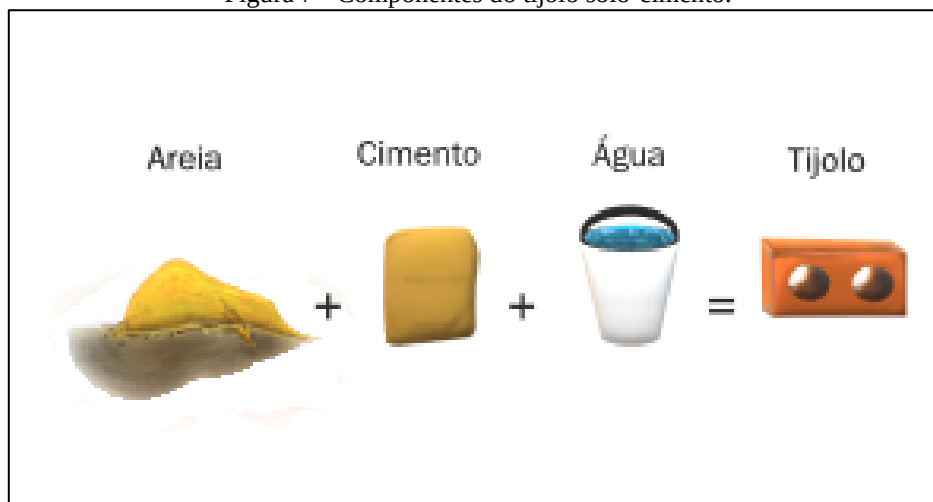
Figura 6 - Construção de uma residência finalizada.



Fonte: Fernandadg (2014).

De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012) o tijolo de solo-cimento é definido como um componente de alvenaria, composto de uma mistura homogênea, endurecida, compactada, que não passa pelo processo de cozimento, composta por solo, cimento Portland e água como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Componentes do tijolo solo-cimento.

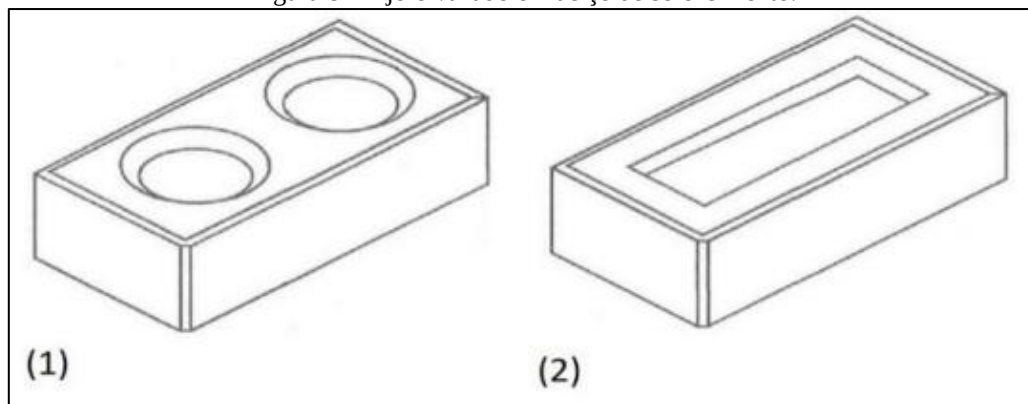


Fonte: Autoria própria (2023).

Quando o tijolo tem seu volume igual ou superior a 85% do seu volume total aparente, ele é intitulado de tijolo maciço de solo-cimento; porém, se o seu volume for inferior aos 85% do total

aparente, ele é denominado de tijolo vazado de solo-cimento. Está ilustrado na Figura 8, exemplo de tijolo vazado (1) e maciço (2) de solo-cimento.

Figura 8 - Tijolo vazado e maciço de solo-cimento.



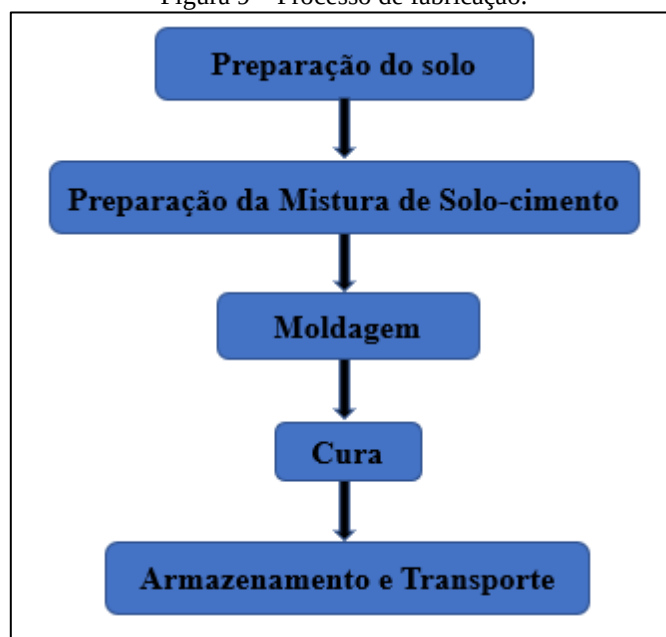
Fonte: Adaptada de NBR 8491 (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2012).

A NBR 10833 (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2012) estabelece que o solo não deve conter material orgânico em quantitativo que venha prejudicar a etapa de hidratação do cimento; o cimento necessita atender às condições normativas conforme o seu tipo; não deve haver impurezas na água, que são nocivas à hidratação do cimento; pode fazer o uso de aditivos e pigmentos, desde que o tijolo obedeça aos requisitos físicos mecânicos exigidos em normas.

A NBR 10833 (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2013) define o processo de fabricação do tijolo de solo-cimento, conforme é ilustrado pela Figura 9, ainda conforme a referida norma, o processo da mistura do solo-cimento, pode ser efetuada de forma manual ou mecânica, se dá ao inserir o cimento ao solo, de forma que já esteja destorroado e peneirado, misturando para homogeneizar até atingir uma cor uniforme. Seguidamente é colocado água de forma gradual até atingir a umidade ideal de trabalho para a massa.

No processo de moldagem, recomenda-se transferir rapidamente a mistura para o molde e realizar a prensagem, retirando os tijolos com cuidado e empilhando-os em um local com sombra sobre uma superfície plana e lisa, estabelecendo a altura máxima de até um metro e meio. Ao decorrer dos sete primeiros dias, é importante manter os elementos (tijolos) úmidos, para realizar a cura, só pode utilizar os tijolos após 14 dias de sua fabricação. Após a cura, recomenda-se o uso de paletes para o armazenamento e transporte dos blocos de tijolos.

Figura 9 – Processo de fabricação.



Fonte: Adaptada de NBR 10833 (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2013).

Para a avaliação das propriedades dos tijolos de solo-cimento, a NBR 8492 (ABNT, 2012), denota os métodos de ensaios, sendo eles de análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão simples. Acerca desse assunto, a NBR 8491 (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2012) retrata os requisitos normativos para os ensaios, sendo acordado tolerâncias de + 1 ou -1 mm nas dimensões nominais para as três dimensões dos tijolos; tendo idade mínima de 7 dias de cura, a média dos valores da resistência à compressão precisa ser igual ou maior que 2,0 MPa, para valor individual não pode ser menor que 1,7 MPa; para a absorção de água, com idade mínima de 7 dias de cura, a amostra do ensaio não deve de forma alguma apresentar a média dos valores maior do que 20%, nem valores individuais maiores do que 22%.

Segundo a Associação brasileira de cimento Portland (2000), a técnica de construir tijolos monolíticos vem ganhando mais espaço no setor da construção civil por trazer algumas vantagens como rapidez na construção do espaço, baixo custo de produção, e possibilidade de ser confeccionado na própria obra. Porém, para a confecção destes tijolos é importante ficar atento aos parâmetros físicos do solo que venha a ser utilizado. O não cumprimento das características pode ser prejudicial à fabricação dos tijolos por provocar a relação entre os materiais utilizados. Também é importante destacar, que a água utilizada seja potável, isenta de impurezas biológicas.

O tijolo de solo cimento é obtido a partir da mistura de partes proporcionais de solo, cimento e água que, após um processo de “cura” endurece ganhando consistência e durabilidade para aplicação em várias obras. O uso deste tipo de material vem desde de aproximadamente 1948 e é uma evolução das construções de taipa e adobe. (Ecocasa, 2014).

A escolha do solo ideal é um passo fundamental é de extrema importância no processo de fabricação do tijolo solo-cimento. É importante, fazer uma análise correta do solo, pois pode influenciar na qualidade do tijolo, como a resistência mecânica, no custo final, no acabamento e até mesmo na falha de produção do tijolo, pois nem todo solo é adequado na fabricação. O solo desejável é constituído de areia argilosa ou argila arenosa, livre de impurezas e matéria orgânica e quimicamente neutros, com a porcentagem de areia entre 55 e 75 %. Esta é a faixa ideal, pois possibilita a mistura apenas usando o solo e o cimento (Pipa casa, 2022).

De acordo com a Associação Brasileira de cimento Portland (2000), podemos considerar como as principais vantagens do tijolo solo-cimento, os seguintes quesitos:

- a) Pode, no geral, serem produzidos com o solo do mesmo local da execução (ou região) e no próprio canteiro da obra, limitando-se ou eliminando-se o custo com transportes;
- b) Utiliza-se equipamento simples, de baixo custo;
- c) Não é necessário o consumo de combustível na fabricação, por dispensar a queima;
- d) A simetria de suas formas, a planeza e a lisura de suas faces exigem argamassas de assentamento e de revestimento de espessura mínima e uniforme;
- e) Pode isentar o uso de revestimento, desde que seja protegido da ação direta em contato com a água, sendo, portanto, aconselhável para paredes com tijolos à vista;
- f) Não exige mão-de-obra especializada;
- g) A sua resistência à compressão simples é semelhante à do tijolo cerâmico.

2.6. Materiais componentes do solo-cimento

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2000), o componente de maior proporção na mistura é o solo, tendo que ser selecionado de modo a que se possibilite o uso da menor quantidade possível de cimento. De modo geral, os solos mais apropriados para a fabricação de tijolos de solo-cimento são os que possuem os seguintes aspectos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Aspectos apropriados do solo.

Características	Requisitos (%)
% passando na peneira ABNT 4,8mm (n.º 4)	100
% passando na peneira ABNT 0,075mm (n.º 200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Fonte: Associação brasileira de cimento Portland (2000).

Com relação aos tipos de solos, os solos arenosos demandam, quase sempre, quantidades menores de cimento do que os solos argilosos e siltosos; ressalta-se, entretanto, que a existência de argila na constituição do solo é preciso para dar à mistura de solo e cimento, quando umedecida e compactada, coesão suficiente que permita a desmoldagem e o manejo dos tijolos após a prensagem. Deve-se evitar o uso de solos que contenham matéria orgânica, pois esta pode perturbar a hidratação do cimento e, conseqüentemente, a estabilização do solo matéria-prima.

A separação ou escolha do solo para fabricação de tijolos deve ser realizada através de ensaios de laboratório. Os ensaios de laboratório necessários são:

- Preparação de Amostra de Solo para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização (NBR 6457);
- Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solos (NBR 6508);
- Solo - Determinação do Limite de Liquidez (NBR 6459);
- Solo - Determinação do Limite de Plasticidade (NBR 7180);
- Solo - Análise Granulométrica (NBR 7181).

Na realização desses ensaios citados anteriormente, deve ser tomada uma amostra de solo com 10 kg.

Para a escolha dos cimentos, os que poderão ser utilizados devem atender a uma das seguintes especificações:

- NBR 5732 - Cimento Portland Comum;
- NBR 11578 - Cimento Portland Composto;
- NBR 5735 - Cimento Portland de Alto-Forno;
- NBR 5736 - Cimento Portland Pozolânico;

- NBR 5733 - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

Em relação a água, não se pode usar qualquer tipo de água na composição do tijolo. A água deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento; presume-se adequadas às águas potáveis.

Já na escolha do traço, se o solo atender aos requisitos citados anteriormente, o traço volumétrico básico pode ser feito de 1:10 (cimento:solo). Caso seja necessário uma produção diária superior a 10.000 tijolos, devem ser preparados três traços volumétricos de 1:10, 1:12 e 1:14 (cimento,solo); para cada traço, no mínimo, devem ser moldados seis tijolos, dos quais três serão preparados para a realização do ensaio à compressão simples e os outros três serão utilizados para o ensaio de determinação do teor de absorção d'água.

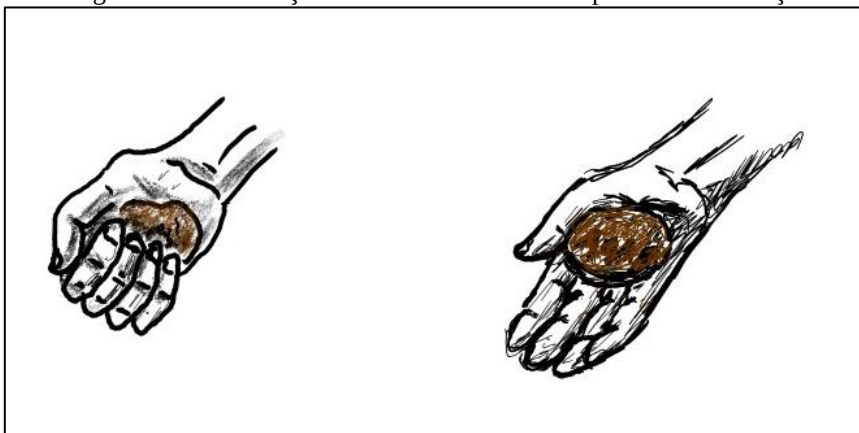
No processo de fabricação dos tijolos, o solo necessita conter baixa umidade, recomendando-se que sua armazenagem permita ser feita nessa condição. Geralmente, o solo é retirado da jazida e transportado ao depósito; é necessário que ele seja preparado, desmanchando os torrões e descartando o material retido na peneira ABNT de 4,8 mm, que corresponde a peneira de nº 4. Após o peneiramento o solo deve ser bem misturado.

Geralmente a mistura do solo e cimento é manual. Já com o solo, destorreado e peneirado, recomenda-se colocá-lo sobre uma superfície lisa e limpa (de preferência cimentada) e espalhar numa camada não superior a 20 cm de espessura. Posteriormente, o cimento é distribuído sobre a camada de solo. Com o auxílio das ferramentas como pás e enxadas é processada a mistura do solo com o cimento, até que se obtenha uma coloração uniforme. Se preciso, deve-se ir adicionando água aos poucos, até que se atinja a umidade ideal. Quando a mistura atingir a umidade esperada, recomenda-se proceder a um novo peneiramento, dessa vez para permitir uma melhor homogeneização da água no solo-cimento.

Para verificar a umidade ótima da mistura, deve ser feita uma razoável precisão, da seguinte forma prática a seguir:

- a) É pego um punhado da mistura e aperta-se aplicando uma energia razoável entre os dedos e a palma da mão; ao se abrir a mão, o bolo de massa deverá ter a marca deixada pelos dedos (Figura 10);

Figura 10 – Verificação da umidade da mistura aplicando uma força.



Fonte: Autoria própria (2023).

- b) deixando o bolo de massa cair de uma altura aproximada de 1 m, sobre uma superfície sólida; ele deverá esfarelar-se ao chocar-se com a superfície (Figura 11); se a massa não se esfarelar, a mistura estará muito úmida.

Figura 11 – Verificação da umidade da mistura a queda livre.



Fonte: Autoria própria (2023).

Antes de dar início ao processo de prensagem dos tijolos, é preciso efetuar a regulação da máquina, para que se tenha as dimensões corretas solicitadas para o tijolo, com o adensamento

adequado. Se porventura os primeiros tijolos obtidos durante a regulagem não estiverem de acordo com as especificações, poderão ser destorroados e, em seguida, reaproveitados através de uma nova prensagem.

Após ser feita a regulagem da prensa, a mistura é colocada dentro dos moldes e prensada, como demonstração, a Figura 12 ilustra uma prensa manual sahara para tijolos ecológicos. Depois a prensagem, os tijolos produzidos são retirados dos moldes com devido cuidado, a fim de evitar quebras de arestas, e conduzidos em bandejas para a área de cura, onde os tijolos devem ser colocados em locais com sombra, sobre uma superfície plana e empilhados até uma altura máxima de 1,5 m.

Figura 12 – Prensa manual SAHARA.



Fonte: Autoria própria (2023).

Como sugere a NBR 10833 (ABNT, 2012), após a moldagem o material deve ficar em processo de cura ao ar livre, em ambiente fechado para que não haja exposição direta ao sol, a fim de reduzir a perda de umidade. Frequentemente os blocos de tijolos devem ser umedecidos com regadores ou material similar após os 7 primeiros dias para ajudar no processo de cura. Haverá casos em que não há possibilidades de cura em um local coberto; caso isto ocorra, deve-se proteger a pilha de tijolos com uma lona.

Ainda segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2000), os tipos e as dimensões nominais são os mesmos na NBR 8491 - Tijolos maciços de solo-cimento (Especificação), como mostra a Tabela 3:

Tabela 3 - Dimensões do bloco de tijolo.

Designação	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)
Tipo 1	20,0	9,5	5,0
Tipo 2	23,0	11,0	5,0

Fonte: Adaptada de Associação Brasileira de Cimento Portland (2000).

O traço para a fabricação dos tijolos será o que lhes conceder um valor médio de resistência à compressão igual a 2,0 MPa (20 kgf/cm²), de forma que nenhum dos valores individuais estejam inferiores a 1,7 MPa (17 kgf/cm²) na idade mínima de 7 dias, e a absorção média de água não pode ser superior a 20%, nem propor valores individuais superiores a 22%. A realização dos ensaios deve estar de acordo com a NBR 8492 - Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água (Método de ensaio).

2.7. Pesquisas com resíduos empregados a solo-cimento

Dellacort (2002), concluiu experimentos de resistência a compressão substituindo relativamente o cimento Portland por resíduo cerâmico moído. Com seus resultados, ele pôde considerar que das amostras analisadas as substituições de 25 e 57% do cimento por material cerâmico propuseram blocos de solo-cimento com resistências superiores a 2,0 MPa.

A pesquisadora Valadão (2017), criou um artigo intitulado “Tijolo ecológico confeccionado com cédulas de dinheiro sem valor”, onde foi desenvolvido a confecção de tijolo solo-cimento com o emprego de cédulas sem valor monetário fornecidas pelo Banco Central do Brasil. Adotou-se na pesquisa substituição de até 25% do solo pelas cédulas, e todos os seus resultados alcançaram uma resistência acima de 1,7 MPa, conforme recomendação da norma ABNT NBR 8491 (2012).

Dantas (2020), realizou um estudo sobre o comportamento de tijolos de solo-cimento com substituição de solo por resíduos da construção civil. O trabalho teve como objetivo 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. Como resultado, verificou-se que

as substituições de solo pelos três tipos de resíduos promoveram melhorias nas propriedades mecânicas dos tijolos de solo-cimento e que todas as composições solo-resíduos estudadas atenderam os requisitos normativos para confecção.

3. METODOLOGIA

Com o intuito de aprofundar o conhecimento, esta pesquisa possui um caráter explicativo, apresentando suas definições, características, usos e vantagens. A princípio, foi elaborada uma análise preliminar acerca do tema da pesquisa, sendo abordadas informações ligadas a fabricação de tijolo ecológico solo-cimento com a adição de resíduos da construção civil. Em seguida, foi realizada uma coleta de dados a respeito dos tipos de resíduos sólidos da construção civil, organizando-se informações e dados da literatura dos últimos anos. Por último, o material colhido foi utilizado para a escrita do trabalho, ou seja, para compreender o método de fabricação do tijolo ecológico.

Segundo Sampaio, 2022, a pesquisa explicativa tem como foco buscar por explicações para diversos fenômenos e eventos, estando centrada nos porquês da problemática. Sendo assim, a pesquisa explicativa tem como objetivo elucidar as conexões causais entre as diferentes variáveis. Seus procedimentos básicos consistem no registro, classificação, identificação e aprofundamento da análise; ou seja, nos métodos quantitativos.

Foram utilizados como base de dados o Google Acadêmico, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Sendo assim, este trabalho fundamentou-se em artigos científicos, livros didáticos, teses e sites, levando-se em consideração na seleção destes, o enfoque principal na perspectiva da análise da resistência à compressão simples, absorção de água e custo do tijolo ecológico comparado ao custo do tijolo convencional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante o estudo, ficou ainda mais evidente que o tijolo ecológico é um método ecologicamente sustentável e que tem uma ótima viabilidade econômica para construções de residências de fácil execução. Nos trabalhos abordados nesse estudo trouxeram dados e resultados significativos acerca do assunto. Resultados esses, que servem como parâmetros para outros

trabalhos e assim serem discutidos e aprimorados com o intuito de chegar a novas soluções que sejam bem mais proveitosas.

Diante deste estudo, busca-se evidenciar que o tijolo ecológico é um método ecologicamente sustentável e que tem uma ótima viabilidade econômica para construções de residências de fácil execução. Nos trabalhos analisados neste tópico serão avaliados a resistência à compressão simples do bloco de tijolo, absorção de água do tijolo, custo de produção e comparar algumas características entre tijolos solo-cimento e tijolos convencionais. Sendo assim, a análise destas pesquisas traz dados e resultados significativos acerca do assunto. Resultados esses, que servem como parâmetros para outros trabalhos e assim serem discutidos e aprimorados com o intuito de chegar a novas soluções que sejam bem mais proveitosas.

4.1. Análise da resistência à compressão simples, absorção de água e custo de tijolos ecológicos

Morais (2021), realizou um estudo de caso utilizando agregados reciclados da construção civil triturado proveniente da empresa concessionária Eco Ambiental, no município de Cuiabá-MT. Nesse estudo, o autor objetivou compreender “Produção de tijolos prensados com agregados reciclados da construção civil”, no qual, os materiais utilizados para compor os tijolos foram: cimento, água e agregados reciclados da classe A. Moraes (2021), percebeu que, diante do estudo foi possível obter resultados satisfatórios ao analisar os dados obtidos em comparação com as normas utilizadas como referências.

Para a avaliação da resistência à compressão simples foi usada como referência a NBR 8492, (ABNT, 2012), na qual fala sobre a fabricação de Tijolos ecológicos de Solo-Cimento com Utilização de Prensa Manual ou Hidráulica - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Norma utilizada como parâmetro para tijolos ecológicos.

Foram utilizadas 6 (seis) unidades de tijolos para calcular a resistência, por idade de (7, 14, 28 e 180 dias), com a média expressa em MPa. Foi possível verificar através da Tabela 4, que os resultados obtidos estão em concordância com a norma NBR 8492, (ABNT, 2012), que recomenda após os 7 dias de idade limites de resistência para tijolos individuais $\geq 1,7$ e com média de resistência $\geq 2,0$ MPa.

Depois dos 7 dias de vida, os tijolos fabricados com agregados de resíduos da construção civil obtiveram os seguintes resultados:

Traço 1:7, média 4,25 MPa;

Traço 1:9, média 3,8 MPa;

Traço 1:11, média 2,88 MPa;

Traço 1:20, média 2,51 MPa.

Tabela 4 - Resistência à compressão em MPa – NBR 8492 (ABNT, 2012).

Idades	Traço 1:7	Desvio Padrão (%)	Traço 1:9	Desvio Padrão (%)	Traço 1:11	Desvio Padrão (%)	Traço 1:20	Desvio Padrão (%)
7 dias	4,25	0,94	3,8	0,17	2,88	0,13	2,51	0,199
14 dias	4,5	0,17	4,98	0,24	3,12	0,71	2,19	0,23
28 dias	4,75	0,25	4,5	0,62	3,1	0,55	2,51	0,103
180dias	5,503	0.169	4,4	0,109	3,76	0,186	2,2	0,186

Fonte: Moraes (2021).

Portanto, foi possível ver que a média de resistência em MPa para cada traço utilizado foi superior a 2,0 MPa, como requer a norma 8492, (ABNT, 2012). Diante do estudo, Moraes (2021), constatou que os tijolos produzidos com cimento e agregados de resíduos da construção civil (RCC), embora absorvam muita água, mostram-se resistentes e não apresentam fissuras em sua estrutura.

Para a absorção de água por imersão, de acordo com a NBR 8492, (ABNT, 2012): - Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio, a absorção média de água não pode ser superior a 20%, e nem apresentar valores individuais superiores a 22%.

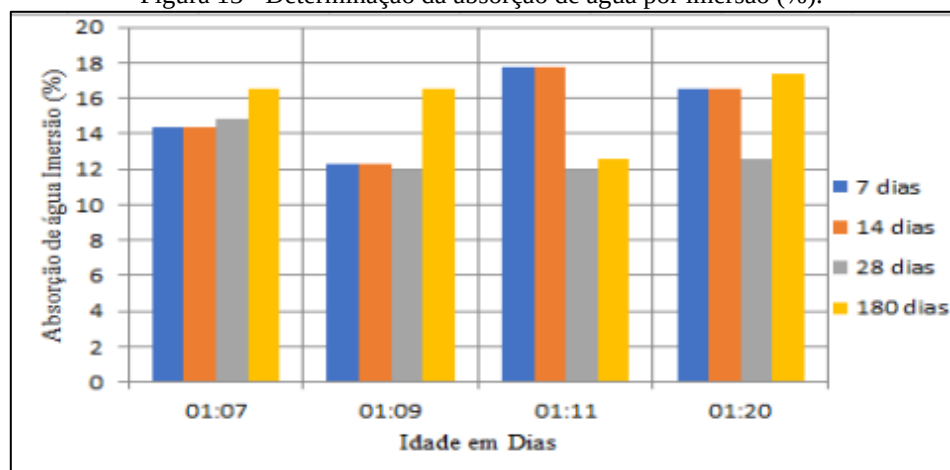
Os resultados para os ensaios de absorção de água por imersão obtidos por Moraes (2021), encontram-se na Tabela 5 e Figura 13 que representa a absorção de água em (%).

Tabela 5 - Determinação da absorção de água por imersão (%).

Traços	7 dias	14 dias	28 dias	180 dias
1:7	14,40	14,40	14,87	15,01
1:9	12,26	12,26	11,91	16,64
1:11	17,79	17,79	11,95	16,21
1:20	16,57	16,57	12,53	17,37

Fonte: Moraes (2021).

Figura 13 - Determinação da absorção de água por imersão (%).



Fonte: Moraes (2021).

Os resultados obtidos para os ensaios de absorção de água por imersão conforme os valores apresentados pelo autor, estão adequados com a NBR 8492, (ABNT, 2012), onde fala que os valores médios não devem ser superiores a 20%, nem apresentar valores individuais superiores a 22%.

Já para os resultados da massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada e massa específica real, Moraes (2021) obteve os seguintes resultados, demonstrados nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 - Determinação da massa específica da amostra seca (g/cm³).

Traços	7 dias	14 dias	28 dias	180 dias
1:7	2,15	2,15	2,27	2,22
1:9	2,11	2,11	2,23	2,16
1:11	2,12	2,12	2,44	2,17
1:20	1,94	1,94	1,78	2,14

Fonte: Moraes (2021).

De acordo com a Tabela 6 e comparando com a NBR 9778 (ABNT, 2009), Moraes (2021) pode observar que a massa específica do tijolo seco em todos os traços foi maior que comumente encontrado para os tijolos de solo-cimento que geralmente é de 1,86 g/cm³, conforme estudos da literatura, fato ocorrido devido a variedades dos materiais que compõem o agregado do resíduo da construção civil, nas misturas do seu estudo.

Os valores encontrados acompanharam as massas específicas de diversos materiais cimentícios que logo após de secos possuem massa específica compreendida entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³. Desse modo, o conhecimento destes dados é de suma importância para dimensionar a estrutura de uma construção.

Tabela 7 - Massa específica da amostra saturada (g/cm³).

Traços	7 dias	14 dias	28 dias	180 dias
1:7	2,46	2,46	2,6	2,6
1:9	2,37	2,37	2,55	2,53
1:11	2,5	2,5	2,8	2,53
1:20	2,26	2,26	2,16	2,51

Fonte: Moraes (2021).

Com os dados referente a Tabela 7, o autor percebeu que as amostras são passíveis de reter água, os resultados foram compatíveis devido, o agregado utilizado ser totalmente de origem reciclado, possuindo uma camada de argamassa aderida ao mesmo, o que lhe proporciona uma maior porosidade.

Tabela 8 - Massa específica real (g/cm³).

Traços	7 dias	14 dias	28 dias	180 dias
1:7	3,12	3,12	3,42	3,33
1:9	2,85	2,85	3,13	3,4
1:11	3,41	3,41	2,80	3,36
1:20	2,85	2,84	2,31	3,41

Fonte: Moraes (2021).

Com os dados obtidos na Tabela 8, a mistura dos agregados proporcionou resultados compatíveis com a massa específica dos agregados.

Por fim, Moraes (2021), analisou a viabilidade econômica do projeto verificando apenas o custo do agregado reciclado frente ao agregado natural praticado hoje na cidade de Cuiabá – MT, e obteve os seguintes resultados mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Planilha de custos de agregado natural e agregados reciclados.

AGREGADO NATURAL		
Itens	Unidade	Preço Unitário
Agregado graúdo – Brita BAG 01	m ³	R\$ 223,63
Agregado miúdo – Areia BAG 01	m ³	R\$ 198,00
AGREGADOS RECICLADOS		
Itens	Unidade	Preço
Aterro graúdo	m ³	R\$ 5,00
Aterro miúdo	m ³	R\$ 8,00
Areia reciclada	m ³	R\$ 15,00
Rachão	m ³	R\$ 5,00

Fonte: Moraes (2021).

Segundo Moraes (2021), que na pesquisa realizada do preço praticado pelo comércio de Cuiabá – MT, pode-se perceber o custo do agregado reciclado em relação ao agregado natural tendo valores significativos e que investir em tecnologia utilizando o agregado reciclado, além de economia e emprego, diminui o impacto ambiental, sendo mais um grande avanço sustentável.

Conclui-se também que o ensaio de absorção do agregado reciclado RCC, ficou evidenciada a dificuldade que muitos pesquisadores encontram para realizar esse tipo de ensaio, devido ao elevado nível de absorção e maior porosidade, diferentes dos agregados naturais.

Já em um estudo realizado por Lira (2020), que teve como objetivo estudar a viabilidade técnica na produção dos tijolos ecológicos com agregados reciclados de classe A e a importância empregabilidade do resíduo de classe A reciclados no setor construtivo. Foram realizados testes à compressão simples e absorção de água, também foi calculado o custo de produção do milheiro dos tijolos.

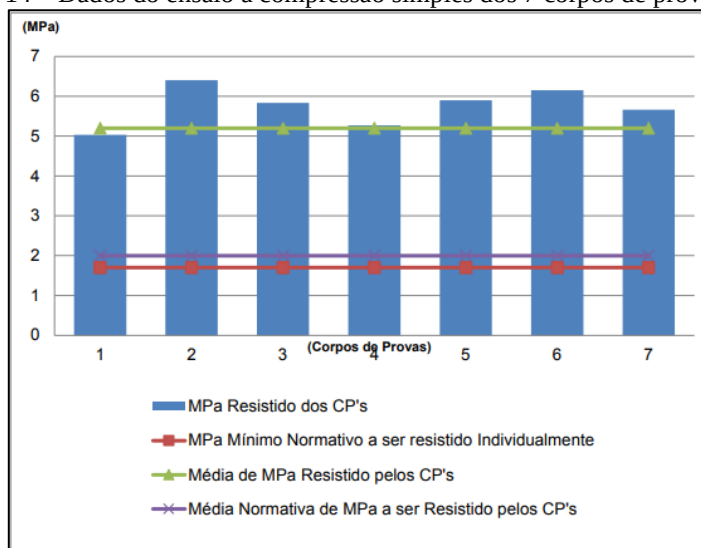
Com relação a resistência à compressão simples, o autor utilizou 7 corpos de prova com idade de 28 dias para realizar o ensaio. Os resultados estão descritos na Tabela 10 e Figura 14.

Tabela 10 - Resultados do ensaio de compressão simples dos 7 corpos de prova (MPa).

Corpo de Prova	Área (mm ²) *	Carga de ruptura		
		Kgf (cm ²) **	N	Tensão (MPa)***
01	16050,00	50,28	80692,57	5,03
02	16070,44	64,01	102861,89	6,40
03	16100,26	58,35	93937,80	5,83
04	16063,20	52,70	84654,07	5,27
05	16060,28	58,96	94689,30	5,90
06	16065,39	61,51	98822,56	6,15
07	16063,18	56,55	90837,85	5,66
Média				5,75

Fonte: Lira (2020).

Figura 14 – Dados do ensaio à compressão simples dos 7 corpos de prova (MPa).

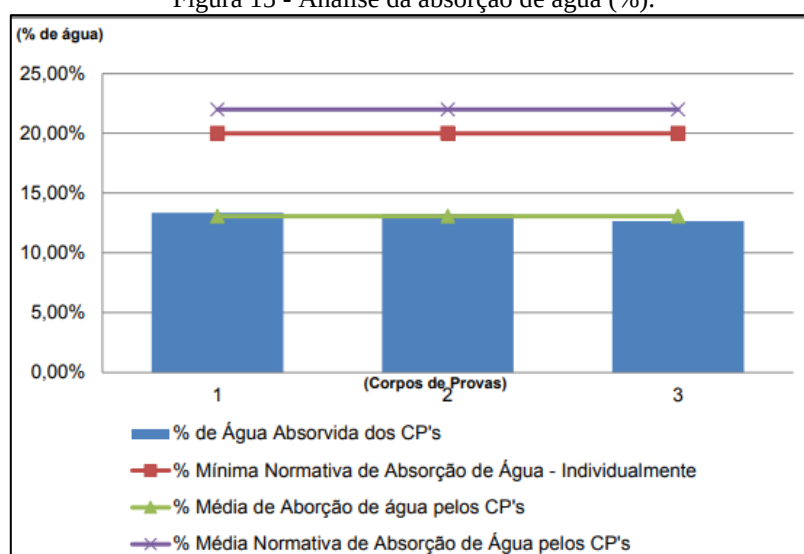


Fonte: Lira (2020).

Como visto nos resultados e dados referentes à compressão, os corpos passaram no teste estabelecido pela NBR 8492/2012.

Na análise da absorção de água do tijolo Figura 15, o autor obteve resultados satisfatórios, pois os 3 corpos de provas usados para o teste não atingiram o nível máximo de absorção, no qual a NBR 8492 (ABNT, 2012), solicita que os valores médios de absorção de água não cheguem a ultrapassar os 20%.

Figura 15 - Análise da absorção de água (%).



Fonte: Lira (2020).

Já o terceiro quesito referente ao custo de produção, Lira, 2020, calculou o valor gasto para poder produzir 1.000 tijolos ecológicos com agregados reciclados da classe A. O custo total está representado na Tabela 11.

Tabela 11 - Custo para a produção de 1.000 tijolos ecológicos.

Matéria Prima	Quantidade Necessária	Custo	Custo para Quantidade Necessária		Valor final para produção*
Solo	1 m³	R\$ 30,00	1 x R\$30,00	R\$ 30,00	R\$ 322,60
Agregado reciclado de RCC classe A ($\leq 4,8\text{mm}$)	1,3 m³	R\$ 25,00	1,3xR\$25,00	R\$ 32,50	
Cimento CP-V	9 sacos	R\$ 22,90	9 x R\$22,90	R\$ 260,10	

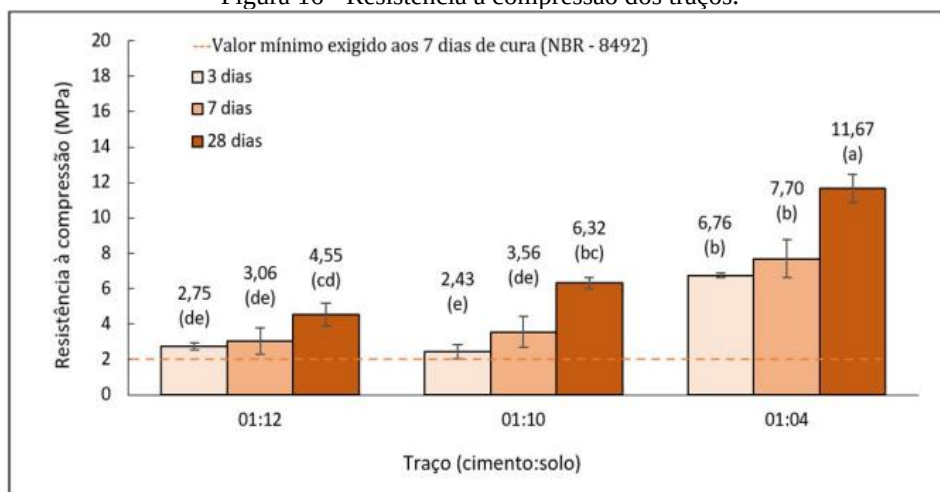
Fonte: Lira (2020).

Ao concluir seu estudo, Lira, 2020, pode perceber que os tijolos atenderam aos requisitos normativos e que corroboram para a sustentabilidade, pois quando transforma resíduos de classe A em novos artefatos para alvenaria de vedação, há uma redução de extração das matérias primas convencionais e estes agregados reciclados advindos do resíduo da construção civil (RCC) apresentaram-se mais baratos quando comparados com os agregados naturais convencionais.

Em outro trabalho, realizado por Sousa e Tavares (2023), teve como objetivo investigar a elaboração de composições de tijolos de solo cimento utilizando resíduos da construção civil (RCC) e o beneficiamento do caulim (RBC) do Amapá. Foi previamente preparado um solo artificial a partir da mistura desses resíduos, produzindo, então, um solo artificial no qual foi aplicado na formulação de três traços (cimento:solo artificial):1:10, aplicado como controle, e as variações 1:12 e 1:4. As matérias-primas foram caracterizadas via difração de raios X (DRX) e os tijolos foram testados quanto à resistência à compressão (RC) e absorção de água (AA) após cura durante os períodos de 3, 7 e 28 dias.

Os valores médios obtidos para a resistência à compressão desse estudo estão representados na Figura 16. Como era de se esperar, as médias das resistências aumentaram em função do teor de cimento e tempo de cura, o que é correlacionado com a formação de etringita que colabora no fechamento dos poros. Destaca-se que todos os traços apresentaram valores acima do mínimo exigido pela norma 8492, (ABNT, 2012).

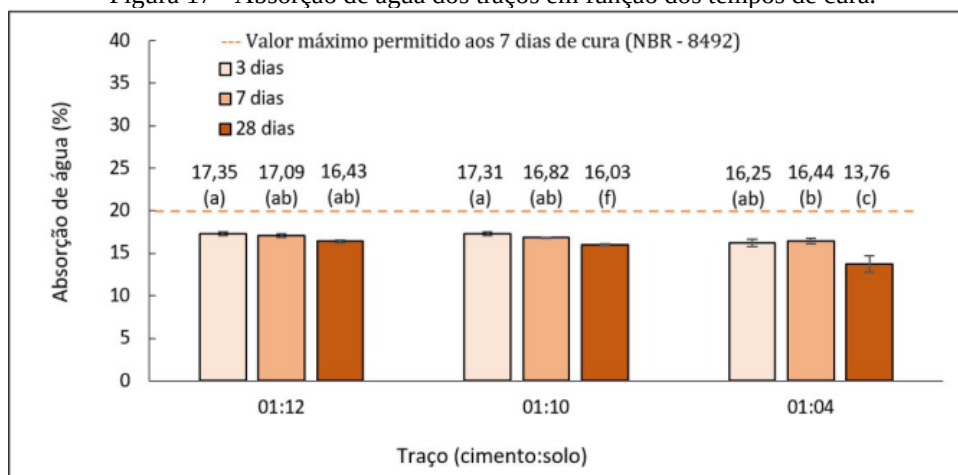
Figura 16 - Resistência à compressão dos traços.



Fonte: Sousa e Tavares (2023).

Já os valores médios obtidos no estudo, em relação à absorção de água dos tijolos, estão ilustrados na Figura 17. Resumidamente, os resultados mostraram que a absorção de água diminui proporcionalmente com o prolongamento do tempo de cura e principalmente com o aumento da proporção do cimento. O resultado é uma consequência da cura do cimento, cujo processo forma compostos como a etringita, que crescem fechando os vazios, permitindo, assim, uma menor absorção de água. Por fim, todos resultados atenderam de forma satisfatória o exigido pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012), onde estabelece que os valores médios para a absorção de água não cheguem a ultrapassar 20%.

Figura 17 - Absorção de água dos traços em função dos tempos de cura.



Fonte: Sousa e Tavares (2023).

Diante o estudo, os autores Sousa e Tavares (2023), observam que o emprego de 30% do RBC como argila e 70% do RCC como areia mostrou-se eficiente na preparação do solo artificial. Analisaram também que, apesar do traço 1:4 tenha trago os melhores valores médios para resistência à compressão e absorção de água, a aplicação do traço 1:12 revelou-se mais conveniente, já que utiliza uma quantidade menor de cimento e maior dos resíduos na formulação dos tijolos. Portanto, concluíram que a aplicação dos resíduos estudados no trabalho simboliza um grande potencial para o desenvolvimento econômico e social do estado do Amapá, podendo colaborar com a diminuição de resíduos via a construção de moradias populares.

Outro trabalho bastante interessante foi o de Araújo, Junior, Santos (2023), que teve como tema: Estudo Comparativo Entre os Métodos do Tijolo Ecológico e do Bloco Cerâmico na Construção Sustentável de Residências Populares do Brasil. Tendo como objetivo, evidenciar os critérios socioeconômicos da escolha do tijolo ecológico para a construção sustentável de residências populares, comparando os gastos de construção do bloco de tijolo ecológico com o bloco cerâmico em uma residência unifamiliar.

Para demonstrar os dados da pesquisa, o autor adotou um projeto de uma residência térrea com 69 m² de área construída com o método do tijolo ecológico em um terreno de 250 m², essa área construída foi a base pra elaborar o orçamento dos dois métodos construtivos da comparação econômica. A apresentação dos resultados se deu através da montagem de quadros de dados com descrição de valores orçamentários, que possibilitaram discursões dos resultados de forma clara e objetiva. Como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de cada etapa construtiva.

QUADRO DE ETAPAS DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS			
ETAPAS CONTRUTIVAS		VALORES	
ITEM	SERVIÇOS	BLOCO CERÂMICO COM MÃO DE OBRA	TIJOLO ECOLÓGICO SEM MÃO DE OBRA
1.0	Serviços Preliminares	R\$ = 3.750,00	R\$ = 2.252,00
2.0	Infraestrutura	R\$ = 4.089,84	R\$ = 2.786,35
3.0	Superestrutura	R\$ = 9.285,43	R\$ = 3.966,31
4.0	Alvenaria	R\$ = 7.249,35	R\$ = 7.060,47
5.0	Esquadrias	R\$ = 2.450,00	R\$ = 2.450,00
6.0	Cobertura	R\$ = 5.377,40	R\$ = 5.377,40
7.0	Instalações Hidráulicas	R\$ = 3.488,09	R\$ = 3.488,09
8.0	Instalações Elétricas	R\$ = 1.450,15	R\$ = 1.450,15
9.0	Revestimento Interno	R\$ = 5.175,10	R\$ = 1.138,32
10.0	Revestimento Externo	R\$ = 3.801,99	R\$ = 642,00
11.0	Pintura	R\$ = 3.442,55	-
12.0	Piso	R\$ = 3.907,88	R\$ = 3.907,88
13.0	Teto	R\$ = 315,32	R\$ = 315,32
14.0	Serviços Complementares	R\$ = 350,00	R\$ = 150,00
15.0	Valores Totais	R\$ = 54.132,84	R\$ = 34.984,28

Fonte: Araújo, Junior, Santos (2023).

Como podemos observar, os custos totais do método do tijolo ecológico não têm na sua composição do projeto modelo, a mão de obra, devido ter sido executado pelo próprio autor do projeto para criar a sua própria composição de preços de materiais e execução de serviços. Os autores estimam que o valor da mão de obra no período da execução seja aproximadamente de 25 % do valor da obra, sendo em torno de R\$8.746,07 mais ou menos. Somando os R\$34.984,28 com os R\$8.746,07 o custo seria de R\$43.730,35. Como podemos ver, o tijolo ecológico ainda sai mais em conta.

Os autores concluíram que o tijolo ecológico em relação ao bloco cerâmico, é a melhor opção para construções sustentáveis de casas populares. E que devido ainda ser um método construtivo relativamente novo no mercado, dificulta bastante as elaborações de orçamentos e composições mais detalhadas para os comparativos de custo benefício, mesmo que ainda tenha muito que avançar como método construtivo sustentável, esse método no Brasil vem crescendo na medida que vai ganhando mais espaço no mercado e na conscientização da população em optar por obras mais limpas e sustentáveis.

4.2. Características entre tijolos solo-cimento e tijolos convencionais

Pereira e Pezzuto (2010), falam da importância dos tijolos, os quais passaram a ser estudados apenas a partir da regulamentação pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), em 1936. No passado, geralmente eles eram empregados na confecção de base e sub-base para pavimentos de vias.

Diante deste contexto, também é essencial abordar as suas características positivas e negativas. Como benefícios, Motta (2014) cita o processo de fabricação simplificado, podendo assim englobar a parcela de população que não têm muitos recursos, além de ser um produto fabricado com insumo de grande abundância e a não liberar gases poluentes na hora do processo de fabricação. Conforme este mesmo autor, além destas, tem-se também como vantagens dos tijolos ecológicos:

- o tijolo pode ficar à vista, sem necessitar de reboco e pintura;
- as tubulações podem ser instaladas durante a execução das paredes, pois os tijolos apresentam furos que possibilitam a passagem;
- não são necessárias madeiras para fôrmas;
- isolamento térmico e acústico;
- fácil acabamento final;
- pesam menos que os convencionais, diminuindo o dimensionamento de outras partes da estrutura, como a fundação.

Com relação a desvantagens, Motta (2014) aponta o processo de coleta do solo, que quando elaborado sem o devido cumprimento dos padrões ambientais exigidos, implicam no surgimento de processos erosivos, e também a dosagem do traço, quando feita de forma equivocada pode trazer manifestações patológicas para a construção. Além destas, o autor cita as seguintes desvantagens:

- falta de padronização no processo de fabricação;
- variação referente a composição do solo, afetando a qualidade final;
- restrições para remover paredes;
- dificuldade nas mudanças de instalações hidráulicas e elétricas.

Dessa forma, é notória a demanda de estudos que façam esta comparação, pois com os parâmetros adequados é possível avaliar a melhor escolha para cada tipo de tijolo. Igual a todos os

elementos da construção, o tijolo ecológico dispõe vantagens e desvantagens que também devem ser levadas em consideração na hora da escolha.

5. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho apresentaram análises obtidas através de uma revisão bibliográfica, na qual buscou estudar e compreender os efeitos da adição dos resíduos sólidos na fabricação de tijolos ecológicos. Diante a revisão, pode-se perceber que os tijolos ecológicos contribuem de forma significativa para a diminuição dos impactos ambientais e para o avanço de novas pesquisas relacionadas à construção de novos tipos de tijolos ecologicamente sustentáveis.

Optar pela escolha de agregados reciclados dos resíduos sólidos da construção civil para a confecção de tijolos é uma opção sustentável e viável, uma vez que não sejam extraídos recursos naturais. Tendo em vista, aproveitar esses materiais que podem ser reutilizáveis evita o acúmulo de sedimentos nos aterros sanitários; valorizando a área urbana; diminui a extração de matérias primas evitando o desmatamento e minimiza a contaminação do solo e dos lençóis freáticos.

Além disso, é necessário também que as grandes e pequenas empresas de construção civil possam adotar sistemas e práticas com medidas rigorosas para evitar descartes inadequados de resíduos no meio ambiente. Esse fator é fundamental para promover uma sustentabilidade e minimizar os impactos negativos desse setor na natureza. Adotando práticas e medidas corretas, as empresas da construção civil podem desempenhar um papel fundamental nas reduções dos impactos no ambiente e na promoção da sustentabilidade em suas operações. Isso não apenas beneficia o meio ambiente, mas também pode trazer economias de custos e melhorias na reputação da empresa.

Foi possível observar que os trabalhos pesquisados e analisados obtiveram resultados satisfatórios e importantes para o estudo. Os diferentes trabalhos abordados neste estudo trouxeram dados significativos quanto à resistência à compressão, absorção d'água e custo de fabricação, no qual, a resistência dos tijolos e absorção d'água atingiram valores médios cumprindo o que as normas exigem. Com relação ao custo de fabricação, as pesquisas mostraram uma boa redução de custo na produção dos tijolos ecológicos, quesitos importantes para a economia em uma construção.

Diante desta pesquisa, mesmo podendo observar pontos positivos na fabricação de tijolos ecológicos, sugere-se que novos estudos e pesquisas sejam elaborados recorrentemente, para assim conseguir resultados melhores que proporcionem ótimas qualidades dos materiais e diminuição da degradação da natureza. O objetivo de tais pesquisas seria dar uma destinação adequada para esses resíduos e, assim, desenvolver um tijolo que atenda aos padrões normativos semelhantes ou até melhor que a dos tijolos convencionais, podendo ser utilizado na construção civil de forma abrangente.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. (2020). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ALVES, Daniel Oliveira Silva. MARTINS, Roseli Oliveira Guedes. **Armazenamento, destinação e uso dos resíduos de gesso na construção civil: uma revisão bibliográfica**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano. 06, Ed. 12, Vol. 02, pp. 123-139. Dezembro de 2021. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/residuos-de-gesso>. Acesso em: 20 set. 2023.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/repositorio/3/3146/tde-05102005-112833/pt-br.php>. Acesso em: 20 set. 2023.

ARAÚJO, T. M. DE. **Estudo da potencialidade do arisco na produção de tijolos maciços estabilizados com cimento Portland e teores de carago, cal hidratada e metacaulim**. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/54847>>. Acesso em: 27 set. 2023.

ARAÚJO, M. H. M.; JUNIOR, R. R. DE S.; SANTOS, L. DE C. Estudo comparativo entre os métodos do tijolo ecológico e do bloco cerâmico na construção sustentável de residências populares no Brasil. **REVISTA DA FAESF**, v. 5, n. 1, 15 fev. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:2004 Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006:2004 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007:2004 – Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833 (2013). Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834:2013 Bloco de solo cimento sem função estrutural – Requisitos**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578:1991 – Cimento Portland Composto.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5732: 1991 – Cimento Portland Comum.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733:1991 – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5735:1991 – Cimento Portland de Alto-Forno.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5736:1991 – Cimento Portland Pozolânico.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457:2016 Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459:2016 Solo – Determinação do Limite de Liquidez.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502/2022: Solos e rochas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508:1984 Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180:2016 Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181:2016 Solo – Análise Granulométrica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: Tijolo de solo-cimento – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492:2012. Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778:2009. Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

BARRETO, S. S. Fabricação de tijolos prensados de solo-resíduos-cimento e avaliação de desempenhos térmico e acústico. epositório.unesp.br, 13 mar. 2020.

CARDOSO, L. M. **Tudo sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Publicado em 29 de setembro 2017. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>. Acesso em: 14 ago. 2022.

CBIC. (2020). **PIB Brasil e Construção Civil**. <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em: 01 out. 2023.

CHIABI, M. **Saiba mais sobre reciclagem de madeira**. Publicado em 23 de março de 2022. Disponível em: <http://blog.cicloorganico.com.br/sustentabilidade/saiba-mais-sobre-reciclagem-de-madeira/>. Acesso em: 17 out. 2023.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**, p. 805-809. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 431, 2011**. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 20 set. 2023.

CONSTRUÇÃO, M. **Gerenciamento de resíduos: por que implementar na construção civil?** 20 junho, 2018. Disponível em: <https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/gerenciamento-de-residuos-na-construcao-civil/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

DANTAS, N. K. P. D. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DE SOLO POR RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. repositorio.ifgoiano.edu.br, 22 abr. 2020. Disponível em: instituto federal de educação, ciência e tecnologia goiano - campus rio verde (ifgoiano.edu.br). Acesso em: 03 out. 2023.

DA SILVA, V. G. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica**. São Paulo, 2003. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27205.65766>. Acesso em: 17 set. 2023.

DELLACORT, Rivanildo; LIMA JUNIOR, Humberto C.; WILLRICH, Fábio L.; BARBOSA, Normando P. **Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído**. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande: UFCG, 2002.

ECOCASA. **Tijolo solo-cimento**. Publicado em 31 de agosto de 2014. Disponível em: <https://www.ecocasa.com.br/tijolo-solo-cimento/>. Acesso em: 14 ago. 2022.

EUPHROSINO, C. A., JACINTHO, A.E.P.G.A.; PIMENTEL, L.L., et al. **Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária**. **Revista Matéria**, v.27, n.1, 2022.

Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais. São Paulo: ABCP, Boletim Técnico BT-111, 1985, 5p.

FERNANDADG. **Tijolo Ecológico – Características e Vantagens.** Disponível em: <<https://dicasdearquitetura.com.br/tijolo-ecologico/#gsc.tab=0>>. Acesso em: 6 out. 2023.

GOMES, A. C. F. **Aplicação de rejeito de mineração de ouro na produção de tijolo de solo-cimento.** repositorio.ufmg.br, 22 mar. 2021.

JARFEL. **Prensa Profissional Manual.** Disponível em: <<https://www.jarfel.com.br/prensa-para-tijolos-ecologicos/prensa-profissional-manual-para-tijolos-ecologicos/>>. Acesso em: 29 set. 2023.

LEONEL, R.F., FOLGUERAS, M.V., DALLA VALENTINA, L.V.O., et al., **Caracterização de tijolos de solo-cimento com incorporação de areia descartada de fundição, Cerâmica**, v. 63, pp. 329-335, 2017.

LIRA, D. S. DE. **Tijolos ecológicos: estudo de viabilidade técnica no uso de agregados reciclados de resíduos da construção civil classe A.** repositorio.ufscar.br, 27 fev. 2020. Acesso em: 17 out. 2023.

Mattes, M. (2019). **A construção civil e o desenvolvimento sustentável.** Vivagreen. Disponível em: <<https://vivagreen.com.br/greenarq/construcao-civil-eo-desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em: 18 out. 2023.

MELO, Karine. **Estimativa do PIB da construção civil cresce pela segunda vez este ano.** Agência Brasil, Brasília, 25 julho, 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-07/estimativa-do-pib-da-construcao-civil-cresce-pela-segunda-vez-este-ano>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

MIRANDA, Christian Matias. **Estudo de tijolos de solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição.** 88 f. Monografia (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

MOBUSSCONSTRUÇÃO. **Desperdícios na construção civil e seus impactos.** Disponível em: <https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/desperdicios-na-construcao-civil/>. Acesso em: 14 ago. 2022.

MORAES, Benedito Ilmar de. **Produção de tijolos prensados com agregados reciclados da construção civil: estudo de caso em Cuiabá - MT.** 2021. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 08 jan. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/2954>. Acesso em: 29 set. 2023.

MOTTA, J. C. S. S. et al. **Tijolo de solo-cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis.** Revista e-xacta, Belo Horizonte, v.7, n.1, p. 13- 26, 2014.

NASCIMENTO, E. S. S., et al., **Soil-cement brick with granite cutting residue reuse**, *Journal of Cleaner Production*, 321, p.8, (2021).

OLIVEIRA, E. D. **Economia verde, economia ecológica e economia ambiental: uma revisão**. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, [S. l.], v. 13, n. 6, 2017. DOI: 10.22292/mas.v13i6.751. Disponível em: <https://revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/751>. Acesso em: 17 set. 2023.

PAULA JUNIOR, A. C., et al., **Analysis of the effect of incorporating construction and demolition waste on the environmental and mechanical performance of earth-based mixtures**, *Construction and Building Materials*, 330, p.17, (2022).

PEREIRA, D. B; Pezzuto, C.C. **Estudo do solo-cimento para a fabricação de tijolos ecológicos**. In: Encontro de Iniciação Científica, 15., 2010, Campinas. Anais, Campinas: [s/n], 2.p, 2010.

PIPACASA. **Tutorial de Produção do Tijolo Ecológico Solo-Cimento**. Disponível em: <https://www.pipacasa.com.br/>. Acesso em 18 ago. 2022.

PNUMA, 2011, p.17. **Rumo à economia verde: caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza**. Relatório. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Disponível em: http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/Green_Economy_full_report_pt.pdf. Acesso em: 16 set. 2023.

REDAÇÃO. **Resolução 448/2012 do CONAMA - Resíduos da Construção Civil, artigo de Antonio Silvio Hendges**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2012/06/12/resolucao-4482012-do-conama-residuos-da-construcao-civil-artigo-de-antonio-silvio-hendges/#:~:text=%5B%20EcoDebate%5D%20A%20resolu%C3%A7%C3%A3o%20448%20de%2018%20de>. Acesso em: 21 set. 2023.

Resíduos sólidos -Classificação. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT_NBR_n_10004_2004.pdf. Acesso em: 20 ago. 2023.

Rio Mais 20. **Toda Matéria**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/rio-mais-20/>. Acesso em: 18 out. 2023.

SAMPAIO, T. B. **Metodologia da Pesquisa**. [s.l.] Brasil, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/26138>. Acesso em: 18 out. 2023.

SAMSON, Bárbara Pereira. **Gestão de resíduo e tecnologia ambiental na fabricação de tijolos solo-cimento**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/9092>. Acesso em: 20 set. 2023.

SANTANA, S. J.; CARVALHO, X. A.; FARIA, A. R. **Tijolo Ecológico versus Tijolo Comum: benefícios ambientais e economia de energia durante o processo de queima**. Mato Grosso: IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2013. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/II-005.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

SCHALCK, V., et al. **Resíduos Sólidos: Conceitos, Gestão e Gerenciamento**, 1ª Ed., Elsevier, Rio de Janeiro, 2019, p.579.

SILVA, B. S. DA et al. **Tijolo de solo-cimento: incorporação de resíduos e viabilidade na construção civil no Brasil**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 2, p. e19011225605, 22 jan. 2022.

SOUSA, L. R. DE; TAVARES, F. F. DA C. **Tijolo de solo-cimento com resíduos sólidos: Uma oportunidade para construção de casas populares em Macapá, AP**. *Cerâmica industrial*, v. 28, n. 1, p. 1–7, 2023.

Temas — Rio + 20. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20/temas.html>. Acesso em: 17 set. 2023.

VALADÃO, Izabella Christynne Ribeiro Pinto et al. **Tijolo ecológico confeccionado com cédulas de dinheiro sem valor**. *Semioses*, [s.l.], v. 11, n. 4, p.1-7, 26 dez. 2017. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta -UNISUAM. <http://dx.doi.org/10.15202/1981996x.2017v11n4p64>.