



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS SERRA TALHADA**

GLEYDS MIKAELLY MELO LIMA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO, FABRICADOS
EM TRIUNFO – PE, COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS E CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

SERRA TALHADA

2023

GLEYDS MIKAELLY MELO LIMA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO, FABRICADOS
EM TRIUNFO – PE, COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS E CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Serra Talhada, com requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Elivelthon Carlos do Nascimento

SERRA TALHADA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732 Lima, Gleyds Mikaelly Melo.

Avaliação das propriedades de tijolos solo-cimento, fabricados em Triunfo – PE, com adição de resíduos e construção e demolição / Gleyds Mikaelly Melo Lima. - Serra Talhada, 2023.
76 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Serra Talhada, 2023.
Orientação: Prof. Msc. Eivelthon Carlos do Nascimento.

1. Construção Civil. 2. Materiais alternativos. 3. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 690

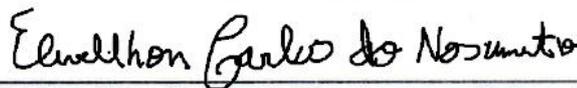
GLEYDS MIKAELLY MELO LIMA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO,
FABRICADOS EM TRIUNFO – PE, COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS E
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

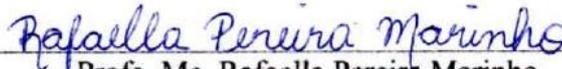
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Serra Talhada, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em: 20 / 12 / 2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Elivelthon Carlos do Nascimento - Orientador(a)
IF Sertão PE – Serra Talhada



Profa. Me. Rafaella Pereira Marinho
Examinadora Interna (IFSertãoPE – Campus Serra Talhada)



Prof. Me. Nilberte Muniz de Sousa
Examinador Externo (Escola Técnica Estadual Professora Célia Siqueira)

SERRA TALHADA

2023

DEDICATÓRIA

Para aqueles que sempre estiveram comigo:
Givaldo, Gleides, Gêssica e Guilherme. Eu amo vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem ele jamais estaria aqui;

Aos meus corações fora do peito, Givaldo (Painha) e Gleides (Mainha) por todo incentivo, por sempre se fazerem presentes e não medirem esforços para me ajudar e por todo amor incondicional;

À minha metade, Géssica (Irmã) por dividir as alegrias e tristezas e por nunca ter me deixado desistir e me mostrar que nunca estarei sozinha;

Ao meu afilhado, Guilherme, por me tirar um sorriso nos dias mais cansativos;

A toda minha família que sempre me apoiou e acreditou em mim;

À minha amiga, Laura, por sempre me fazer enxergar o melhor lado das coisas;

Aos meus amigos que me ajudaram e apoiaram no decorrer da minha graduação, principalmente: Carol, Livia, Matheus, Thainara, Thalles, Alexandre, Rangel, Johnny, Ryan, Vinicius, Amanda, Fabrícia e Monike. Vocês foram fundamentais nessa trajetória, tenho muito orgulho de cada um e plena convicção que terei os melhores colegas de profissão.

Aos professores que conseguiram disseminar o conhecimento com toda excelência e competência devida, em especial meu orientador Prof. Elivelthon.

Aos que me ajudaram imensamente na realização dos ensaios: Higor, Glauber, Miguel e aos estagiários.

A toda equipe da EcoTriunfo pela disponibilidade e ajuda.

E a cada um que me ajudou.

Muito obrigada, isso é uma conquista nossa!

RESUMO

A indústria da construção é reconhecida por causar significativos impactos ambientais. Contudo, desempenha um papel fundamental na economia de um país em desenvolvimento, tornando essencial a implementação de processos e materiais mais eficientes, eficazes e econômicos. Um dos principais impactos ambientais está relacionado à extração da matéria-prima utilizada no setor. Especificamente, a produção de blocos cerâmicos tradicionais provoca impactos decorrentes da extração do solo e da queima necessária para seu cozimento, sendo os tijolos solo-cimento uma alternativa para esse material. Neste sentido o presente trabalho objetivou avaliar a caracterização física e mecânica dos tijolos solo-cimento em Triunfo – PE com a viabilidade no aumento de desempenho a incorporação de resíduo de construção e demolição (RCD) de 10%, 20%, 30%, 50% e 100% ao solo utilizado. Foi possível averiguar a qualidade do solo (S100), juntamente com a do RCD (R100) e de seus compósitos (S90R10, S80R20, S70R30, S50R50), constatando uma irregularidade na caracterização física tanto no solo quanto no RCD, ambos arenosos e sem plasticidade. Os ensaios de resistência a compressão, aos 21 e 28 dias de idade, apresentaram uma melhoria significativa na resistência de todas as misturas. Apesar do padrão de aumento da resistência com adição do RCD, ao decorrer dos dias é possível notar um aumento na resistência do S90R10 de 2,72 MPa aos 21 dias para um valor médio aos 28 dias de 3,20 MPa, seguido da utilização do S70R30 com 2,87 MPa. A diminuição de resistência no R100 se justifica pela divergência da quantidade de tijolos analisados para calcular a média aos 21 e 28 dias, pressupondo que seu desempenho se mantenha na mesma tendência das demais misturas sua resistência também aumentaria. O ensaio de absorção dos tijolos R100 (9,51%), S70R30 (10,51%) e S90R10 (10,59%) obtiveram as menores taxas, confirmando o conceito de compactidade. O resultado com maior porcentagem média se deteve ao S100 com 14,73%, já os compósitos S80R20 (11,16%) e S50R50 (11,27%) apresentaram um aumento da porcentagem de absorção de água, porém todos encontram-se adequados as exigências impostas pela NBR 8491 (ABNT, 2012). Neste sentido, conclui-se que a reutilização de resíduos gerados pela construção civil consiste em um importante aspecto de sustentabilidade, uma vez que insere uma nova ótica destes RCD e sua reutilização perante a sociedade aplicadas ao fator ecológico do tijolo solo-cimento, que com essa incorporação apresenta um aumento significativo de resistência.

Palavras-Chave: construção civil; materiais alternativos; sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry is known for causing significant environmental impacts. However, it plays a key role in the economy of a developing country, making it essential to implement more efficient, effective, and cost-effective processes and materials. One of the main environmental impacts is related to the extraction of the raw material used in the sector. Specifically, the production of traditional ceramic blocks causes impacts resulting from the extraction of the soil and the burning necessary for its firing, with soil-cement bricks being an alternative for this material. In this sense, the present work aimed to evaluate the physical and mechanical characterization of soil-cement bricks in Triunfo - PE with the feasibility of increasing the performance of the incorporation of construction and demolition waste (CDW) of 10%, 20%, 30%, 50% and 100% to the soil used. It was possible to verify the quality of the soil (S100), together with that of the CDW (R100) and its composites (S90R10, S80R20, S70R30, S50R50), verifying an irregularity in the physical characterization of both the soil and the CDW, both sandy and without plasticity. The compressive strength tests, at 21 and 28 days of age, showed a significant improvement in the strength of all mixtures. Despite the pattern of increased strength with the addition of RCD, over the course of the days it is possible to notice an increase in the strength of S90R10 from 2.72 MPa at 21 days to an average value at 28 days of 3.20 MPa, followed by the use of S70R30 with 2.87 MPa. The decrease in strength in R100 is justified by the divergence of the amount of bricks analyzed to calculate the average at 21 and 28 days, assuming that its performance remains in the same trend as the other mixtures, its resistance would also increase. The absorption test of the bricks R100 (9.51%), S70R30 (10.51%) and S90R10 (10.59%) obtained the lowest rates, confirming the concept of compactness. The result with the highest average percentage was S100 with 14.73%, while the composites S80R20 (11.16%) and S50R50 (11.27%) showed an increase in the percentage of water absorption, but all are adequate to the requirements imposed by NBR 8491 (ABNT, 2012). In this sense, it is concluded that the reuse of waste generated by civil construction is an important aspect of sustainability, since it inserts a new perspective of these CDW and their reuse before society applied to the ecological factor of the soil-cement brick, which with this incorporation presents a significant increase in resistance.

Keywords: civil construction; alternative materials; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Variação do PIB Construção Civil X PIB Brasil (Taxa acumulada ao longo do ano em relação ao mesmo período do ano anterior).....	15
Figura 2 - Tripé da sustentabilidade	16
Figura 3 - Projeto Creche Municipal Hassis – Florianópolis (SC).....	17
Figura 4 - Checklist de viabilidade para certificação	18
Figura 5 – Modelo de inovação na Creche Hassis.....	20
Figura 6 – Ciclo da logística reversa	22
Figura 7 – Empresa Ciclo Ambiental	23
Figura 8 - Cerâmica Tradicional.....	25
Figura 10 - Disposição final adequada x inadequada de RSU no Brasil (t/ano e %)	27
Figura 11 – Resíduos de Construção Civil (Classe A)	28
Figura 12 - Linha do tempo com histórico sobre solo cimento	32
Figura 13 - Instalações embutidas com o uso do tijolo solo-cimento	34
Figura 14 – Etapa de decantação.	35
Figura 15 – Processo de cura de tijolos solo-cimento com adição de lodo.....	36
Figura 16 - Tijolos Adobe com aditivo, moldes e processo de cura.....	38
Figura 17 - Bucha vegetal.....	39
Figura 18 – Tijolo de solo-cimento com fibras de bucha	39
Figura 19 – Localização do município de Triunfo	40
Figura 20 - Média Pluviométrica (2017 a 2022) - Triunfo.....	41
Figura 21 – Fluxograma com etapas da pesquisa	43
Figura 22 – Localização das áreas estudadas	45
Figura 23 – Prensa manual e hidráulica, respectivamente.....	45
Figura 24 – Jazida do estudo	46
Figura 25 – Resíduos descartados durante a fabricação das manilhas de concreto.....	48
Figura 26 – Coleta de RCD	48
Figura 27 – Granulometria por peneiramento	49
Figura 28 – Granulometria por sedimentação	49
Figura 29 – Produção dos tijolos	51
Figura 30 - Tijolo produzido após prensagem.....	52
Figura 31 – Tijolos na estufa	53

Figura 32 – Tijolos dispostos em água	53
Figura 33 – Preparo da pasta niveladora	54
Figura 34 – União entres faces	54
Figura 35 – Capeamento dos tijolos	54
Figura 36 - Disposição do tijolo na máquina de ensaio à compressão	55
Figura 37 – Curva Granulométrica (Porcentagem que passa X Diâmetro dos grãos).....	57
Figura 38 - Média do Ensaio à compressão aos 21 dias (Valores em em MPa).....	63
Figura 39 - Média do Ensaio à compressão aos 28 dias (Valores em MPa).....	63
Figura 40 – Comparativo de resistência 21 dias X 28 dias (Valores em MPa)	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Certificações utilizadas na construção civil.....	21
Tabela 2 – Análise de misturas utilizadas em pesquisas de outros autores	47
Tabela 3 - Fração granulométrica dos materiais	56
Tabela 4 – Densidade real dos grãos em g/m ³	58
Tabela 5 - Análise dimensional (mm) - Valores médios	59
Tabela 6 - Índice de Absorção de Água	60
Tabela 7 – Resultados individuais de Resistência à Compressão aos 21 dias de idade.....	61
Tabela 8 – Resultados individuais de Resistência à Compressão aos 28 dias de idade.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BTC	Bloco de terra comprimido
CBC	Cinza de bagaço-de-cana de açúcar
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COVID 19	Corona Vírus Disease
ETA	Estação de Tratamento de Água
GBC Brasil	Green Building Council Brazil
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design - Liderança em Energia e Design Ambiental
ME	Microempresa
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de construção e demolição
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SiAC	Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil
TSC	Tijolo de solo comprimido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13-14
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Sustentabilidade	15-17
2.1.1 Certificações ambientais.....	17-18
2.1.1.2 Green Building Council Brasil (GBC Brasil).....	18
2.1.1.3 Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).....	19-20
2.1.2 Programas de incentivo a sustentabilidade.....	20-21
2.2 Construção civil e meio ambiente	21-24
2.3 Materiais cerâmicos na construção Civil	24-26
2.4 Resíduos de construção e demolição (RCD)	26-30
2.5 Tijolo solo-cimento na construção civil	30
2.5.1 Vantagens e desvantagens do tijolo solo-cimento.....	34
2.6 Pesquisas com tijolos solo-cimento	34-35
2.6.1 Lodo.....	35-37
2.6.2 Cinza de bagaço-de-cana de açúcar (CBC).....	37-38
2.6.3 Fibras vegetais.....	38-39
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	40-41
3.1 Aspectos climáticos	41
4. METODOLOGIA	42-43
4.1 Revisão bibliográfica	44
4.2 Caracterização	44
4.2.1 Caracterização da empresa.....	44-46
4.2.2 Caracterização da jazida de extração.....	46
4.3 Definição dos percentuais dos compósitos	46-47
4.4 Coleta e escolha dos materiais	47
4.4.1 Coleta do resíduo de construção e demolição.....	47-48
4.4.2 Coleta do solo.....	48
4.4.3 Ligante ou estabilizante.....	48

4.5	Ensaio no material coletado	49
4.5.1	Granulometria	49
4.5.2	Densidade real dos grãos	50
4.5.3	Limites de consistência	50
4.5.2	Produção do tijolo solo-cimento	50-52
4.5.3	Ensaio nos tijolos produzidos	52
4.5.3.1	Análise dimensional	52
4.5.3.2	Absorção de água	53
4.5.4.2	Resistência à compressão simples	54-55
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56-57
5.1	Caracterização física	56
5.1.1	Granulometria	56-57
5.1.2	Densidade real dos grãos	58
5.1.3	Limites de Atterberg	58-59
5.2	Caracterização geométrica	59
5.2.1	Análise dimensional	59-60
5.2.2	Absorção de água	60-61
5.3	Caracterização mecânica	61
5.3.1	Resistência à compressão	61-65
6.	CONCLUSÃO	66
7.	REFERÊNCIAS	67-76

1. INTRODUÇÃO

A pressão para o crescimento do setor da construção civil é constante, desse modo os serviços de engenharia e construções desempenham uma função crucial na economia, que se encontra em frequente ascensão no mundo, gerando oportunidades de emprego para milhões de trabalhadores e impactando expressivamente no Produto Interno Bruto (PIB) do país. Em 2022, por exemplo, a construção civil foi responsável por 6,9% do PIB do país (ABRAINC, 2023).

Apesar disso, a indústria da construção é conhecida por gerar grandes impactos ambientais, tanto no processo de extração e fabricação das matérias-primas quanto no consumo excessivo de recursos naturais. Ademais, pode provocar impactos no processo construtivo com a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) que, quando descartados incorretamente, geram diversos problemas ambientais. Sendo assim, cada vez mais há necessidade de aplicar técnicas sustentáveis na indústria da construção civil.

Se por um lado é de extrema necessidade a contabilização dos ganhos de sustentabilidade em um projeto, por outro, é imprescindível a educação dos que sentirão e usufruirão dos benefícios destas construções ao longo do tempo. Se a indústria conseguir convencer os consumidores dos ganhos com uma construção sustentável, estas se tornarão mais desejadas e, conseqüentemente, desencadearão uma demanda do mercado (WEBER; CAMPOS; BORGA, 2018).

Cabe também ressaltar que os empreendimentos sustentáveis trazem consigo oportunidades de redução de riscos empresariais, uma vez que existe uma grande cobrança da sociedade e mídia a respeito de questões voltadas para a sustentabilidade (RECH, 2018). Ou seja, as empresas que adotam práticas sustentáveis estão melhor posicionadas para enfrentar os desafios e as expectativas da sociedade.

Uma das maneiras de mitigar os impactos ambientais é com a utilização de matérias-primas mais sustentáveis, sendo o uso de tijolos solo-cimento (ou tijolos ecológicos) uma alternativa viável. Em alguns lugares a sua produção vem sendo promovida como ferramenta social para viabilizar a construção de habitações populares com a metodologia de mutirão, onde os próprios beneficiados produzem seus tijolos prensados.

Somando-se a isso, podem ser utilizados neste sentido como adições sem altos custos e com a possibilidade no aumento do desempenho dos tijolos solo-cimento, tornando-se um material em potencial na formação de compósitos para a sua produção (ALFAIA; COSTA; CAMPOS, 2017).

Assim, o desenvolvimento de novos produtos a partir do aproveitamento de resíduos propicia práticas sustentáveis na indústria da construção civil, além do aumento do valor agregado ao produto. Portanto, este trabalho analisa a viabilidade da adição de RCD na fabricação de tijolos de solo-cimento.

1.1 JUSTIFICATIVA

A questão dos resíduos sólidos continua a ser um desafio para a nossa sociedade, e a procura por soluções que promovam a reutilização e a gestão apropriada desses materiais tem sido uma prioridade constante em estudos e pesquisas (ROCHA, CASTRO ROCHA e LUSTOSA, 2017).

A tecnologia da produção de tijolo solo cimento vem sendo promovida como ferramenta social e econômica para viabilizar a construção civil, uma alternativa de atenuar ainda mais os impactos gerados pelo descarte irregular de resíduos da construção e demolição, esta pesquisa colabora com a busca de um novo viés de produção e verifica o seu comportamento com a adição desses resíduos nesse sistema de mistura de blocos de encaixe prensados.

Logo, possibilita o emprego do produto dentro das indústrias, além de agregar valores aos resíduos gerados, ou seja, produzindo um novo produto com características enquadradas nas normas vigentes com potencial de comercialização e uso na construção civil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

- Estudar as características físicas e mecânicas mediante a incorporação de resíduos de construção e demolição nos tijolos solo-cimento produzidos em Triunfo - PE.

1.2.2 Objetivos específicos

- Coletar o solo e RCD para serem utilizados na fabricação dos tijolos;
- Coletar amostras dos tijolos produzidos de solo-cimento;
- Executar os ensaios para caracterização do solo;
- Produzir os tijolos com diferentes misturas de RCD;
- Realizar ensaios de geometria e mecânica nos tijolos solo-cimento.

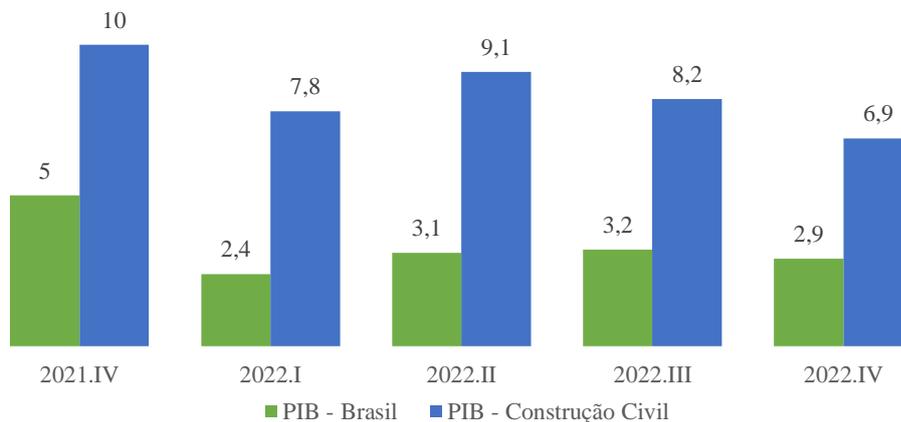
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sustentabilidade

A economia brasileira é composta por três grandes setores: Agropecuária, Indústria e Serviços, onde a Construção Civil pertence ao setor da Indústria e é crucial para o desenvolvimento socioeconômico do país, chegando a representar em 2022 quase 7% do Produto Interno Bruto - PIB (Figura 1). Além disso, a construção resultou em 10% dos empregos formais em 2022, e com taxa de desemprego em 9,3%, o menor nível registrado desde 2015 (NUNES et. al, 2020; ABRAIN, 2023).

Apesar disso, a construção pode gerar vários impactos ambientais, como os riscos ambientais globais, chegando a aumentar a pressão sobre terras agrícolas, a degradação do solo, o estresse hídrico e condições climáticas extremas, eventos que podem afetar o desempenho macroeconômico dos países, setores e mercados financeiros (WWF, 2022). Sendo assim, é necessário cada vez mais aplicar práticas sustentáveis tanto no uso de matérias-primas quanto na cadeia produtiva.

Figura 1 - Variação do PIB Construção Civil X PIB Brasil (Taxa acumulada ao longo do ano em relação ao mesmo período do ano anterior)



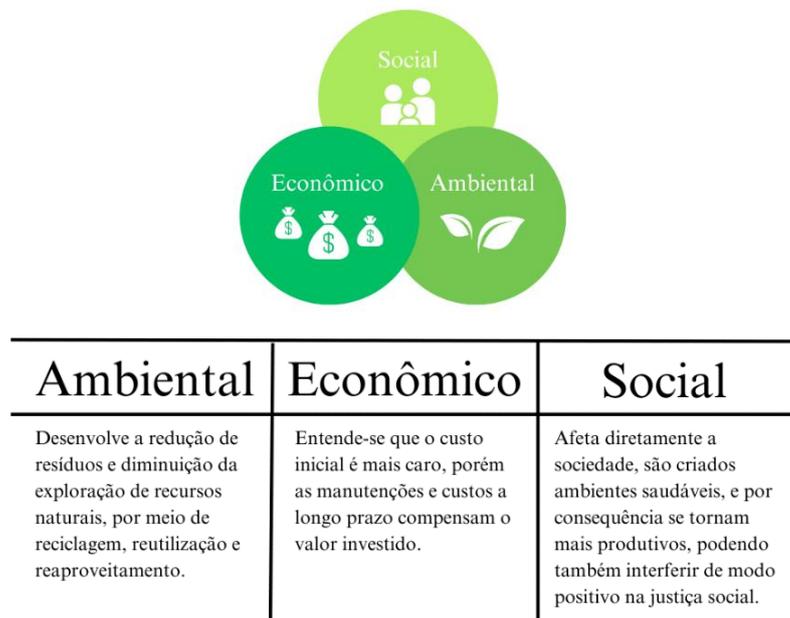
Fonte: Adaptado de ABRAIN (2023)

De acordo com a ONU (2020), a definição de desenvolvimento sustentável teve surgimento em abril de 1987, quando a médica *Gro Harlem Brundtland* declarou que “O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades”.

Já segundo Rodrigues e Corrêa (2022) a sustentabilidade pode ser compreendida como a tentativa de combinar os aspectos econômicos, culturais, sociais e ambientais da sociedade humana com a preocupação principal de preservá-los, de modo que a capacidade das gerações futuras, além das fronteiras do planeta, não seja comprometida.

Por sua vez, Marzall e Almeida (2020) especificaram que a sustentabilidade, deve considerar no mínimo três dimensões: ambiental, social e econômica (Figura 2). Tendo como objetivo preservar o meio ambiente e os recursos não renováveis, ao mesmo tempo em que atende as necessidades da sociedade, substituindo recursos ou materiais e usando conscientemente aqueles que não podem ser substituídos (RODRIGUES; CORRÊA, 2022).

Figura 2 - Tripé da sustentabilidade



Fonte: Adaptado de WENSING; ANSELMO (2020)

Em todas as fases da construção há necessidade de visar os aspectos da sustentabilidade, e proporcionar a melhoria dos indicadores econômicos, sociais e ambientais da sustentabilidade (TIBAUT; ZAZULA, 2018). Juntamente com essa necessidade o crescimento de normas, programas e certificações que atuam nos setores industriais, práticas mais sustentáveis são cada vez mais utilizadas, visto que um sistema de gestão ambiental auxilia com métodos sistematicamente projetados para administrar os aspectos ambientais e os processos de produção (SCHMIDT; OSEBOLD, 2017). Os edifícios sustentáveis (Figura 3) ocupam cada vez mais espaço no cenário mundial (FROUFE; MELLO; SOARES, 2020).

Em sintonia a esse processo, os clientes passaram a demandar por um melhor atendimento e serviços de qualidade e produtos adquiridos elevando a atenção para as pesquisas de satisfação. (RECH *et al.*, 2018). Aumentando o número de certificações ambientais e geração de selos como incentivo para as construtoras e mitigação dos impactos provenientes do setor de construção (FROUFE; MELLO; SOARES, 2020).

Figura 3 - Projeto Creche Municipal Hassis – Florianópolis (SC)



Fonte: Guia de certificação Zero Energy (2017)

2.1.1 Certificações ambientais

Como forma de incentivo para as empresas foram criados os selos de certificação de sustentabilidade, tendo como objetivo principal estratégias desde a implantação, ou seja, antes e durante o canteiro de obras (FROUFE e OLIVEIRA, 2018), para que haja a melhoria da sustentabilidade dos canteiros (THOMAS e COSTA, 2017), que é a parte complexa de desenvolvimento e envolvimento empresarial (TIBAUT e ZAZULA, 2018), o projeto de instalações provisórias deve atender as soluções adotadas assim como nos edifícios sustentáveis, até mesmo a cadeia de suprimentos deve estar engajada deixando claro o compromisso dos envolvidos, além de treinamento com as equipes (FROUFE e OLIVEIRA, 2018).

Com a pandemia da COVID 19, ficou ainda mais clara a necessidade das pessoas viverem em ambientes saudáveis. Segundo o relatório desenvolvido pelo [World Green Building Council](#) e divulgado pelo [GBC Brasil](#) (2021), os edifícios terão que buscar a excelência em pontos voltados à saúde e ao bem-estar se quiserem manter ou ganhar suas certificações.

Já que é de extrema importância e necessidade identificar estratégias sustentáveis que gere valor benéfico para todos os envolvidos nas últimas décadas, é possível notar uma melhoria na qualidade da construção, obtida devido ao fortalecimento dos programas de redução de perdas e a implantação de programas de gestão da qualidade, porém, é difícil afirmar que tal melhoria seja possível de parar a súbita deterioração causada pela indústria da construção no meio ambiente (RODRIGUES; CORRÊA, 2022).

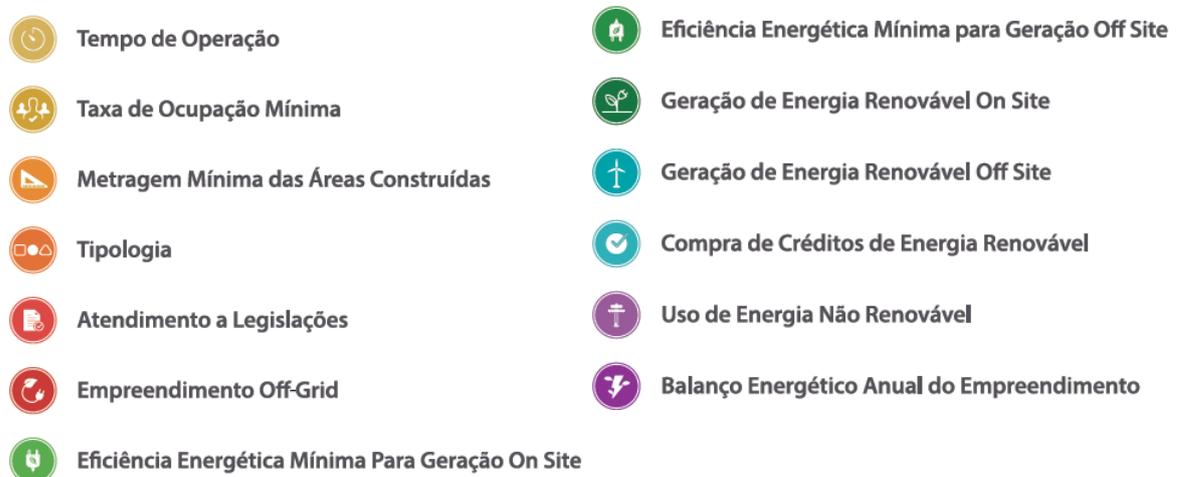
2.1.1.2 Green Building Council Brasil (GBC Brasil)

O GBC Brasil (*Green Building Council Brasil*) concebido para o cumprimento das metas do acordo da COP 21 (Paris), tem como objetivo fomentar as emissões de carbono na atmosfera oriundas do setor da construção civil até 2050, de modo com que todas as novas edificações e grandes reformas se tornem *Net Zero Carbon Emissions* (zero emissões líquidas de carbono) a partir de 2030, e 100% dos edifícios se tornem Net Zero até 2050 (GBC, 2022).

Para sua viabilização foi criado a ferramenta de certificação para essas edificações que sigam o padrão Net Zero. Diversos projetos no Brasil estão investindo em eficiência energética e renováveis in loco (GBC, 2022).

Essa certificação pode ser aplicada a todos os empreendimentos que demonstrem estratégias e atendam os requisitos (Figura 4) para zerar o consumo anual de energia local juntamente com a alta eficiência e geração de energia por meio de fontes renováveis.

Figura 4 - Checklist de viabilidade para certificação



Fonte: Guia de certificação Zero Energy (2017)

2.1.1.3 Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

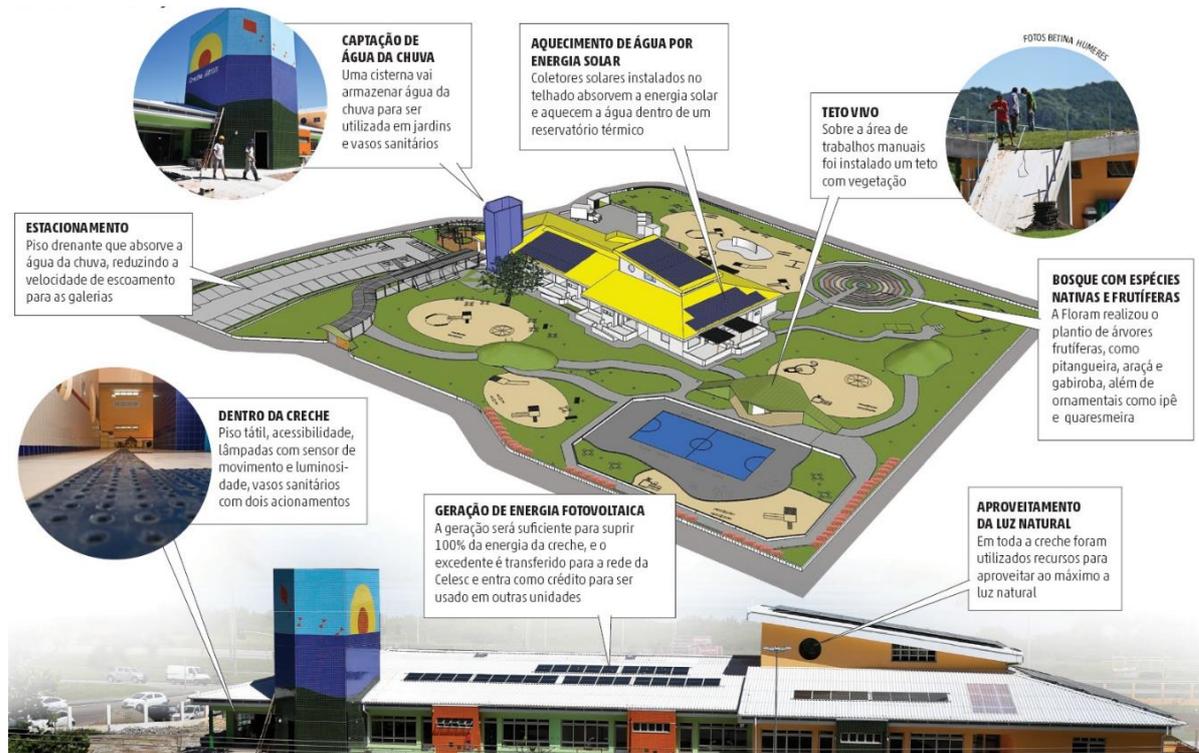
O selo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), em português, Liderança em Energia e Design Ambiental, é um sistema internacional que tem como objetivo a promoção da sustentabilidade nas edificações (GBC Brasil, 2023).

No mês de novembro de 2023 o *Green Building Council Brasil* (GBC), o órgão responsável por esse selo, possuía mais de 902 empreendimentos registrados e certificados em diferentes cidades brasileiras, com projetos em todos os estados Brasileiros e ocupando 4º no ranking de 165 países em relação ao LEED. É adquirido a partir de uma lista de pré-requisitos e créditos, onde são avaliadas algumas dimensões para comprovar que os parâmetros adotados visam à sustentabilidade e a redução do impacto ambiental.

No Brasil, o LEED chegou em 2007 e desde então tem sido cada vez mais buscado com o decorrer dos anos, comprovando que a população está se conscientizando ao procurar qualidade e economia no setor da construção civil. Como exemplos de empreendimentos brasileiros se destacam: Torre Vargas, Rio de Janeiro/RJ, nível ouro; *LC corporate Green Tower*, Fortaleza/CE, prata; Pão de açúcar Indaiatuba, Indaiatuba/SP, nível de certificação básica (GBC Brasil, 2019).

O primeiro edifício público no país que recebeu esse selo foi a Creche Hassis (Figuras 3 e 5). Para que fosse concedida a certificação, foram necessárias algumas alterações no projeto e execução da obra, entre as práticas sustentáveis adotadas estão a utilização da madeira de manejo florestal responsável, materiais recicláveis (desde o concreto da fundação ao aço da estrutura), assim como os sistemas de aquecimento solar e energia fotovoltaica (BARATTO, 2020).

Figura 5 – Modelo de inovação na Creche Hassis



Fonte: ROSA (2015)

2.1.2 Programas de incentivo a sustentabilidade

O conceito de desenvolvimento sustentável passou a desempenhar um papel importante na indústria da construção moderna (KALUARACHCHI, 2018). Baseado na norma NBR ISO 9001/2015 perante o aumento da necessidade de se instaurar um sistema de gestão de qualidade, o Governo Federal instituiu o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-h).

Como exemplo de um dos seus projetos, o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil (SiAC) tem como objetivo principal avaliar a conformidade do Sistema de Gestão da Qualidade das empresas no setor da construção civil no Brasil, contribuindo para intensificar a qualidade, produtividade e sustentabilidade no setor. O programa prevê a inclusão de indicadores associados a objetivos nos canteiros de obras contemplando no mínimo a conservação de água, eficiência energética e a redução da geração de resíduos (SIAC, 2018).

Devido a crescente necessidade de mudanças no setor da construção civil são utilizadas diversas certificações, identificadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Certificações utilizadas na construção civil

SISTEMA	DESCRIÇÃO
AQUA (Alta Qualidade Ambiental)	Certificação internacional da construção sustentável desenvolvido a partir da certificação francesa Démarche HQE (Haute Qualité Environnementale). Embasa-se no estudo do local do empreendimento e de seu programa de necessidades, com o intuito de atender condições ideais de conforto e saúde para os usuários, respeitando o meio ambiente e a sociedade, atendendo inteiramente a legislação e obtendo viabilidade econômica por meio da análise do ciclo de vida dos empreendimentos (VANZOLINI, 2019).
Selo Casa Azul + CAIXA	Desde julho de 2021 o Selo Casa Azul + CAIXA se divide em duas certificações: Projetar e Habitar. O Selo é um instrumento de classificação ASG (Ambiental, Social e Governança) destinado a propostas de empreendimentos habitacionais que adotem soluções eficientes na concepção, execução, uso, ocupação e manutenção das edificações. Sua adesão é voluntária e são elegíveis projetos novos em fase de análise ou já analisados e contratados. Buscando maior transparência em todo o seu processo, é verificado durante o acompanhamento da obra se o empreendimento foi executado conforme o projeto certificado, culminando na emissão do selo (CAIXA, 2023).
Selo PROCEL Edificações (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica para Edificações)	Instrumento do governo brasileiro, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobras tem como objetivo identificar as edificações que apresentem as melhores classificações de eficiência energética em uma dada categoria. Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Já nas Unidades Habitacionais são avaliados: a envoltória e o sistema de aquecimento de água (PROCELINFO, 2019).

Fonte: Adaptado de Sugahara, Freitas e Cruz (2021)

2.2 Construção civil e meio ambiente

A indústria da construção civil contribui em grande escala com o prejuízo ambiental devido seus altos índices de perdas e desperdícios, (EUPHROSINO *et al.*, 2022) a disposição irregular destes resíduos pode acarretar em problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública, além de sobrecarga nos sistemas de limpeza pública municipais pelo grande volume gerado. Nestes resíduos também são encontrados materiais orgânicos, produtos perigosos e embalagens variadas que em sua maioria acumulam água e favorecem a proliferação de insetos e de outros vetores de doenças (KARPINSK *et al.*, 2018).

O crescimento populacional e a urbanização promoveram a geração de uma intensa quantidade de resíduos sólidos industriais e urbanos no mundo inteiro (TISSERANT *et al.*,

2017; GUSMÃO et al., 2019). Por isso, a problemática do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos vem se agravando pelo seu aumento e pelas propriedades diversificadas compostas por substâncias nocivas e infectuosas, com a capacidade de causar danos destoantes e adversos para bem-estar individual, coletivo e do meio ambiente (GOMES, 2017; JANAS; ZAWADZKA, 2018; BARROS, 2018).

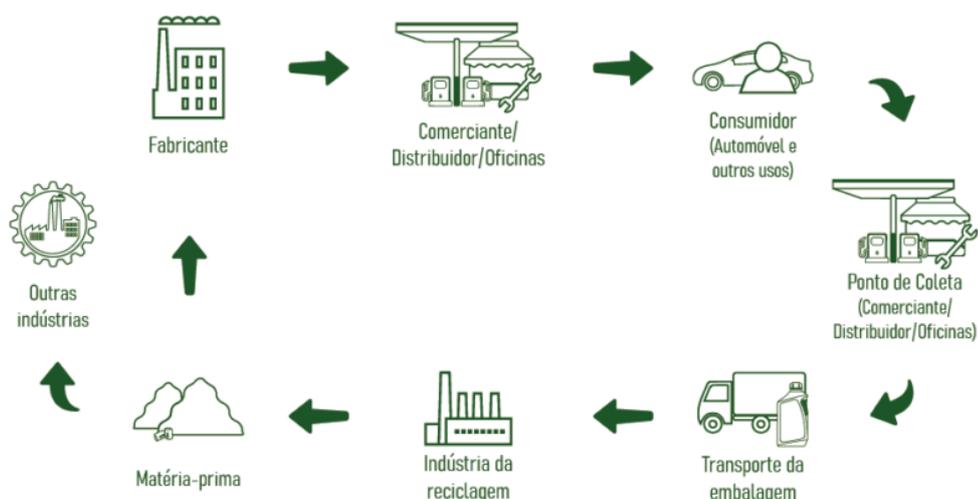
Para alcançar um desenvolvimento que vise a sustentabilidade, é necessário que as empresas identifiquem no seu empreendimento todo o seu processo de produção e maximizem os impactos positivos e minimize os negativos, com a tendência a seguir medidas para aumentar a eficiência produtiva e fazer melhor uso de todos os recursos dos meios de produção, visto que o conceito de construção sustentável deve estar presente em todo o ciclo de vida da obra, desde sua concepção até a desconstrução ou demolição (LÔBO; FRANCISQUINI, 2022).

Esses empreendimentos ambientalmente eficientes precisam ser avaliados sob cinco principais critérios: planejamento sustentável do ambiente construído; preservação da água e eficiência no seu uso; eficiência energética e uso de energia renovável; conservação de materiais e recursos; e aumento ambiental dentro de casa (RODRIGUES; CORRÊA, 2022).

A reciclagem de resíduos da construção civil, por exemplo, é uma outra forma de reduzir o desperdício, visando à diminuição do uso de recursos naturais e à permanência da matéria-prima no processo de produção. Somente quando não existir possibilidade de reciclá-los é que os resíduos devem ser incinerados ou aterrados (LÔBO; FRANCISQUINI, 2022).

Atualmente há empresas específicas que fazem esse tipo de tratamento (Figura 6).

Figura 6 – Ciclo da logística reversa



Fonte: ECOPROTECH (2021)

A Ciclo Ambiental (Figura 7) é uma empresa pernambucana, pioneira no tratamento de resíduos da Construção Civil (RCC). Atuando em Camaragibe, município da região Metropolitana do Recife, foi a primeira cidade do Estado a ser contemplada com uma unidade de reciclagem de RCC, com capacidade para processar 40 toneladas por hora.

Figura 7 – Empresa Ciclo Ambiental



Fonte: Autora

Equipada com tecnologia de ponta, a Central de Tratamento “Hugo Vilela” é a primeira unidade do Estado de Pernambuco a tratar, através de britagem e separações balísticas dos resíduos da construção civil atendendo a Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) nº 307/2002 (Ciclo Ambiental, 2023).

Todavia, a sustentabilidade não deve ser compreendida apenas como uma questão de preservação ambiental, é necessária uma visão extensa, ou seja, vantagens competitivas ao empreendimento, como: a possibilidade de encontrar e manter uma conexão com novos e antigos clientes que defendem os mesmos valores; o aumento da concorrência que exige uma diferenciação da marca no mercado, a estagnação econômica, a globalização, a diminuição em longo prazo de custos (já que processos mais sustentáveis otimizam a utilização de recursos, diminuindo desperdício e contas) e a exigência de certificação da qualidade por parte de órgãos e empresas governamentais para participação (EUPHROSINO; *et al.*, 2022).

A Ciclo Ambiental (2023) alega como principais vantagens em tratar esses materiais:

- Utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;
- Economia de energia no processo de moagem do entulho (em relação à sua utilização em argamassas), uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece em granulometrias graúdas;
- Possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/trituração;
- Possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento;
- Utilização como agregado para a confecção de argamassas;
- Após ser processado por equipamentos denominados "argamasseiras", que moem o entulho, na própria obra, em granulometrias semelhantes as da areia, ele pode ser utilizado como agregado para argamassas de assentamento e revestimento.

Além das vantagens econômicas: redução do uso de matéria prima de custos elevados; otimização no uso dos insumos ao reduzir o desperdício de materiais; reutilização dos resíduos; economia com os custos de manutenção; facilitação da mão de obra, devido aos materiais serem mais leves e menos nocivos; imóveis mais confortáveis e saudáveis para os seus usuários; e aumento da valorização de mercado para o imóvel construído e seu poder de revenda (LÔBO; FRANCISQUINI, 2022).

A Construção Civil provoca diversos impactos ambientais por inúmeros fatores como consumo elevado de energia elétrica, extração dos recursos naturais e disposição final dos resíduos que têm potencial a riscos ao meio ambiente e a saúde populacional (ALFAIA; COSTA; CAMPOS, 2017). Logo, uma gestão adequada e eficaz dos recursos naturais mitigaria os impactos ambientais e preservaria a economia em funcionamento.

2.3 Materiais cerâmicos na construção civil

O termo cerâmica se origina da palavra grega “Keramicos” e significa materiais queimados, sendo conhecidos há mais de mil séculos e preparados com matérias-primas naturais. Produzidos de materiais em pó, as cerâmicas são normalmente sólidas inorgânicos e não metálicos, que possuem pontos de fusão normalmente elevados e que requerem alta temperatura para seu processamento e aplicações. A cerâmica, em comparação com outros materiais, apresenta vastas propriedades interessantes, incluindo isolamento térmico, leveza, alta área superficial específica e resistência ao choque térmico (OTITOJU *et al.*, 2020).

O estudo realizado por OTITOJU *et al.* (2020) destaca dois tipos de cerâmica (Figuras 8 e 9):

- a tradicional: constituída de minerais naturais sem processamento, como a argila; devido ao uso de diferentes matérias-primas, as cerâmicas tradicionais tendem a ter estruturas e composições químicas mais complicadas; possui mais impurezas tanto em quantidade quanto em tipo; sua microestrutura não é uniforme com poros múltiplos tornando mais difícil controlar a qualidade desses produtos.
- a avançada: constituída por pós sintéticos de alta qualidade que resultam em funções e qualidades especiais; apresentam estruturas químicas com alta pureza por serem de ingredientes calculados, ou seja, sob controle; se distingue das cerâmicas tradicionais por sua maior resistência, propriedades personalizáveis, tenacidade aprimorada, temperaturas de operação mais altas e essas características compõem componentes cerâmicos modernos.

Figura 8 - Cerâmica Tradicional



Fonte: Google Imagens

Figura 9 - Cerâmica Avançada



Fonte: Google Imagens

A demanda atual da construção civil é por novas tecnologias e materiais de construção verdes que têm atraído atenção devido a questões de sustentabilidade (KIZINIEVIČ *et al.*, 2018). Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM) (2019) a rápida evolução das indústrias cerâmicas brasileiras é oriunda da disponibilidade de matérias-primas e recursos naturais, dessa maneira produtos dos vários segmentos cerâmicos conseguiram atingir nível de qualidade mundial com significativa quantidade exportada.

Partindo da consideração do vasto potencial dos resíduos sólidos para fabricação de artefatos cerâmicos, como os tijolos, as pesquisas se concentram em oferecer novas opções e destinação ambientalmente correta (GOMES *et al.*, 2019).

Os tijolos feitos de barro e argila são um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil, em uma tecnologia multimilenar, justamente por isso esse ambiente sofre resistência a inovação aplicada a seus processos. Buscando essa melhoria é de extrema importância a realização de ensaios e análises que possam demonstrar possibilidades de avanços (SCHNEIDER; KATZER, 2021).

2.4 Resíduos de construção e demolição (RCD)

A geração de resíduos sólidos ainda é um obstáculo para a sociedade, e a busca por alternativas que visem seu reaproveitamento e destinação adequada tem sido foco constante de investigações (ROCHA, CASTRO ROCHA e LUSTOSA, 2017).

Esses resíduos sólidos começaram a ser o foco de debates e discussões ao redor de todo mundo, a partir do momento em que se percebeu que o descontrole acerca do crescimento urbano desordenado, foi produto de várias ações promovidas por entidades governamentais e não governamentais a fim de reduzir tal descontrole (SILVA et al., 2017).

De acordo com a Resolução nº307 do CONAMA (2002) os resíduos da construção civil (RCC) são os materiais resultantes de construção, reforma, reparo e qualquer serviço relacionado a este setor, levando-se em consideração desde a preparação do terreno a todas as etapas realizadas posteriormente. A Resolução nº307 do CONAMA (2002) classifica os resíduos como:

Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

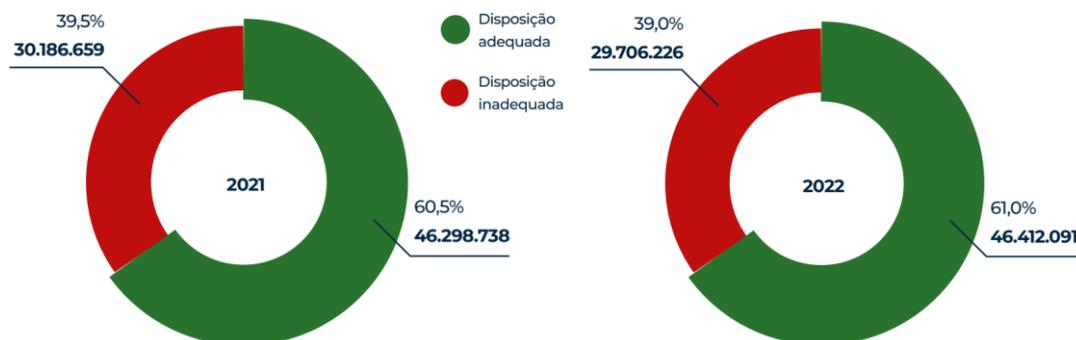
Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (CONAMA, 2002, Art. 3, p.572).

Vale evidenciar que a Resolução N° 431 do CONAMA (2011) altera a Resolução n°307 do CONAMA (2002) no item que classifica o gesso como um elemento da classe C e o reclassifica como sendo um resíduo de classe B e na Resolução N° 469 do CONAMA (2015) altera o art. 3° e adiciona na Classe B embalagens vazias de tintas imobiliárias aquelas cujo recipiente apresenta apenas filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem acúmulo de resíduo de tinta líquida. Embalagens de tintas usadas na construção civil serão submetidas a sistema de logística reversa, conforme os requisitos, até que contemplem a destinação ambientalmente adequados dos resíduos de tintas presentes nas embalagens.

É de extrema importância criar um novo uso e novos materiais menos agressivos ao meio ambiente e que possam substituir os resíduos que frequentemente são gerados pela sociedade ou ao menos mitigar a extração dos recursos naturais (CARDOSO *et al.*, 2021). O ano de 2022 foi bastante representativo na gestão de resíduos sólidos em termos normativos, pois começou a entrar em vigor novas regulamentações de leis, por exemplo, a Lei 12.305/2010 sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Decreto n° 11.043/2022 com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos onde foi instituída estratégias, diretrizes e metas para o setor, com um horizonte de 20 anos.

Entretanto, segundo a ABRECON (2023) a massa total de resíduos da construção e demolição (entulho) gerada em 2022 foi de aproximadamente 120 milhões de toneladas. Porém, grande parte desses resíduos ainda são descartados de forma clandestina em rios, mares, lagoas, nas ruas, em terrenos baldios e até na rua (Figura 10).

Figura 10 - Disposição final adequada x inadequada de RSU no Brasil (t/ano e %)



Fonte: Panorama Abrelpe (2022)

Em relação a deposição irregular dos RCD o Brasil, país em desenvolvimento, ainda gera volumosos quantitativos de resíduos, o que é um grande causador dos danos ambientais, assim como, sociais e econômicos (SEROR e PORTNOV, 2018).

Os RCDs (Figura 11) são potencialmente recicláveis, podendo ser reutilizados em inúmeras aplicações dentro do próprio setor, onde sua composição se difere em cada obra pelo fato da diversidade de tecnologias aplicadas na mesma. E essa composição resulta em um material básico de qualidade (DANTAS *et al.*, 2019).

Figura 11 – Resíduos de Construção Civil (Classe A)



Fonte: Autora

Buscando novas fontes para a substituição dos materiais naturais a utilização de agregados reciclados contribui significativamente com a diminuição da quantidade de RCD, pois esses resíduos apresentam um dos maiores potenciais de utilização, devido ao conhecimento de suas propriedades básicas e ao seu menor grau de contaminação quando comparado com outros resíduos e possibilita sua utilização em obras urbanas ou até mesmo em unidades habitacionais de baixo custo para a população de baixa renda (DIAS; RAMOS; FLORENCIO, 2021), já que no Brasil eles apresentam problemas, seja pela disposição irregular destes resíduos já que a forma como os resíduos são descartados é o maior impacto ocasionado por estes materiais (SRIVASTAVA, 2020), gerando problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública (SEROR e PORTNOV, 2018; PAIVA; BATISTA; FARIAS, 2021).

Além disto, existe a dificuldade da deposição irregular pelas empresas construtoras, devido a distância entre o canteiro e o ponto de deposição e/ou o custo da destinação como fatores justificáveis para a forma incorreta de destinar estes materiais (DUAN *et al.*, 2019). Neste contexto, compreender o quão impactante o descarte dos resíduos da construção no meio

ambiente, desde a sua geração na área urbana até sua logística e destinação final se faz necessário (QUAGLIO; ARANA, 2020).

De modo geral, esses resíduos podem provir da demolição de uma construção, ou ainda das sobras geradas pela fabricação de produtos para o mercado do ramo, já que quase nenhuma porção de concreto demolido é atualmente reciclado ou reutilizado (LEITE *et al*, 2018; PAIVA; BATISTA; FARIAS, 2021). Para Leite et al. (2018), os serviços mal feitos são as principais causas de geração de resíduos. Neste sentido, sugere-se que casos incompatibilidade de projetos com as características do local ou com a realidade do demandante, há inconsistência em procedimentos padronizados de serviços, e a destinação dos resíduos são feitos de maneira inadequada no canteiro de obras. Em situações de reformas, principalmente sem acompanhamento profissional adequado, a falta de conhecimentos sobre reciclagem e reutilização, e do potencial dos materiais, contribui para a geração de resíduos

Segundo a ABRELPE em 2021, foram coletados pelos municípios mais de 48 milhões de toneladas de RCD, representando um acréscimo de 2,9% comparado ao período anterior. O que significa que a quantidade coletada por habitante foi de aproximadamente 230 kg por ano e, em boa parte, equivale a resíduos de construção e demolição abandonados em vias e logradouros públicos. Aproximadamente cerca de 20% dos RCD coletados no Brasil vem da região Nordeste, ocupando o 4º lugar em termos de coleta per capita, com quase 165 kg por habitante/ano.

No entanto, esses dados não representam a quantidade total que realmente é gerada, já que há uma quantidade expressiva de descarte de modo descontrolado e clandestino como material de aterro. Esses resíduos descartados em aterros, ocupam espaço físico e grande desperdício de um suposto valor agregado a uma futura utilização desse material (DIAS; RAMOS; FLORENCIO, 2021).

Logo, o uso de reciclagem desses materiais seria uma alternativa ambientalmente, tecnologicamente e economicamente viável, já que possibilitaria a criação de um novo mercado de insumos, pois a elaboração de novos produtos pode substituir ou diminuir a extração de recursos naturais que em sua maioria são escassos (OLIVEIRA; SANTOS, 2019).

Muitas vezes quando não se é programado um processo de triagem nos canteiros de obras, o RCD misto acaba sendo recebido nos pátios das usinas de reciclagem. Nesse caso, para se produzir agregados reciclados, é necessário realizar uma triagem eficiente para segregar os materiais indesejáveis (madeira, vidrado cerâmico/vidro, aço, papel, plástico) e contaminantes (gesso, cimento e amianto), para que ao efetuar a substituição do agregado natural para o

reciclado nos traços de concreto, obtenha-se um concreto com resistência mais satisfatória (PAIVA; BATISTA; FARIAS, 2021)

Os RCDs apresentam um elevado potencial e várias finalidades para reutilização, como exemplo, produção de novos concretos, porém, sua aplicação exige mais cuidados visto o importante papel que os agregados desempenham no comportamento do concreto. Ligada a essa finalidade, uma das grandes dificuldades encontradas para a produção de agregados reciclados de concreto é a seleção e a caracterização das propriedades destes materiais. Todavia, seguindo os processos de forma minuciosa e com atenção durante o processo de seleção, o potencial e valor podem ser aumentados (DIAS; RAMOS; FLORENCIO, 2021).

2.5 Tijolo solo-cimento na construção civil

A indústria da construção compreende um papel fundamental na economia de um país em desenvolvimento, e os impactos econômicos que o setor apresenta são de alta relevância (MUSARAT, ALLALOU e LIEW, 2021). É notável o quanto a construção civil no Brasil cresce diariamente, mesmo com altos e baixos, se fazendo necessário processos e materiais mais eficientes, eficazes e baratos. (VELOSO *et al.*, 2020).

Com isso há um grande destaque entre os principais materiais inovadores da construção civil o tijolo solo-cimento, ou ecológico, tijolo de solo comprimido (TSC) ou bloco de terra comprimido (BTC) que desfruta das técnicas de fabricação retidas em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na sua fabricação, e que gera benefícios tanto para obras de pequeno porte quanto as de médio porte (WEBER; CAMPOS; BORGA, 2018). De acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012) tem sua definição como:

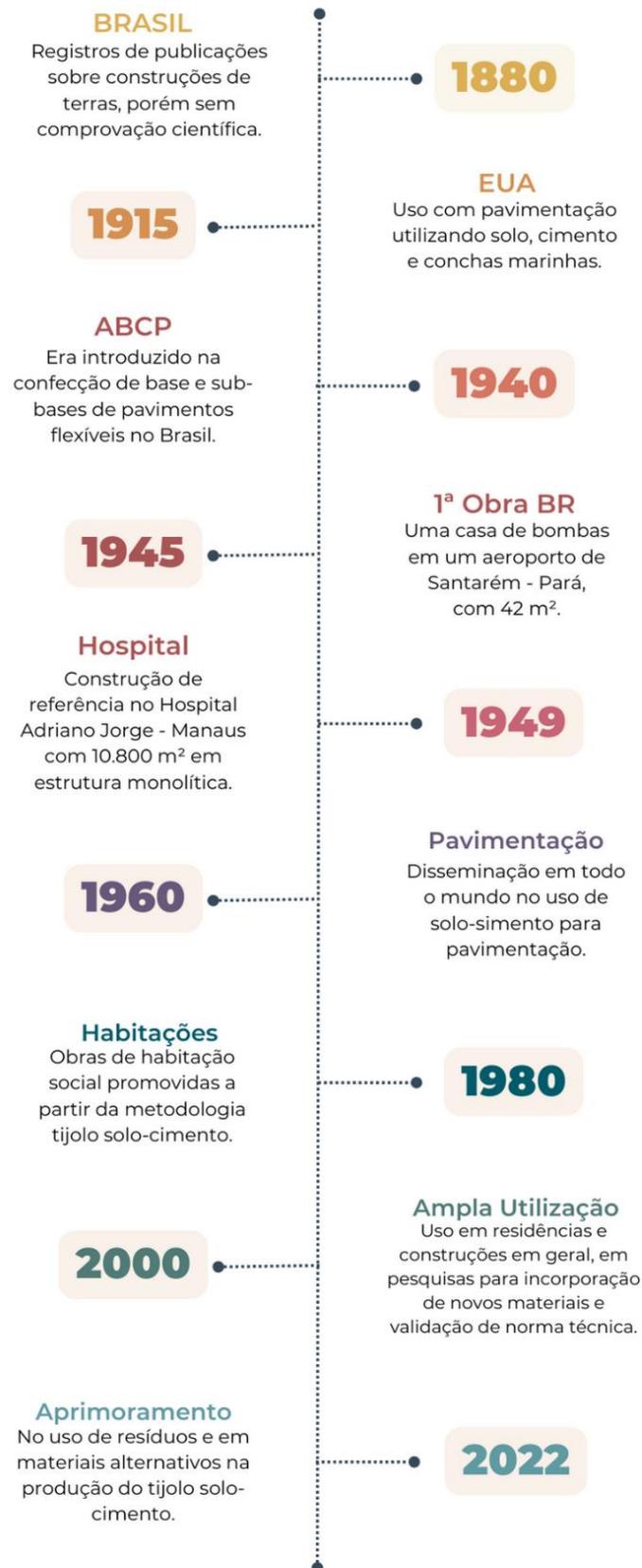
Um componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland e água, em proporções estabelecidas por norma, compactado por meio de uma prensa, hidráulica ou mecânica e endurecido sem a necessidade de queima, podendo ser maciço ou vazado.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2020) estabelece a definição de solo-cimento de acordo com suas características, que devem apresentar homogeneidade na mistura, de solo, cimento e água nas dosagens adequadas e, posteriormente, compactados em prensas manuais ou hidráulicas (CAMPOS *et al.*, 2023), para proporcionar então um material com bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica, boa resistência à compressão e durabilidade.

Logo, conhecer o tipo de material que será utilizado na mistura e qual o custo do processo na produção desses tijolos, além da resistência e compactação que uma construção precisa, é de vital importância. O tijolo ecológico possui uma particularidade de acabamento por se tratar de um tijolo composto através de solo-cimento e resulta em coloração diferenciada aos tijolos tradicionais ou cerâmicos (CAMPOS *et al.*, 2023). Sua aplicação além de contribuir para o meio ambiente por evitar a emissão de gases de efeito estufa no seu processo de fabricação é considerado limpo, não necessita da queima de lenha para aquecimento de fornos para secagem, contribuirá maciçamente na economia do país, tendo em vista o reaproveitamento de materiais vegetais descartáveis, além de uma outra característica, o baixo custo e alto potencial de aplicabilidade (WEBER; CAMPOS; BORGA, 2018).

Segundo CAMPOS *et al.* (2023), a produção dos tijolos ecológicos com baixo custo começou a ser conhecido no Brasil na década de 1970, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Linha do tempo com histórico sobre solo cimento



Fonte: Adaptado de LIMA (2018); ANITECO (2022); SILVA (2022).

2.5.1 Vantagens e desvantagens do tijolo solo-cimento

A indústria da construção, enfrenta vários desafios relacionados com recursos energéticos, escassez de matérias-primas e crescentes preocupações ambientais (EL-ATTAR; SADEK; SALAH, 2017), mas a importância do tijolo de solo cimento vai além das questões ambientais, pois a confecção promove oportunidades locais devido sua facilidade de obtenção, necessitando apenas de treinamentos primários para produção, além da sua principal matéria prima ser facilmente encontrado na natureza (GOMES, 2021).

As vantagens e desvantagens do tijolo solo cimento quando comparados com materiais de construção mais populares como o tijolo cerâmico convencional, são muitas, já que seu uso apresenta características positivas, como seu formato, possibilitando o encaixe um sobre o outro, possui furos em sua geometria que permitem a passagem de tubulações, economiza o uso de argamassa e concreto, reduzindo também a geração de entulhos, que atualmente é considerado um grave problema. Comparando os tijolos solo-cimento com os tijolos convencionais de cerâmica queimada, eles são resistentes mecanicamente, podem apresentar durabilidade até 6 vezes superior ao convencional, possuem bom índice de permeabilidade e bom desempenho na resistência à compressão (TEIXEIRA *et al.*, 2021).

A construção sustentável atrelada com a produção dos tijolos ecológicos pode chegar a uma economia de 60% na construção. Outro fator notável é seu acabamento extremamente rápido, por ser um material que aceita vários tipos de acabamento, além do seu próprio corpo a vista apenas envernizado (CAMPOS *et al.*, 2023).

Kozloski, Vagheti e Silva (2019), através de um comparativo entre duas edificações, uma com materiais convencionais e tijolo cerâmico, e outra construída em tijolos de solo cimento, e justificando seu método de produção, foi verificado nesse estudo a emissão de CO₂ de materiais empregados na construção. Quando comparadas, a construção com tijolos de solo cimento obteve uma redução de aproximadamente 30% de emissão de CO₂ comparada a construção com tijolos cerâmicos.

Para Sousa, Oliveira e Alves (2021) o uso de tijolo de solo cimento para fins de vedação, apresenta vantagens financeiras no seu uso, porém apenas como alvenaria portante, devido à redução no uso de formas, concreto e corte e dobra de ferragens, diferentemente da construção com tijolos cerâmicos de 8 furos, que necessitam do conjunto portante de vigas e pilares. Lima (2018) exalta as dificuldades com reformas, além da projeção do tijolo em grandes vãos, estruturas excessivamente esbeltas e em vigas em balanço devem ser evitadas.

Mas as vantagens na construção com tijolo de solo cimento englobam também a sua execução, por não necessitar de reboco ou revestimento, possibilitando sua aparência natural apenas da camada de proteção realizada com pintura adequada, além disto, todas as instalações são embutidas (Figura 13), passantes nos furos verticais, se tornando assim uma edificação com maior conforto térmico, devido a circulação de ar dentro dos furos (ANITECO, 2020). Outra vantagem é a possibilidade de incorporação de resíduos em sua mistura, já que para sua obtenção é através do processo de prensagem (VILELA et al., 2022).

Figura 13 - Instalações embutidas com o uso do tijolo solo-cimento



Fonte: Autora

2.6 Pesquisas com tijolos solo-cimento

Os materiais de construção possuem elevados índices de carbono incorporado em seu processo de fabricação, pois ocorre a liberação de grandes volumes de gases de efeito estufa na atmosfera e contribui para a escassez de recursos naturais e o custo elevado do transporte na logística entre as fábricas e os canteiros de obras (TRAN; SATOMI; TAKAHASHI, 2018).

O custo dos materiais de construção convencionais atualmente apresenta um aumento que tem origem devido a toda energia necessária para sua fabricação. As preocupações econômicas e principalmente ambientais expostas anteriormente têm gerado cada vez mais interesse em estudos que englobem o uso de materiais alternativos, como os tijolos solo cimento ou técnicas de construção que contemple toda a vida útil dos materiais utilizados. (MOURA *et al.*, 2021).

Entre os diversos tipos de substituições para essa mitigação ainda maior, são frequentemente utilizados resíduos de construção e demolição ou resíduos agrícolas como: cinzas de casca de arroz, cinza de bagaço-de-cana de açúcar. Além de algumas nem tão convencionais, como o lodo.

2.6.1 Lodo

Aparentemente sem valor econômico, o lodo de ETA é um material considerado rejeito do processo de tratamento de água. A disposição final do lodo ainda representa um grande custo para as estações de tratamento e constitui um problema ambiental, visto que é descartado nos aterros sanitários, lixões ou nos corpos hídricos (SOARES; NOZAWA; REIS, 2021).

Na etapa de decantação, os flocos que foram formados na floculação devido a diminuição da agitação da água nos floculadores, se sedimentam devido ao fluxo reduzido da água, originando assim o lodo (Figura 14). Os principais elementos que constituem o lodo são: a argila e os minerais finos, que variam com os compostos que foram utilizados no processo de coagulação. (SOARES; NOZAWA; REIS, 2021). Já que altas quantidades de lodo são produzidas diariamente pelas ETAs, seu gerenciamento está se tornando um problema global de grande preocupação (GOMES *et al.*, 2019).

Figura 14 – Etapa de decantação.

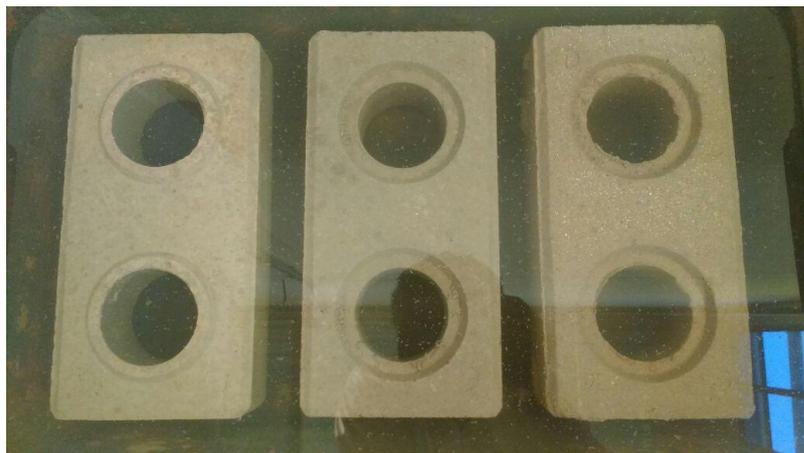


Fonte: Autora

Esse tipo de lodo é um material não biodegradável rico em minerais de silicatos e matéria orgânica, acrescidos dos produtos resultantes dos reagentes químicos aplicados à água bruta durante o processo de tratamento. De acordo com a Política Brasileira de Resíduos Sólidos, o lodo é classificado como sendo resíduo Classe IIA - Não Inerte e necessita de destinação final ambientalmente adequada. No Brasil é comum que os lodos das ETAs sejam descartados indiscriminadamente na natureza, principalmente em rios, mas com a nova legislação ambiental brasileira essa prática deve ser evitada, por se caracterizar como crime ambiental, principalmente nos casos não possui outorga para utilizar corpos hídricos para fins de diluição, obriga as empresas a destinar adequadamente qualquer resíduo poluente gerado (SANTOS; MICHELAN; JESUS, 2021).

O tijolo ecológico é utilizado quando se visa uma obra de baixo custo, além de materiais que não gerem prejuízo ao meio ambiente, já que o processo de cura é por evaporação e sem uso de combustível fóssil para a queima. (FIAIS; SOUZA, 2017). Nos últimos anos o setor de cerâmica tem se tornado uma alternativa promissora para o descarte final de resíduos poluentes das ETAs (Figura 15), já que podem ser misturados com outros componentes (SANTOS; MELO FILHO; MANZATO, 2018).

Figura 15 – Processo de cura de tijolos solo-cimento com adição de lodo



Fonte: Campos *et al.* (2023)

A composição do lodo de ETA varia de acordo com a região e a época do ano em que o mesmo foi produzido, e com isso é recomendado que esse resíduo passe por análises preliminares e também por alguns ensaios, como: lixiviação e solubilização, após a formação do material cerâmico (SOARES; NOZAWA; REIS, 2021).

O lodo gerado nas ETAs, apesar de conter mais de 95% em volume de água, é considerado resíduo sólido (SANTOS; MICHELAN; JESUS, 2021). Logo as características quantitativas e qualitativas de uma ETA são importantes porque permitem ter um diagnóstico do lodo gerado e a adequada gestão do mesmo.

2.6.2 Cinza de bagaço-de-cana de açúcar (CBC)

Devido ao crescente desenvolvimento nas agroindustriais no Brasil o destino dos resíduos sólidos obtidos com essas atividades, resultou em um problema. Por exemplo, a produção de cana-de-açúcar, que se renova constantemente a um alto padrão (MOTA *et al.*, 2020). Segundo o boletim realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, a safra 2022/23 encerrou com uma produção estimada em 610,1 milhões de toneladas, tendo um crescimento de quase 5,5% em relação ao boletim anterior.

Porém essa evolução envolve processos geradores de resíduos sólidos que formam resíduos industriais, e caso não ocorra seu adequado gerenciamento ocorrerá problemas que impactaram o meio ambiente (MOTA *et al.*, 2020).

A CBC é produto da queima do bagaço de cana, um subproduto da indústria sucroalcooleira, para geração do calor e energia utilizados em usinas de açúcar e um aproveitamento para esse material pós-processamento se concentra em sua aplicação como um substituto do cimento (PAUL *et al.*, 2019). Contém em sua estrutura boas propriedades pozolânicas que geram capacidade de reação com o hidróxido de cálcio disperso durante o processo de hidratação do cimento, resultando em compostos estáveis e aglomerante. Porém, com tantos processos de queima e coleta essas propriedades químicas e físicas da cinza são afetadas (MOURA *et al.*, 2021).

Segundo estudos a adição de cinzas da casca de arroz e do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo reduz o peso do material final e resulta na diminuição de cargas estruturais da edificação, contudo, foi constatado que a resistência à compressão e o módulo de ruptura reduziram de acordo com o acréscimo desses materiais (KAZMI *et al.*, 2016). Já segundo Faria, Gurgel e Holanda (2012) o uso de CBC como matéria-prima na fabricação de tijolos de argila, demonstrou que a CBC pode ser usada como enchimento em tijolos, tendo como consequência uma construção mais sustentável e econômica. Segundo Moura *et al.* (2021) os resultados indicaram a possibilidade de substituir até 20% do cimento por CBC sem diminuir a resistência à compressão do material.

Com o bagaço da cana já tratado, livre de impurezas e umidade, o composto, transformado em pequenas partículas, pode ser peneirado e destinado para composição do Tijolo Adobe, por exemplo, conforme a Figura 16 (MOTA *et al.*, 2020).

Figura 16 - Tijolos Adobe com aditivo, moldes e processo de cura



Fonte: MOTA *et al.* (2020)

2.6.3 Fibras vegetais

Para se obter tijolos de solo de melhor qualidade, o solo precisa de estabilizações químicas e o uso do cimento Portland proporciona isso, a qual resulta no solo-cimento (BATISTA; FERNANDES, 2022). As fibras são divididas em vegetais, animais ou minerais. Enquanto as fibras vegetais apresentam cadeias celulósicas (recebendo a alcunha de fibras lignocelulósicas), os animais apresentam cadeias proteicas e os minerais, grandes redes cristalinas (MARTINEZ-PAVETTI *et al.*, 2021).

Porém é necessária mais uma forma de estabilização, sendo ela a: física, que é feita por meio da incorporação de areia para correção granulométrica; e a mecânica, onde o uso de fibras que combatam retrações e fissuras. Das fibras vegetais disponíveis, optou-se pelas fibras de juta e de malva, Figura 17 (BATISTA; FERNANDES, 2022).

Figura 17 - Bucha vegetal



Fonte: Cristina *et al.* (2018)

No Brasil, existem muitos casos do uso de fibras como reforços de matriz cimentícia desde 1980 na Bahia e recentemente como o de Santos *et al.* (2017) com tijolos de solo-cimento com fibra de rãfia, e o de Cristina *et al.* (2018) onde além de uso doméstico e também medicinal é possível a fabricação dos tijolos de solo-cimento com fibras de bucha (Figura 18).

Figura 18 – Tijolo de solo-cimento com fibras de bucha



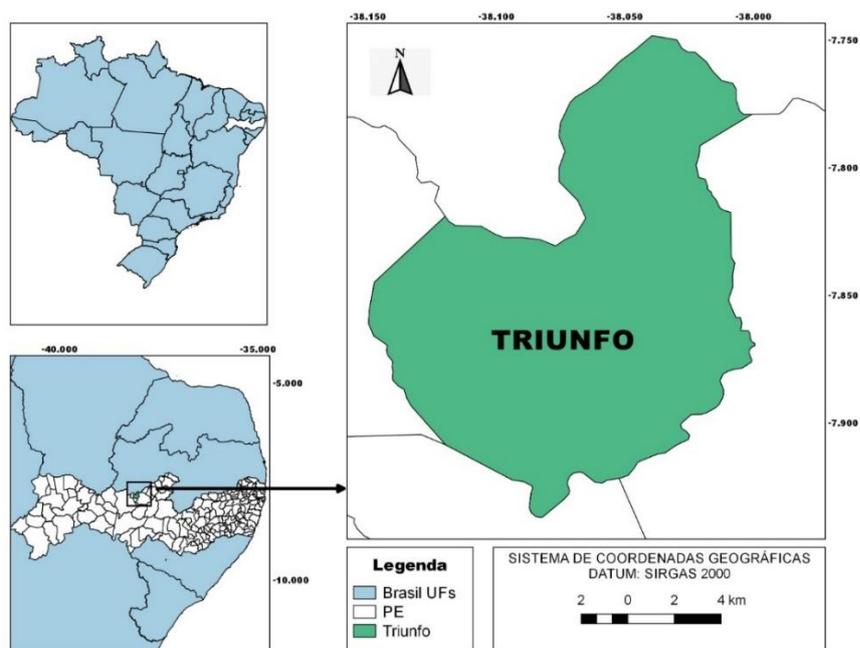
Fonte: Cristina *et al.* (2018)

O estudo de Cristina *et al.* (2018) não teve o um intuito de descobrir um material para ser aplicado na construção civil pesada, mas sim uma possibilidade ecológica para obtenção de um material que pudesse ser aplicado em coisas simples dentro da construção, como por exemplo, a construção de casas populares e locais de estabilidade do terreno. Os resultados dos ensaios da absorção da água e da resistência a compressão dos tijolos, apresentaram resultados satisfatórios, quando comparados pela norma.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Região do nordeste brasileiro, pertencente ao estado de Pernambuco e compreendendo o Bioma da Caatinga, o município de Triunfo, foi escolhido como fonte principal de pesquisa. Está localizado na zona do sertão alto, na mesorregião Sertão Pernambucano, microrregião Pajeú, limitando-se ao norte com o Estado da Paraíba, conforme a Figura 19.

Figura 19 – Localização do município de Triunfo



Fonte: Elaborado pela autora com auxílio do software QGis (2023)

Segundo o IBGE (2023), seu nome teve origem do resultado de uma luta entre a poderosa família dos Campos Velhos da cidade de Flores, com os habitantes da povoação da Baixa Verde, os quais querendo ver o progresso da localidade, começaram com a criação de uma feira, em que os Campos Velhos não ficaram satisfeitos, procurando com isto acabar por diversas vezes, até mesmo com prejuízo de vidas, mas não conseguiram. Esta insatisfação dos habitantes da Baixa Verde com os Campos Velhos da cidade de Flores, fez com que os habitantes da Baixa Verde tratassem logo de sua independência. Devido a esta vitória foi dado o nome ao município de Triunfo. Elevada à condição de cidade e sede do município com a denominação de Triunfo, pela lei provincial nº 1805, de 13-06-1884.

A população estimada pelo IBGE em 2022 foi de 27.498 habitantes e a densidade demográfica era de 33,63 habitantes por quilômetro quadrado, entre as coordenadas de Latitude: 7° 50' 26" Sul, Longitude: 38° 6' 1" Oeste.

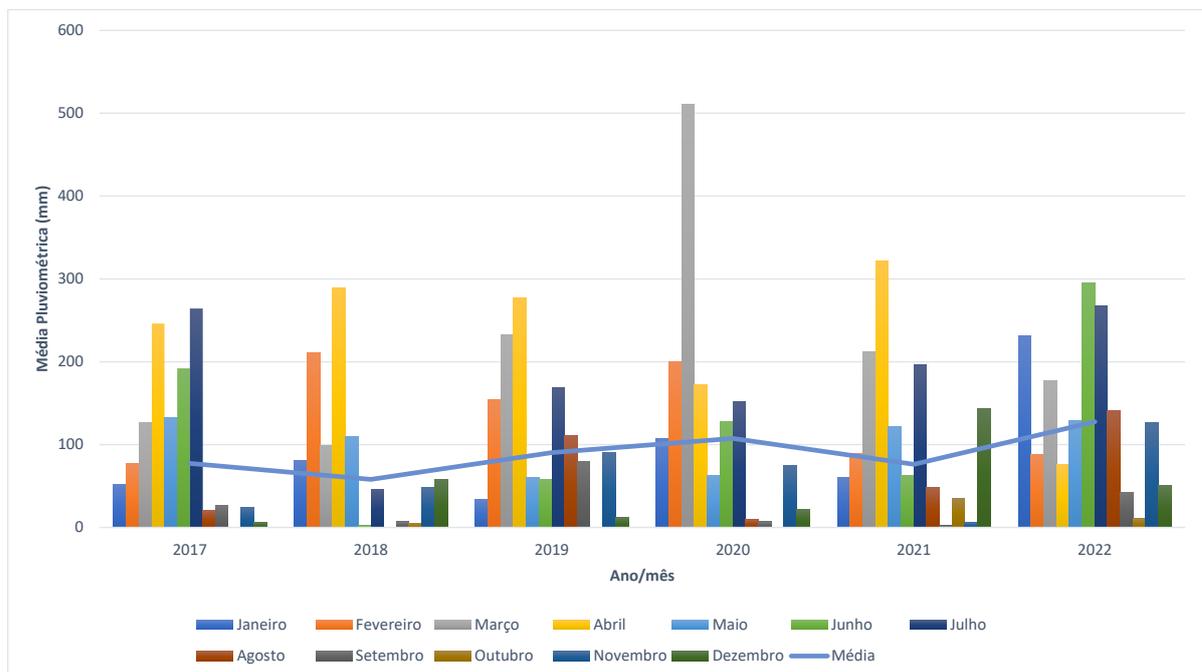
3.1 Aspectos climáticos

Sendo um dos menores município da área do Sertão de Pernambuco, Triunfo, ocupa apenas a área da Serra da Baixa Verde, outrora conhecida como serra Grande do Pajeú. Porém, possui o ponto mais alto do estado de Pernambuco, encontra-se na Serra da Baixa Verde no município de Triunfo a uma altitude de 1.260 m, e conhecido como Pico do Papagaio (IBGE, 2023).

A cidade de Triunfo está situada em uma zona temperada, o que dificulta a categorização das estações do ano. O clima ameno de Triunfo (PE) proporciona temperaturas baixas que na época mais fria. Seu clima é Semi Árido Quente com uma temperatura média de 20,4° C a sua vegetação é Floresta Subcaducifólia. Essa temperatura, entre outras particularidades como os pontos turísticos naturais, agrega valores intangíveis ao município.

Em anos com características normais a precipitação média anual (Figura 20) chega próximo a 20/50mm, a partir de fevereiro a faixa litorânea do estado passa a registrar uma maior intensidade de chuvas, com picos no mês de abril (INPE, 2022).

Figura 20 - Média Pluviométrica (2017 a 2022) - Triunfo

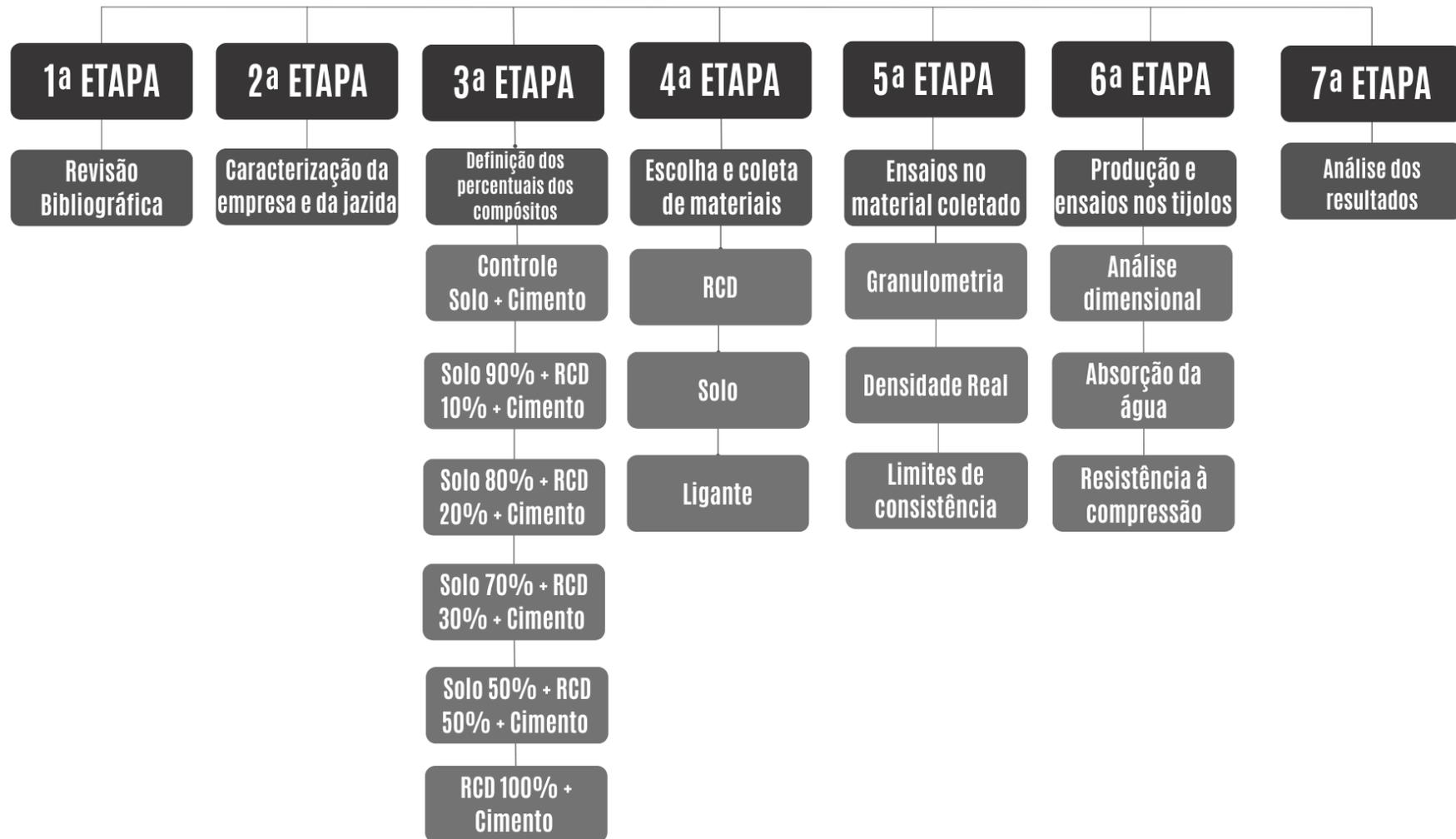


Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados dispostos do INPE

4. METODOLOGIA

A tipologia e detalhes da pesquisa serão descritos no presente capítulo. A pesquisa foi dividida em etapas conforme apresentada na Figura 21. A primeira etapa descreve a revisão bibliográfica, a segunda trata da caracterização da empresa, a terceira da coleta dos materiais pesquisados, já a quarta etapa a realização dos ensaios de caracterização física, geométrica e mecânica dos solos e resíduos, e posteriormente a quinta repete os ensaios realizados com a adição do RCD e suas novas misturas (10%, 20%, 30%, 50% e 100% de substituição), por fim, a sexta etapa trata da análise dos resultados.

Figura 21 – Fluxograma com etapas da pesquisa



Fonte: Autora

4.1 Revisão bibliográfica

Para desenvolvimento deste trabalho, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica e exploratória acerca do tema, que segundo Sousa, Oliveira e Alves (2021) este tipo de pesquisa está inserido especialmente no meio acadêmico e tem o objetivo no aperfeiçoamento e atualização do conhecimento, mediante a uma investigação científica de obras já publicadas.

De acordo com Prodanov e Freitas (2013) esse tipo de pesquisa coloca o pesquisador em contato direto com toda a produção escrita sobre a temática que está sendo estudada, demonstrando também a importância de verificar a veracidade dos dados obtidos, destacando assim as possíveis incoerências que tais obras possam apresentar. Ou seja, a busca de novas descobertas a partir de conhecimentos já elaborados e produzidos.

Segundo a pesquisa realizada por Viana e Gonçalves (2017) com a fabricação de tijolos ecológicos utilizando resíduos de construção civil em porcentagens de 10%, 20% e 50%, com prazo de cura de 07 e 14 dias que foram submetidas ao teste de resistência a compressão, apresentou como resultado que o tijolo ecológico com 50% de resíduo de construção destacou-se com os melhores resultados, com prazo de cura de 14 dias.

Para Lira (2020) com o estudo da viabilidade técnica na produção dos tijolos ecológicos com agregados reciclados de classe A obteve-se valores bem acima do requerido pela norma que é 1,7 MPa individualmente. No que compreende a média entre os 7 corpos de provas atingiu-se 5,75 MPa sendo superior aos 2,0 MPa's que a norma impõe.

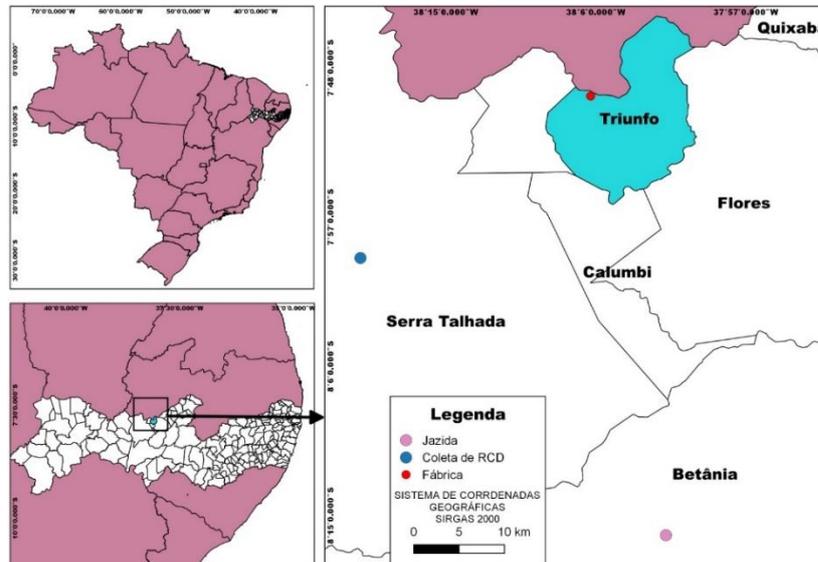
Já na pesquisa de Souza *et al.* (2016) os ensaios de compressão os traços compostos por 80% e 100% de RCD não foram fabricados por não atingirem a compactação suficiente e necessária para a retirada do tijolo da prensa, os mesmos continham uma grande quantidade de vazios existentes no traço, o que gerou um maior índice de porosidade. Com as adições de 20% de RCD na mistura melhorou-se consideravelmente a resistência do tijolo em relação ao solo puro, para proporção de 40% de RCD e com isso obteve-se uma maior resistência em relação ao traço com 20%. Porém o traço composto por 60% de RCD resultou em uma pequena queda na resistência comparado ao traço anterior.

4.2 Caracterização

4.2.1 Caracterização da empresa

A empresa estudada no município de Triunfo (Figura 22), atua desde 2018 no ramo do tijolo solo-cimento e também com piso intertravado. Como o objetivo de trazer para o município uma fábrica com fins sustentáveis e com métodos ecologicamente corretos.

Figura 22 – Localização das áreas estudadas



Fonte: Elaborado pela autora com auxílio do software QGis

A confecção dos tijolos iniciou por meio de uma prensa manual, porém no ano de 2022 foi substituída por uma prensa da EcoMaquinas, modelo EcoBrava com prensa hidráulica em uma direção com pistão com 6 Tf semi-manual, conforme a Figura 23.

As moldagens para tijolos apresentam dimensões de 25cm (comprimento) x 12,5cm (largura) x 7cm (altura) e o equipamento atualmente utilizado tem capacidade de produção de 1500 tijolos/dia.

Figura 23 – Prensa manual e hidráulica, respectivamente.



Fonte: Autora

A empresa é classificada como Microempresa (ME), segundo a classificação do SEBRAE, mas visa seu desenvolvimento e aumento da produção. Com isso, o intuito da pesquisa, além da análise do tijolo solo-cimento e sua adição com resíduos da construção civil (RCD), é proporcionar um crescimento na economia da empresa e conseqüentemente do município.

4.2.2 Caracterização da jazida de extração

A área é uma jazida ativa de extração e refino de minerais não-metálicos (Figura 24). Encontra-se localizada as margens da PE-340 na Zona Rural em Flores – PE.

Figura 24 – Jazida do estudo



Fonte: Autora

4.3 Definição dos percentuais dos compósitos

Por meio de uma análise realizada em trabalhos de mesma linha de estudo, Tabela 2, foi obtida uma base fundamental para composição das misturas a serem avaliadas. Visando ampliar a linha de estudo com novas misturas e comparar o comportamento das mesmas, definiu-se os percentuais dos compósitos: S100 (traço controle); S90R10; S80R20; S70R30; S50R50 e R100, sendo solo, 10% de RCD, 20% de RCD, 30% de RCD, 50% de RCD e 100% RCD, respectivamente.

Ademais, o traço utilizado foi 1:7 3L, a quantidade de água utilizada em padrões normais de fabricação se torna variável perante condições do solo acarretado pelo clima.

Tabela 2 – Análise de misturas utilizadas em pesquisas de outros autores

ANO	AUTORES	PERCENTUAIS DOS COMPÓSITOS
2018	CAMPOS; PINA	Solo Puro 90% Solo + 10% RCD 80% Solo + 20% RCD 70% Solo + 30% RCD
2017	VIANA; GONÇALVES	Solo Puro 90% Solo + 10% RCD 80% Solo + 20% RCD 50% Solo + 50% RCD
2016	PINATT; ILDEFONSO LUKIANCHUKI; REIS	Solo Puro 75% Solo + 25% RCD 50% Solo + 50% RCD
2016	SOUZA, <i>et al.</i>	Solo Puro Solo 20% Solo 40% Solo 60% Solo 80% 100% RCD

Fonte: Autora

4.4 Coleta e escolha dos materiais

4.4.1 Coleta do resíduo de construção e demolição

A coleta foi realizada em uma empresa que fabrica pré-moldados, blocos estruturais e de vedação, localizada na cidade de Serra Talhada – PE (Figura 22).

Os resíduos provêm da produção das manilhas de concreto (Figura 25) que não são aproveitados ficando em contato com solo e outros materiais diversos.

Figura 25 – Resíduos descartados durante a fabricação das manilhas de concreto



Fonte: Autora

Como foi definido a substituição para 10%, 20%, 30%, 50% e 100%, foram coletados mais de 100 kg (Figura 26) para a realização das misturas nos tijolos solo-cimento e para realização dos demais testes característicos.

Figura 26 – Coleta de RCD



Fonte: Autora

4.4.2 Coleta do solo

O solo foi coletado do material disposto na fábrica, que é extraído da mesma jazida de estudo (Figura 24).

4.4.3 Ligante ou estabilizante

Para desenvolvimento da pesquisa foram utilizados cimento Portland de alta resistência inicial (CP-V – ARI) comercializados em sacos de 40kg (estabilizante).

4.5 Ensaios no material coletado

As análises de caracterização física foram realizadas nos laboratórios de Tecnologia da Construção, Mecânica dos Solos e Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, na cidade de Serra Talhada/PE. O solo utilizado na produção do tijolo deve atender os requisitos da NBR 10833 (ABNT, 2013), citados a seguir:

- Solo passante na Peneira 4,75 mm total de 100%;
- Fração passante na peneira 0,075 mm de 10% a 50%;
- Limite de liquidez $\leq 45\%$;
- Índice de plasticidade $\leq 18\%$.

Com o objetivo de descrever as características dos materiais utilizados foi feita a caracterização física do solo e dos resíduos, separadamente, além dos compósitos com peneiramento, sem adição de cimento.

4.5.1 Granulometria

A curva granulométrica do solo, do RCD e das misturas foram obtidas através do ensaio de granulometria por peneiramento e por sedimentação, seguindo as recomendações da NBR 7181 (ABNT, 2018) e a classificação das frações dos solos de acordo com a sua granulometria, pela NBR 6502 (ABNT, 2022), conforme as Figuras 27 e 28.

Figura 27 – Granulometria por peneiramento



Fonte: Autora

Figura 28 – Granulometria por sedimentação



Fonte: Autora

4.5.2 Densidade real dos grãos

A densidade real foi realizada seguindo os critérios estabelecidos pela norma NBR 6457 (ABNT, 2016) e NBR 6458 (ABNT, 2017). Foram realizados três ensaios pelo método do picnômetro ABNT – NBR 6508 (1984).

4.5.3 Limites de consistência

Para determinação dos limites de Attemberg, foram utilizadas as normas NBR 6459 (ABNT 2017) e NBR 7180 (ABNT, 2016), as quais abordam limites de liquidez, limite de plasticidade e o índice de consistência.

4.5.2 Produção do tijolo solo-cimento

A etapa de produção dos tijolos solo-cimento seguiu as recomendações da NRB 10833 (ABNT, 2013), conforme a Figura 29.

Figura 29 – Produção dos tijolos



Fonte: Adaptado da NBR 10833

Para o preparo do solo, utilizou-se o triturador, uma peneira com malha de abertura 4,75mm e balança digital. Para o preparo dos tijolos ecológicos (Figura 30) foi utilizada uma prensa hidráulica.

Figura 30 - Tijolo produzido após prensagem



Fonte: Autora

Conforme as recomendações da NBR 8492 (ABNT, 2012) foram destinados para análise dimensional 10 tijolos para cada mistura determinada, onde, 3 amostras seguiram para o ensaio de absorção de água e 7 amostras para o ensaio de resistência a compressão, no Laboratório de Tecnologia da Construção do IFSertãoPE, campus Serra Talhada, totalizando 60 tijolos para realizações desses ensaios.

4.5.3 Ensaio nos tijolos produzidos

4.5.3.1 Análise dimensional

De acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012) a tolerância dimensional é de ± 1 mm em suas dimensões. Logo, foram medidos com paquímetro de alta precisão.

A norma ainda determina as dimensões nominais que devem ser respeitadas para sua aprovação em relação ao comprimento, altura e largura. São necessárias pelo menos três medições em pontos distintos e a realização da média destas para análise.

Ademais, no caso dos tijolos com furos, a norma acresce que a espessura mínima das paredes em seu entorno deve ser de 25 mm e a distância mínima entre os furos de 50 mm.

4.5.3.2 Absorção de água

Seguindo a NBR 8492 (ABNT, 2012) 3 tijolos solo-cimento foram destinados ao teste de absorção de água. Utilizou-se estufa de secagem (Figura 31) e balança de precisão, além de recipiente para garantir a saturação total do material (Figura 32).

Para determinação da absorção foi utilizada a seguinte equação:

$$A = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100\% \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

A é a absorção de água (%);

m1 é a massa do corpo de prova seco em estufa (g);

m2 é a massa do corpo de prova saturado (g).

Segundo preconiza a norma a amostra ensaiada não pode apresentar a média dos valores maior do que 20%, nem valores individuais maiores do que 22%.

Figura 31 – Tijolos na estufa



Fonte: Autora

Figura 32 – Tijolos dispostos em água



Fonte: Autora

4.5.4.2 Resistência à compressão simples

Os 7 tijolos restantes que foram separados, seguindo a NBR 8492 (ABNT, 2013), receberam um corte ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão. Foi realizado o preparo de uma fina camada de pasta de cimento (Figura 33) seguidos da união entre as faces, sempre aguardando aproximadamente 12 h antes de proceder cada etapa, e do capeamento (Figuras 34 e 35).

Figura 33 – Preparo da pasta niveladora



Preparo da pasta de cimento com repouso de aproximadamente 30 min, onde sua resistência não pode ser menor que a do tijolo em ensaio.

Fonte: Autora

Figura 34 – União entres faces



Fonte: Autora

Figura 35 – Capeamento dos tijolos



Fonte: Autora

Após a cura do material, os corpos de prova foram imersos em um tanque com água por no mínimo 6 h, completando a fase de saturação. Logo após esse período os corpos de prova

foram retirados da água e enxugados superficialmente com um pano levemente umedecido e tiveram suas dimensões das faces de trabalho determinadas com exatidão de 1 mm, sem o desconto das áreas de furos ou reentrâncias, tudo isso em um período de no máximo 3 minutos.

Os corpos de provas foram colocados, de modo centralizado, diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão (Figura 36) com aplicação da carga uniforme e à razão de 500 N/s (50 kgf/s).

Figura 36 - Disposição do tijolo na máquina de ensaio à compressão



Fonte: Autora

Para obtenção da resistência à compressão a Equação 2 foi utilizada assim como prevê a NBR 8492 (ABNT, 2013) a seguinte equação:

$$F_t = \frac{F}{S} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

F_t é a resistência à compressão simples (Mpa);

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

S é a área de aplicação da carga (mm²).

Para análise de resistência à compressão os valores não devem ter sua média inferior a 2,0 Mega pascal (MPa), nem individualmente obter resultados inferiores a 1,7MPa com idade mínima de 7 dias de cura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização física

5.1.1 Granulometria

Na análise granulométrica, o Solo (S100) e o RCD (R100) se apresentaram como material arenoso, com 75,64% e 44,28% de areia, respectivamente. Como esperado, à medida que o percentual de resíduo de construção e demolição é incorporado na mistura, o material se tornou mais granular, com maiores percentuais de areia, exceto no R100 com 55,66% de pedregulho em sua composição, conforme mostrado na Figura 37.

Analisando os critérios estipulados pela NBR 10833 (ABNT, 2013) a avaliação das frações granulométricas permite analisar os que propõe uma caracterização do solo mais arenosa. Em conformidade com a pesquisa de Gonçalves (2022), os solos finos com características argilosas podem dificultar o processo de desmoldagem do tijolo assim sai da prensa, e também apresenta alta retração plástica durante a secagem.

Para a produção de tijolos de solo cimento seguindo as diretrizes da NBR 10833 (ABNT, 2013), ressalta-se ainda que os compósitos atenderam aos critérios da referida norma, com exceção do resíduo R100 e S50R50 que obtiveram apenas 44,42% e 99,77%, respectivamente, do material passante na peneira 4,75 mm.

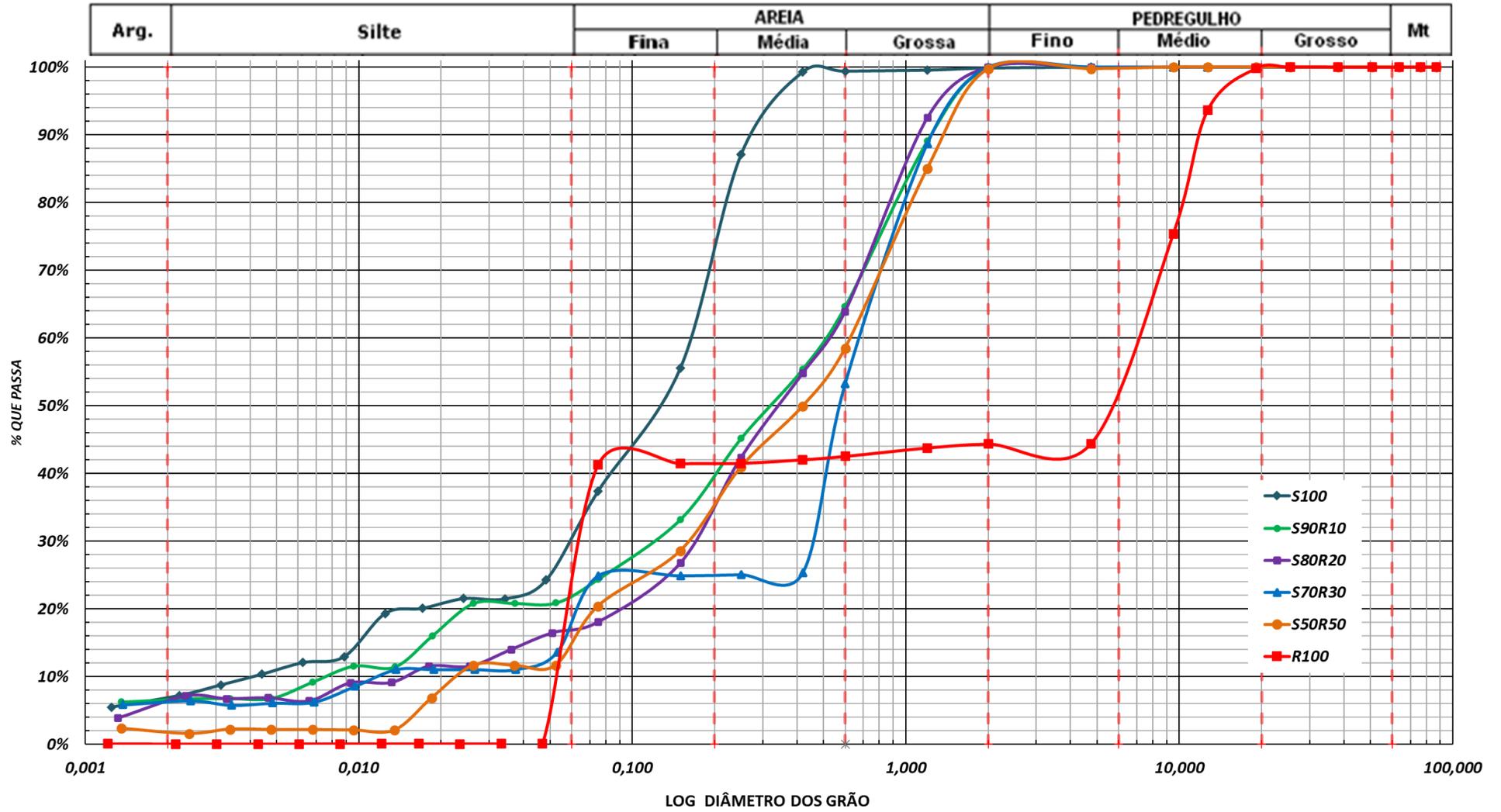
A Tabela 3 apresenta os percentuais das frações das amostras de solo, RCD e misturas destes materiais no presente estudo.

Tabela 3 - Fração granulométrica dos materiais

Fração (mm)	Misturas					
	S100	S90R10	S80R20	S70R30	S50R50	R100
Argila	6,85%	6,50%	6,06%	6,20%	1,87%	0,06%
Silte	17,40%	14,50%	10,41%	7,40%	9,79%	0,01%
Areia	75,64%	78,90%	83,53%	86,40%	88,11%	44,28%
Pedregulho	0,11%	0,10%	0,00%	0,00%	0,23%	55,66%

Fonte: Autora

Figura 37 – Curva Granulométrica (Porcentagem que passa X Diâmetro dos grãos)



Fonte: Autora

5.1.2 Densidade real dos grãos

Os ensaios para obtenção da densidade real dos grãos relacionados ao solo, RCD e suas devidas misturas estão apresentados na Tabela 4. Dos valores obtidos, destacou o RCD (R100) com maior densidade real, seguido do solo (S100), já o S90R10 apresentou o menor valor.

Tabela 4 – Densidade real dos grãos em g/m³

Identificação	Densidade Real (g/m ³)
S100	2,64
S90R10	2,57
S80R20	2,71
S70R30	2,60
S50R50	2,66
R100	3,13

Fonte: Autora

Nota-se que o S100 apresenta um valor de 2,64 g/m³ e diminui relativamente à medida que o RCD é acrescentado nas misturas, com pequenos aumentos no S80R20 (2,71 g/m³) e S50R50 (2,66 g/m³).

Especificamente sobre o RCD, a densidade real foi de 3,13 g/cm³, valor relativamente alto para um agregado reciclado, o que contradiz os valores encontrados em Barreto (2020) o valor encontrado para o RCD foi de 2,54 g/m³ e Nascimento *et al.* (2021) de 2,61 g/m³ e o fato de que o RCD é constituído por grãos maiores aos do solo, o que faz com que a sua área específica seja menor e, conseqüentemente, tenha uma densidade menor.

Outro aspecto que pode ter influenciado essa discrepância é a natureza do próprio resíduo, sendo originado por materiais naturais como, areia, cimento, solo, pedras.

Não foram realizados os ensaios de massa específicas para o cimento pelo fato de que a pesquisa teve caráter de caracterização dos resíduos utilizados e não para efeito de cálculo para traços.

5.1.3 Limites de Atterberg

Não foi possível moldar as amostras para o ensaio de plasticidade, sendo assim, o solo, o RCD e suas misturas foram classificados como não plásticos (NP) e não líquido (NL). Conforme analisado por Nascimento *et al.* (2021) em seu estudo, o RCD se classificaria como

não NL e NP, porém neste estudo era esperado na análise do solo a presença de alguma porcentagem equivalente aos Limites de Atterberg para produção correta dos tijolos solo-cimento. Ademais, como esse resultado é um retrato da produção da empresa de tijolos, foi mantida a linha de pesquisa com este solo.

5.2 Caracterização geométrica

5.2.1 Análise dimensional

Respaldando-se na NBR 8491 (2012), para cada dimensão dos corpos de prova, foi imprescindível a execução de, no mínimo, 3 determinações em pontos distintos de cada face das amostras. Posto isso, na Tabela 5 é possível observar as médias das categorias de comprimento, largura, altura, espessura, diâmetro e desvio padrão de cada corpo de prova aos 14 dias de cura, obtidas com o auxílio do paquímetro digital, em décimo de unidade, expressa em milímetros (mm).

Tabela 5 - Análise dimensional (mm) - Valores médios

ANÁLISE DIMENSIONAL (mm) - VALORES MÉDIOS					
ID	COMPRIMENTO	LARGURA	ALTURA	ESPESSURA	DIÂMETRO
S100	250,51	125,58	75,57	33,25	66,97
S90R10	250,40	125,60	76,62	33,18	66,89
S80R20	250,46	125,67	76,59	33,21	66,82
S70R30	250,85	125,53	75,88	33,22	66,73
S50R50	250,26	125,50	76,84	33,19	66,70
R100	250,44	125,51	76,75	33,28	66,67

Fonte: Autora

A variação média dimensional permitida para os tijolos de solo cimento é de ± 1 mm. Quanto aos valores de largura e comprimento todos os tijolos moldados apresentaram resultados satisfatórios com o requisito da referida norma. Estes valores podem estar associados às condições de prensagem, realizadas no mesmo dia para todos os traços, utilizando a fôrma com pouco tempo de uso e desgaste mínimo dimensional.

Os resultados encontrados para a análise dimensional da altura dos tijolos solo cimento variaram, apresentando a maior variação $\pm 0,23\text{mm}$ no traço S50R50 (solo com adição de 50% de RCD), e menor média observada no traço S100 (100% solo, traço controle) com $\pm 0,05\text{mm}$.

5.2.2 Absorção de água

Na Tabela 6 tem-se os resultados da capacidade de absorção de água de todos os tipos de tijolos solo-cimento estudados, aos 14 dias de idade.

Tabela 6 - Índice de Absorção de Água

IDENTIFICAÇÃO	MASSA SECA (g)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA	AVALIAÇÃO MÉDIA
S100	3439,32	3914,37	13,81		
S100	3420,59	3911,49	14,35	14,73	APROVADO
S100	3427,51	3976,65	16,02		
S90R10	3490,56	3900,5	11,74		
S90R10	3700,39	4074,8	10,12	10,59	APROVADO
S90R10	3650,8	4012,48	9,91		
S80R20	3502,67	3946,51	12,67		
S80R20	3628,77	3990,05	9,96	11,16	APROVADO
S80R20	3533,91	3917,23	10,85		
S70R30	3433,21	3846,31	12,03		
S70R30	3531,88	3867,16	9,49	10,51	APROVADO
S70R30	3518,91	3870,64	10,00		
S50R50	3577,15	3966,22	10,88		
S50R50	3531,39	3919,69	11,00	11,27	APROVADO
S50R50	3534,99	3957,21	11,94		
R100	3507,6	3820,74	8,93		
R100	3480,15	3831,72	10,10	9,51	APROVADO

Fonte: Autora

Verifica-se que todos os tijolos ensaiados apresentaram valores médios de absorção de água dentro do limite imposto pela NBR 8491 (ABNT, 2012) correspondente a 20%, o que influencia diretamente na porosidade e vida útil do tijolo.

De acordo com o estudo Campos e Pina (2018) com o RCD triturado e com peneiramento antes da fabricação era previsto, teoricamente, a eliminação da disposição do material em formato de pequenos coágulos, ou seja, tijolos menos porosos que consequentemente apresentariam menores indicadores de absorção de água.

Neste sentido, os resultados mais satisfatórios foram encontrados no compósito R100 com 9,51%, seguido do traço S70R30 com 10,51%, confirmando ainda mais o conceito de compacidade, onde devido ao alto grau de empacotamento das partículas. O resultado com

maior porcentagem média de absorção de água foi o S100 com 14,73%, mesmo sendo o maior valor o mesmo encontra-se adequado as exigências impostas pela norma.

Analisando os valores encontrados é possível perceber que a absorção de água foi diminuindo à medida que o resíduo RCD foi incorporado dado seu tratamento pré-fabricação. Em contrapartida, os compósitos S80R20 e S50R50 houve um pequeno aumento da porcentagem de absorção de água.

É válido ressaltar que nenhum tijolo apresentou qualquer tipo de desagregação nem deformação ao longo e após a realização dos ensaios na idade estudada.

5.3 Caracterização mecânica

5.3.1 Resistência à compressão

Na análise do presente estudo os ensaios de Resistência à compressão aos 21 dias demonstraram ser eficazes para o problema enfrentado de reprovação nos tijolos S100 (tijolos de controle), já que a resistência individual necessita apresentar um valor maior ou igual a 1,7 MPa e uma média geral maior ou igual a 2,0 Mpa, como demonstra a Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados individuais de Resistência à Compressão aos 21 dias de idade

Identificação	Área de aplicação da carga(mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistência (Mpa)	SITUAÇÃO
S100 - 4	16042,73	30800	1,92	APROVADO
S100 - 5	16222,64	35700	2,20	APROVADO
S100 - 6	16299,24	23800	1,46	REPROVADO
S100 - 7	17103,72	37900	2,22	APROVADO
S100 - 8	17034,15	25300	1,49	REPROVADO
S100 - 9	16170,32	34500	2,13	APROVADO
S100 - 10	16580,00	26000	1,57	REPROVADO
MÉDIA GERAL			1,85	REPROVADO
S90R10 - 4	15689,91	44100	2,81	APROVADO
S90R10 - 5	15944,72	43400	2,72	APROVADO
S90R10 - 6	15691,39	41300	2,63	APROVADO
MÉDIA GERAL			2,72	APROVADO
S80R20 - 5	16053,66	37600	2,34	APROVADO
S80R20 - 8	16051,76	37300	2,32	APROVADO

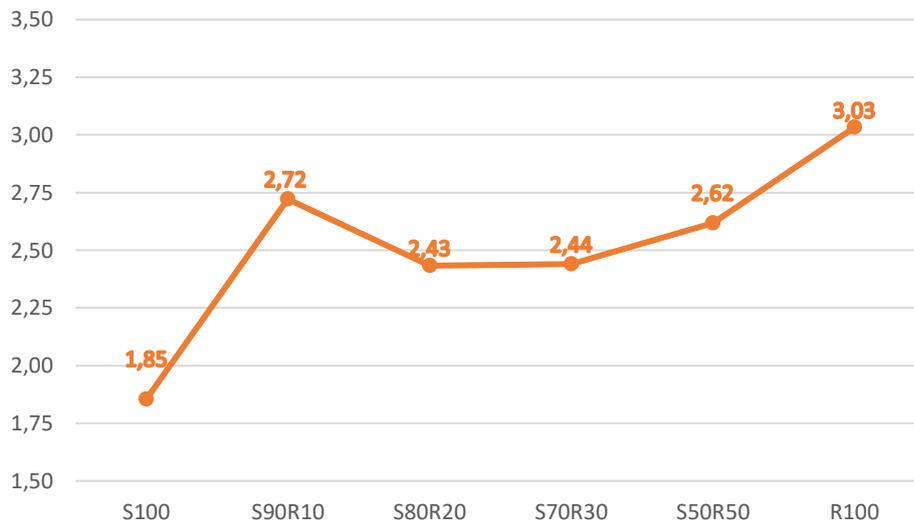
S80R20 - 10	15776,81	41600	2,64	APROVADO
		MÉDIA GERAL	2,43	APROVADO
S70R30 - 5	15749,50	40600	2,58	APROVADO
S70R30 - 8	15731,59	35700	2,27	APROVADO
S70R30 - 10	16267,63	40200	2,47	APROVADO
		MÉDIA GERAL	2,44	APROVADO
S50R50 - 4	15661,23	46900	2,99	APROVADO
S70R30 - 8	15943,81	44100	2,77	APROVADO
S70R30 - 9	15882,04	33300	2,10	APROVADO
		MÉDIA GERAL	2,62	APROVADO
R100 - 4	16028,92	49400	3,08	APROVADO
R100 - 8	16192,35	48300	2,98	APROVADO
		MÉDIA GERAL	3,03	APROVADO

Fonte: Autora

O menor valor individual obtido é encontrado no traço S100 – 8 com um valor de 1,65, o que representa reprovação segundo dos critérios estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012). Já o maior valor foi encontrado pelo traço R100 – 4 com 3,08 MPa o que corresponde a um acréscimo de quase 1,4 comparado com o valor estabelecido pela norma. Ademais, com exceção do S100 – 8 todos os outros resultados foram satisfatórios e atenderam os critérios estabelecidos.

É possível identificar, na Figura 38, a média dos resultados dos traços S90R10, S80R20, S70R30, S50R50 e R100 aumentou significativamente em relação ao S100. O maior valor encontrado refere-se ao R100 com um resultado de 3,03 MPa.

Figura 38 - Média do Ensaio à compressão aos 21 dias (Valores em em MPa)



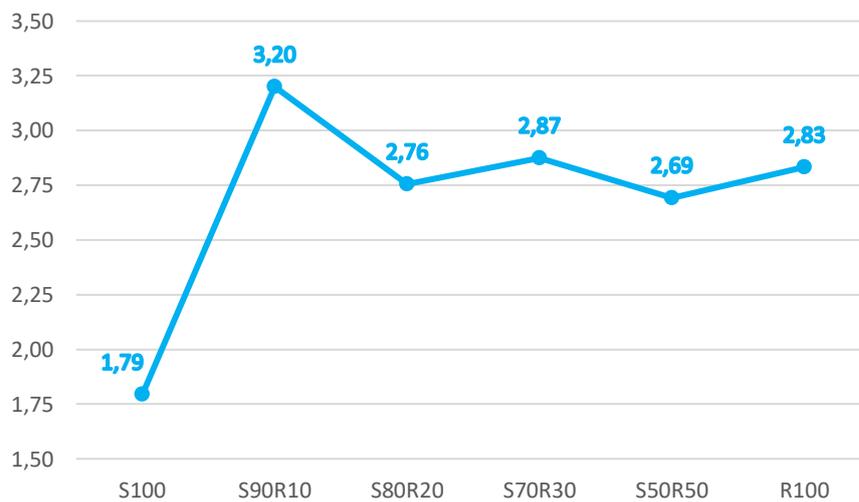
Fonte: Autora

A adição de 10% de RCD quase não demonstra diferença na média de resistência, representado pelos 2,4 MPa encontrados no S80R20 e S70R30.

Os valores encontrados apresentam um acréscimo de 1,0 MPa com a adição de 10% de RCD e à medida que é adicionado o resíduo essa resistência decresce 0,3 MPa, até que com a adição a partir de 50% de RCD esse resultado volta a apresentar alta.

Como demonstra a Imagem 39, nos ensaios de Resistência à compressão aos 28 dias ocorre uma diminuição na média dos tijolos solo-cimento S100 (S100 – 8), porém apenas uma das amostras foi reprovada nesse traço.

Figura 39 - Média do Ensaio à compressão aos 28 dias (Valores em MPa)



Fonte: Autora

Já, a aprovação individual nos demais traços se mantém, Tabela 8. Desta vez o maior resultado individual ficou detido no traço S90R10 – 7, com um resultado de 3,33 MPa.

Tabela 8 – Resultados individuais de Resistência à Compressão aos 28 dias de idade

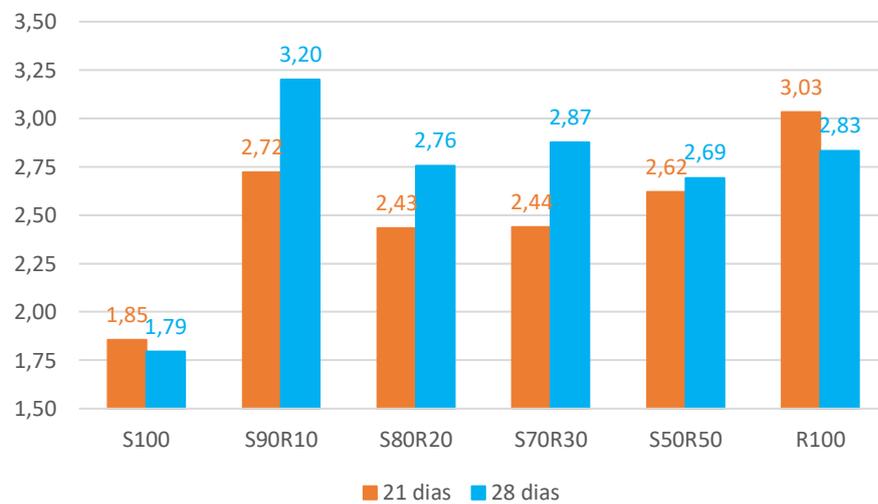
Identificação	Área de aplicação da carga (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistência (Mpa)	SITUAÇÃO
S100 - 4	15401,75	26200	1,70	APROVADO
S100 - 5	15682,13	29200	1,86	APROVADO
S100 - 6	16522,66	28100	1,70	APROVADO
S100 - 7	15362,16	30100	1,96	APROVADO
S100 - 8	15398,53	25400	1,65	REPROVADO
S100 - 9	15575,11	27000	1,73	APROVADO
S100 - 10	15401,75	30100	1,95	APROVADO
MÉDIA GERAL			1,79	REPROVADO
S90R10 - 7	16234,47	54100	3,33	APROVADO
S90R10 - 8	15952,76	48200	3,02	APROVADO
S90R10 - 9	16248,90	48900	3,01	APROVADO
S90R10 - 10	15745,44	54100	3,44	APROVADO
MÉDIA GERAL			3,20	APROVADO
S80R20 - 4	16233,31	43100	2,66	APROVADO
S80R20 - 6	15942,18	41300	2,59	APROVADO
S80R20 - 7	15525,22	53100	3,42	APROVADO
S80R20 - 9	16437,83	38700	2,35	APROVADO
MÉDIA GERAL			2,76	APROVADO
S70R30 - 4	15959,82	42600	2,67	APROVADO
S70R30 - 6	16036,94	48800	3,04	APROVADO
S70R30 - 7	15930,31	52600	3,30	APROVADO
S70R30 - 9	16181,10	40200	2,48	APROVADO
MÉDIA GERAL			2,87	APROVADO
S50R50 - 5	16422,29	51700	3,15	APROVADO
S50R50 - 6	15374,23	35600	2,32	APROVADO
S50R50 - 10	16028,72	39100	2,44	APROVADO
S50R50 - 11	16181,10	46400	2,87	APROVADO
MÉDIA GERAL			2,69	APROVADO
R100 - 3	15911,30	41100	2,58	APROVADO
R100 - 5	15752,08	45500	2,89	APROVADO
R100 - 6	16275,74	50100	3,08	APROVADO
R100 - 7	15587,55	43300	2,78	APROVADO
MÉDIA GERAL			2,83	APROVADO

Fonte: Autora

Com essa análise é possível observar que a média da resistência do S100 diminuiu em comparação aos 21 dias. Os resultados obtidos no S80R20, S70R30 e S50R50 apontam um aumento esperado de resistência mantendo o padrão de aumento com adição do RCD e resistência do S90R10 cresce em 0,48 MPa, apresentando o maior valor médio aos 28 dias de 3,20 MPa.

Porém, a utilização de 100% do RCD expõe um resultado inferior aos 28 dias, tendo uma diferença de 0,2 a menos comparado com o valor do R100 aos 21 dias, o que é justificado pelo fato de que a média aos 21 dias foi formada apenas por duas amostras, e a resistência do S90R10 cresce em 0,48 MPa, apresentando o maior valor médio aos 28 dias de 3,20 MPa. Mesmo assim, todas as misturas com o RCD atendem o que estabelece a NBR 8491 (ABNT, 2012), a Figura 40 demonstra de modo mais sucinto os valores obtidos com a finalização do ensaio.

Figura 40 – Comparativo de resistência 21 dias X 28 dias (Valores em MPa)



Fonte: Autora

6. CONCLUSÃO

Após análises obtidas no presente trabalho foi possível avaliar as propriedades geométricas, físicas e mecânicas de um tijolo solo-cimento com substituições parciais e total de agregados provenientes de RCD. Foi possível averiguar a qualidade do solo, juntamente com a do RCD e de seus compósitos, constatando uma irregularidade na plasticidade do solo utilizado, mas a correção do mesmo com a utilização dos resíduos.

A reutilização de resíduos gerados pela construção civil consiste em um importante aspecto de sustentabilidade, uma vez que insere uma nova ótica destes RCD e sua reutilização perante a sociedade. Para o setor da construção civil significa uma somatória de valores: econômicos, políticos, científicos, tecnológicos e principalmente proporcione uma melhoria na vida da sociedade e do ambiente em que a mesma está inserida.

Conclui-se a viabilidade técnica e econômica da incorporação destes resíduos na incorporação para produção de tijolos ecológicos, indicando uma alternativa ainda mais sustentável para construção civil, pois além de atender as imposições dispostas em normas regulamentadoras, sua destinação com o incremento do RCD une os atributos ecológicos dos tijolos de solo-cimento com um custo reduzido nos preços dos insumos de fabricação.

Futuros estudos devem ser desenvolvidos com intuito de utilizar diferentes tipos de solo com a finalidade de aproximar a mistura da que seria a ideal para este tipo de aplicação e a verificação com a adição do RCD para sua resistência máxima na produção dos tijolos ecológicos, além da avaliação financeira e da trabalhabilidade logística desta incorporação de resíduos no processo produtivo e na execução das obras.

7. REFERÊNCIAS

- ABCP, Associação brasileira de cimento Portland. Solo-cimento. Homepage. 2009. Disponível em: <<https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento/>>. Acesso em: 24 de setembro de 2020.
- ALFAIA, Raquel Greice de Souza Marotta; COSTA, Alyne Moraes; CAMPOS, Juacyara Carbonelli. Municipal solid waste in Brazil: a review. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, [S.L.], v. 35, n. 12, p. 1195-1209, 1 nov. 2017. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x17735375>.
- ABCERAM, Associação brasileira de cerâmica, 2019. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/asp/abc_0.asp> Acesso em: 13 abr. 2023. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.
- ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>.
- ABRAINCO, Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias. PIB da Construção tem alta de 6,9% em 2022 e puxa crescimento da economia. Disponível em: <https://www.abrainco.org.br/construcao-civil/2023/03/02/pib-da-construcao-tem-alta-de-69-em-2022-e-puxa-crescimento-da-economia>. Acesso em: 07 maio 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10004: Resíduos sólidos—classificação. Rio de Janeiro, p. 9-11: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8491: Tijolo de solo-cimento — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

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

ABRECON, Associação Brasileira Para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. 70% do entulho no Brasil é descartado incorretamente. Disponível em: <https://abrecon.org.br/artigos/70-do-entulho-no-brasil-e-descartado-incorretamente#:~:text=A%20massa%20total%20de%20res%C3%ADduos,baldios%20e%20at%C3%A9%20na%20rua..> Acesso em: 07 jun. 2023.

ANITECO, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO TIJOLO ECOLÓGICO. 2022. Disponível em: < <https://www.aniteco.org.br/o-tijolo-ecologico> > . Acesso em: 15 de jun. de 2023.

BARATTO, Romullo. Creche em Florianópolis é a primeira do mundo com selo máximo de arquitetura sustentável. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/927009/crecheem-florianopolis-e-a-primeira-do-mundo-com-selo-maximo-de-arquiteturasustentavel?fbclid=IwAR0DONw0fRmKUW24dg1sXlv6qqORhten7YRhmP4FE4inCNQyEWsoTjL8D4M>.

BARRETO, S. S. Fabricação de tijolos prensados de solo-resíduos-cimento e avaliação de desempenhos térmico e acústico. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, 2020. 112p. (Dissertação, Mestrado em Tecnologia dos Materiais).

BARROS, R. M. et al. A potential of the biogas generating and energy recovering from municipal solid waste. *Renewable Energy Focus*, v. 25, p. 4-16. 2018.

BATISTA, Felipe Prestes; FERNANDES, Fernando de Farias. TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM FIBRAS VEGETAIS DE JUTA E MALVA. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – Contecc, Goiânia, p. 1-5, ago. 2022.

BATISTA, L. dos S.; KUMADA, K. M. O. Análise metodológica sobre as diferentes configurações da pesquisa bibliográfica. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, [S. l.], v. 8, p. e021029, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/113>. Acesso em: 11 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 de Julho de 2002. Seção 1, p. 95-96.

CAIXA - Caixa Econômica Federal. Selo Casa Azul. Brasília: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2023.

CAMPOS, Isaque Carlos; PINA, Rafael Costa Álvares de. Estudo da viabilidade de utilização de resíduo de construção e demolição na fabricação de tijolos solo-cimento. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 83 p. 2018.

CAMPOS, Thainara Vitoria de Oliveira et al. Inovação Tecnológica Sustentável na Construção Civil: Tijolo de Solo-Cimento com Reaproveitamento de Lodo de Estação de tratamento de Água. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 1-10, 2023.

Certificação Gbc Brasil Zero Energy. Guia de certificação Zero Energy. 2017. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2019/06/Guia-Zero-Energy-Completo.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2023.

CICLO AMBIENTAL. Camaragibe, 2023. Disponível em: <https://cicloambientalrcc.com.br/empresa.php>. Acesso em: 15 maio 2023.

Conab, Companhia Nacional de Abastecimento. Produção de cana chega a 610,1 milhões de toneladas na safra 2022/23 com melhora na produtividade nas lavouras. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4977-producao-de-cana-chega-a-610-1-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23-com-melhora-na-produtividade-nas-lavouras>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CRISTINA, Pâmela et al. Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 7, n. 9, p. 1-18, 31 maio 2018. *Research, Society and Development*. <http://dx.doi.org/10.17648/rsd-v7i9.439>.

DANTAS, Paula et al. ESTUDO GRANULOMÉTRICO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA FABRICAÇÃO DE MISTURA DE SOLO-CIMENTO. *Global Science & Technology*, [S.L.], v. 12, p. 87, 2019.

DIAS, Luana Inêz Ribeiro; RAMOS, Elizabeth das Chagas; FLORENCIO, Odila. Aproveitamento de Resíduos da Construção e Demolição (Rcd) na fabricação de blocos de concreto sem e com adição de óxido de grafeno/ Use of Construction and Demolition Waste (Rcd) in The Manufacture of concrete Blocks Without And With The Addition Of Graphene Oxide. *Brazilian Journal Of Development*, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 5972-5989, 2021. *Brazilian Journal of Development*. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n1-407>.

DUAN, H.; MILLER, T.R.; LIU, G.; TAM, V.W.Y. Construction debris become growing concern of growing cities. *Waste management*, v. 83, p. 1-5, 2019.

El-Attar MM, Sadek DM, Salah AM (2017) Reciclagem de grandes volumes de pó de forno de cimento na indústria de tijolos. *J Clean Prod* 143:506–515.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.082>.

Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

EUPHROSINO, Camila Augusto et al. Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária. *Matéria* (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 27, n. 1, p. 1-13, mar. 2022. FapUNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2021-47087>.

FARIA, K. C. P.; GURGEL, R. F.; HOLANDA, J. N. F. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. *Journal of Environmental Management*, v. 101, p. 7-12, 2012.

FIAIS, Bruna Barbosa; SOUZA, Danilo Sarto de. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COM TIJOLO ECOLÓGICO. Revista Engenharia em Ação Unioledo, Araçatuba, v. 02, n. 01, p. 94-108, jan. 2017.

from municipal solid waste. Renewable Energy Focus, v. 25, p. 4-16. 2018.

FROUFE, M.M.; OLIVEIRA, C.H.V.R. Certificação GBC Brasil casa. In: SEROA, Ana; BARZELLAY, Bruno. Riscos urbanos decorrentes do aquecimento global. Ed. Autografia, Rio de Janeiro. v.3, 2018, p. 290-302.

FROUFE, Mariângela Monteiro; MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito; SOARES, Carlos Alberto Pereira. Indicadores de sustentabilidade em canteiros de obras, segundo o PBQP-h. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 10149-10163, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n3-044>.

GOMES, Carla Pinheiro et al. Impacto Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Advindos da Construção Civil no Brasil: Uma Revisão de Literatura/Environmental Impact and Solid Waste Management Arising from Civil Construction in Brazil: A Literature Review. ID on line REVISTA DE PSICOLOGIA, v. 15, n. 55, p. 729-742, 2021.

GBC, Brasil. Anuário GBC Brasil 2022, v. 3, n. 1, p. 1-164, ago. 2022. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/anuario-gbc-brasil-2022/>. Acesso em: 30 jun. 2023.

GOMES, N. A. Análise da toxicidade do lixiviado gerado em uma célula do aterro sanitário em Campina Grande – PB. 2017. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

GOMES, Samuel de Carvalho et al. Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: a review. Resources, Conservation And Recycling, [S.L.], v. 145, n. 1, p. 148-159, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.032>.

GONÇALVES, Everton Augusto; BARBOSA, Andréa Teresa Riccio. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E NOVAS TECNOLOGIAS PARA A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Atena Editora, Paraná, v. 13, n., p. 116-126, 03 jul. 2023. Disponível em: <file:///C:/Users/gleyd/Downloads/eficiencia-energetica-e-novas-tecnologias-para-a-industria-da-construcao-civil-2.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2023.

GONÇALVES, Lucas Félix da Costa. Estudo da álcali-ativação na produção de tijolos modulares ecológicos. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São Paulo.

GUSMÃO, A. C. S. et al, Aplicativo móvel no gerenciamento de resíduos sólidos: estudo de caso do app EPERSOL. In: NUNES, I. L. S.; PESSOA, L. A.; EL-DEIR, S. G. (Orgs.). Impactos ambientais e inovações tecnológicas. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2019. p. 208-218.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/triunfo/panorama>. Acesso em: 03 jun. 2023.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 03 jun. 2023.

JANAS, M.; ZAWADZKA, A. Assessment of the Monitoring of an Industrial Waste Landfill. *Ecological Chemistry and Engineering*, v. 25, n. 4, p. 659-669. 2018.

KALUARACHCHI, R. K. D. G.. Analysis of Construction Waste Generation and Its Effect in a Construction Site. *International Journal Of Architectural And Environmental Engineering*, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 508-511, jan. 2018.

KARPINSKI, Ruth I.; KOLB, Audrey M. Kinase; TETREAULT, Nicole A.; BOROWSKI, Thomas B.. High intelligence: a risk factor for psychological and physiological overexcitabilities. *Intelligence*, [S.L.], v. 66, p. 8-23, jan. 2018. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2017.09.001>.

KATZER, C. S.; SCHNEIDER, R. . PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TIJOLO COM ADIÇÃO DE LODO. In: III Mostra de Trabalhos de Engenharia Química, 2019, Santo Ângelo. Anais do III MTEQ, 2019.

KIZINIEVIČ, Olga et al. Eco-friendly fired clay brick manufactured with agricultural solid waste. *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 1156-1165, set. 2018. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2018.03.003>.

KOZLOSKI, C. L.; VAGHETTI, M. A. O.; SILVA, B. N. da. EMISSÕES DE CO₂ NA CASA POPULAR EFICIENTE E O EMPREGO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2019. Anais [...]. [S. l.], 2019. p. 1350–1360. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2880>. Acesso em: 7 set. 2023.

LEED, Leadership In Energy And Environmental Design. O que é o LEED? Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 15 maio 2023.

LIMA, DASMF. Avaliação do tijolo modular de solo-cimento fabricado em prensa manual como material para construção de baixo custo com mão de obra comunitária. 2018. Trabalho de conclusão de curso em engenharia civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

LIRA, Douglas Sadalla de. TIJOLOS ECOLÓGICOS: estudo de viabilidade técnica no uso de agregados reciclados de resíduos da construção civil classe A. 2020. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência, Tecnologia e Sociedade, Centro de Educação e Ciências Humanas Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

LÔBO, André Luiz de Souza; FRANCISQUINI, Vitor José Alves. Sustentabilidade na construção: como aplicá-la e os benefícios das práticas sustentáveis na Engenharia Civil. *Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research*, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 3019-3035, jul. 2022.

MARTINEZ-PAVETTI, Maria-Belen et al. Study on two eco-friendly surface treatments on *Luffa cylindrica* for development of reinforcement and processing materials. *Journal Of*

Materials Research And Technology, [S.L.], v. 14, p. 2420-2427, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.141>.

MARZALL, Kátia; ALMEIDA, Jalcione. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA AGROECOSSISTEMAS: estado da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. Caderno de Ciência e Tecnologia, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 41-59, jan./abr., 2000. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8861/4987>. Acesso em: 14 jun. 2023.

MOTA, Daniel Martins Papini *et al.*, APRIMORAMENTO DO TIJOLO ADOBE COM ADIÇÃO DE FIBRAS DA CANA-DE-AÇÚCAR. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, [S. l.], v. 9, p. 253–264, 2020. DOI: 10.19177/rgsa.v9e02020253-264. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9165.

MOURA, Elda Marra de; SALES, Joel Neto Bispo de; NASCIMENTO, Natalia Cristina do; SOUSA, Vitor Magalini Zago de; SILVA, Danilo Duarte Costa e; LIBERA JUNIOR, Vilson dalla. Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo-cimento. Ambiente Construído, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 69-80, jan. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100494>.

MUSARAT, Muhammad Ali; ALALOUL, Wesam Salah; LIEW, M. S. Impact of inflation rate on construction projects budget: A review. Ain Shams Engineering Journal, v. 12, n. 1, p. 407-414, 2021.

NASCIMENTO, Elivelthon Carlos do *et al.* Evaluation of the use of recycled aggregate from civil construction as a hydraulic barrier in layers of landfill roofs. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 10, p. e547101019158, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.19158. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19158>. Acesso em: 7 dec. 2023.

NUNES, Jéssica Martins *et al.* O setor da Construção Civil no Brasil e a atual crise econômica. Research, Society And Development, [S.L.], v. 9, n. 9, p. 1-31, 22 ago. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7274>.

ONU Brasil. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

ONU Brasil. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

ONU. A ONU e o meio ambiente. 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 20 abr. 2023.

OTITOJU, Tunmise Ayode *et al.* Advanced ceramic components: materials, fabrication, and applications. Journal Of Industrial And Engineering Chemistry, [S.L.], v. 85, n. 1, p. 34-65, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2020.02.002>.

PAIVA, Laura Ribeiro; BATISTA, Vanêssa Cabral de Almeida; FARIAS, Carolina Fonseca. Utilização de RCD (Resíduos da construção e demolição) como agregado graúdo para confecção de um concreto sustentável. Dspace Repository, Cataguases, p. 1-23, dez. 2021.

PAUL, Suvash Chandra et al. Agricultural Solid Waste as Source of Supplementary Cementitious Materials in Developing Countries. *Materials*, [S.L.], v. 12, n. 7, p. 1112, 3 abr. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma12071112>.

PINATT, Jéssica Marcomini; ILDEFONSO, Jesner Sereni, LUKIANTCHUKI, Juliana Azoia; REIS, Jeselay Hemetério Cordeiro dos. "AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE MINIPAREDES EXECUTADAS EM ESCALA 1:3 CONFECCIONADAS COM TIJOLOS CONFECCIONADOS COM MISTURAS DE SOLO, CIMENTO E RCD." In XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. São Paulo, SP, Brasil: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - ABMS, 2016. <http://dx.doi.org/10.20906/cps/cb-01-0154>.

PROCELINFO - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Selo Procel Edificações. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}#>>. Acesso em: 15 out. 2019.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2. ed. Rio Grande do Sul: Feevale, 2013. 277 p. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2023.

QUAGLIO, Renan Serraglio; ARANA, Alba Regina Azevedo. Diagnóstico da gestão de resíduos da construção civil a partir da leitura da paisagem urbana. *Sociedade & Natureza*, [S.L.], v. 32, p. 457-471, 22 jul. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v32-2020-47547>.

RECH, Alexandre da Silva et al. CERTIFICAÇÃO LEED E SUA IMPORTÂNCIA NAS CONSTRUÇÕES BRASILEIRAS. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [s.l.], v. 7, n.2, p.300-312, 27 abr. 2018. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018300-312>.

ROCHA, S. M. da; ROCHA, R. R. de C.; LUSTOSA, K. B. POLÍTICA BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS: REFLEXÕES SOBRE A GERAÇÃO DE RESÍDUOS E SUA GESTÃO NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO. *REVISTA ESMAT*, [S. l.], v. 9, n. 13, p. 29–44, 2017. DOI: 10.34060/reesmat.v9i13.189. Disponível em: http://esmat.tjto.jus.br/publicacoes/index.php/revista_esmat/article/view/189.

RODRIGUES, Carlos Eduardo Soares; CORRÊA, Luiz Soares. SUSTENTABILIDADE APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – Contecc, Goiânia, ago. 2022. Disponível em: <https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc%202022/Fase%20Oral/SUSTENTABILIDADE%20APLICADA%20A%20CONSTRU%20C%27%20C%27%20CIVIL.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023.

ROSA, Mayra. Florianópolis inaugura primeira creche totalmente sustentável. 2015.

Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/florianopolis-inaugura-primeiracreche-totalmente-sustentavel/>. Acesso em: 11 jun. 2020.

SANTOS, Ádila Michele et al. UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE RÁFIA COMO ADIÇÃO EM SOLO-CIMENTO PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS: uma avaliação físico-mecânica. *Revista Univap*, [S.L.], v. 22, n. 40, p. 702, 3 abr. 2017. UNIVAP Universidade de Vale do Paraiba. <http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.1457>.

SANTOS, Gessica Zila Batista dos; MELO FILHO, João de Almeida; MANZATO, Lizandro. Perspectivas de aplicações tecnológicas de lodo gerado no processo de tratamento de água dos rios Negro e Solimões. *Matéria (Rio de Janeiro)*, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 1-14, 18 out. 2018. *FapUNIFESP (SciELO)*. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0501>.

SANTOS, LAR; MICHELAN, DC de G.; JESUS, TM VERIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LODO DE ETA EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, Tup*, v. 2, pág. 235–258, 2021. DOI: 10.18011/bioeng2021v15n2p235-258. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/974>.

SCHMIDT, J. S., & OSEBOLD, R. Environmental management systems as a driver for sustainability: state of implementation, benefits and barriers in German construction companies. *Journal of Civil Engineering and Management*, v.23, n.1, 2017, p. 150-162

SCHNEIDER, Rafael; KATZER, Camila Simsen. ESTUDO DO PROCESSO DE SECAGEM DE TIJOLOS VERDES FEITOS DE ARGILA. *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – Contecc*, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-5, set. 2021.

SEROR, N.; PORTNOV, B. A. Identifying areas under potential risk of illegal construction and demolition waste dumping using GIS tools. *Waste Management*, v. 75, p. 22-29, 2018.

SILVA, A. C. Comportamento hidromecânico de um solo areno-argiloso adicionado com resíduos de pneus e resíduos de construção e demolição. 2018. 146f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVA, Bruno Sanches 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-e19011225605, 2022.

SILVA, et al. Resíduos Sólidos de Construção Civil: caracterização, alternativas de reuso e retorno econômico. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 6, n. 2, p. 286-301, 2017.

Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras (org.), SiAC, 2028. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/habitacao/programa-brasileiro-de-qualidade-e-productividade-do-habitat-pbqp/siac-sistema-de-avaliacao-da-conformidade-de-servicos-e-obras>. Acesso em: 15 abr. 2023.

SOARES, Isabela Mylena Pedroso; NOZAWA, Isadora Aparecida; REIS, Elton Aparecido Prado dos. REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS: LODO DE ETA E CINZA DO

BAGAÇO DA CANA NA COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS. *Etic*, [S.L.], p. 1-10, jan. 2021.

SOUSA, Angélica Silva; OLIVEIRA, Guilherme Saramago; ALVES, Laís Hilário. A PESQUISA BIBLIOGRÁFICA: PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS. *Cadernos da FUCAMP*, v. 20, n. 43, 2021.

SOUZA, et al. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO 'RCD' NA FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO, 2016.

SRIVASTAVA, R. Solid Waste Management and Its Impact on the Environment. In: *Environmental and Human Health impacts of Plastic Pollution*. IGI Global, 2020. p. 389-400

SUGAHARA, E. S.; FREITAS, M. R.; CRUZ, V. A. L. Análise das certificações ambientais de edificações: AQUA, PROCEL, LEED E CASA AZUL. *Interação-Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 23, n. 1, p. 12-24, 2021.

TEIXEIRA, Felipe Pinheiro et al. Propriedades tecnológicas do tijolo solo-cimento vazado de 2 furos. *Tecnol Metal Mater Min*, [S.L.], v. 18, p. 1-6, 2021.

THOMAS, N. I. R.; COSTA, D. B. Adoption of environmental practices on construction sites. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 17, n. 4, 2017, p. 9-24

TIBAUT, A.; ZAZULA, D. Sustainable management of construction site big visual data. *Sustainability Science*, v. 13, 2018, P. 1311–1322.

TISSERANT, Alexandre et al. Solid Waste and the Circular Economy: a global analysis of waste treatment and waste footprints. *Journal Of Industrial Ecology*, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 628-640, 8 mar. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jiec.12562>.

TRAN, Khiem Quang; SATOMI, Tomoaki; TAKAHASHI, Hiroshi. Study on Effect of Cornsilk Fiber in Cemented Soil Stabilization. *Lecture Notes In Civil Engineering*, [S.L.], p. 571-579, 21 out. 2017. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-6713-6_56.

VANZOLINI, P. AQUA-HQE busca proporcionar condições ideais de conforto e saúde para os usuários. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/aqua/2016/12/26/aqua-hqe-busca-proporcionar-condicoes-ideais-de-conforto-e-saude-para-os-usuarios/>>. Acesso em: 18out. 2019.

VELOSO, Crisnam Kariny da Silva et al. Avaliação do desempenho da argamassa com incorporação de resíduos de materiais cerâmicos. *Brazilian Journal Of Development*, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 822-837, jan. 2020. *Brazilian Journal of Development*. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n1-057>.

VIANA, Iago Ferreira Machado; GONÇALVES, Luís Fernando. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS À PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO. 2017. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdades Integradas de Caratinga, Caratinga, 2017. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/466/1/MONOGRAFIA%20IAGO%20E%20LU%20C%208DS%20.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

VILELA, A. P., EUGÊNIO, T. M. C., OLIVEIRA, F.F., MENDES, J. F., RIBEIRO, A. G. C., VASCONSELLOS, L. E., MENDES, R. F., Technological properties of soil cement bricks produced with iron ore mining waste, *Construction and Building Materials*, v. 262, nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120883>.

WEBER, Eduardo; CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGHA, Tiago. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TIJOLO ECOLÓGICO SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. *Revista de Engenharia e Inovação Tecnológica*, Caçador, v. 6, n. 2, p. 18-34, 15 fev. 2018. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/1178>. Acesso em: 14 jun. 2023.

WENSING, Gabriela da Silva; ANSELMO, Laryssa Bitencourt. Avaliação dos conceitos de sustentabilidade aplicados nas fases de construção e operação de uma edificação para obtenção da certificação LEED. 2020. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstreams/452f5f84-cb9c-45ad-90e4-97db3341c261/download>. Acesso em: 07 abr. 2023.

World Wide Fund For Nature, WWF. Desmatamento Zero. Disponível em: https://www.wwf.org.br/nosso_trabalho/desmatamentozero/. Acesso em: 15 abr. 2023.