INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PIAUÍ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DOS MATERIAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO EM FORMULAÇÕES DE TIJOLO ECOLÓGICO

REBEKA MANUELA LOBO SOUSA

Orientador: Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares

TERESINA

2022

REBEKA MANUELA LOBO SOUSA

ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO EM FORMULAÇÕES DE TIJOLO ECOLÓGICO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Materiais Cerâmicos

Orientador: Prof. Roberto Arruda Lima Soares

TERESINA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Sousa, Rebeka Manuela Lobo

S725e Estudo da viabilidade da utilização de resíduo de poliestireno expandido emformações de tijolo ecológico / Rebeka Manuela Lobo Sousa. - 2022.

72 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal deEducação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2022.

Orientador : Prof Dr. Roberto Arruda Lima Soares.

1. EPS. 2. Resíduo. 3. Solo. I.Título.

CDD - 620.1

Elaborado por Maria Rosismar Farias CRB 3/631

.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ – IFPI
CAMPUS TERESINA CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS/PPG -EM
Praça da Liberdade, 1597 – Centro – TERESINA / PI CEP 64.000-040
Fone: (86) 3131-9468 endereço eletrônico: http://ppgem.ifpi.edu.br/home

REBEKA MANUELA LOBO SOUSA

ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO EM FORMULAÇÕES DE TIJOLO ECOLÓGICO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 23 / 12 / 2022 .

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares (Orientador)
Instituto Federal do Piauí - IFPI

_____

Prof. Dr. Hudson Chagas dos Santos (Avaliador Interno)
Instituto Federal do Piauí - IFPI

_____

Prof. Dra. Yáscara Lopes Oliveira (Avaliadora Externa)
Universidade Estadual do Piauí - UESPI

“*Consagre ao SENHOR tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos*.” Provérbios 16:3.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo, principalmente pela saúde e força que tem me dado para superar as dificuldades enfrentadas nessa minha trajetória, sem Ele eu nada seria.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares, pelo suporte, amizade, pelas correções e incentivo que ajudou a construir meu trabalho

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí pela oportunidade e pela valiosa experiência repassada.

Aos meus queridos pais, Monica Pereira da Silva Lobo e Gerard Giulliano Assunção Sousa, por todo o aparato familiar, amoroso e amigo, sem toda essa estrutura eu não seria quem sou. Aos meus irmãos, Renata Giulliana, Giovana Letícia, Maria Luisa, Maria Eduarda e Gerard Filho, e sobrinha Bianca Lobo, por me apoiarem a todo tempo, por se preocuparem com meu desempenho, por serem sempre amigos, e entenderem minha ausência em algumas vezes.

Ao meu grupo de Ouro da cerâmica (Francisca, Paulysendra e Phillype) pela amizade e ajuda durante essa pesquisa, principalmente incentivos na reta final.

Ao meu marido Sávio Torres Melo por todo apoio, ajuda, paciência, suporte e incentivos.

Aos melhores amigos que uma pessoa pode ter: Andrezza Oliveira, Ronnyel Santos, Victória Maxine, Filipe Crisóstomo, Berennicy Sousa, Thaís Tatila e Jéssica Geane, por estarem sempre ao meu lado, pela ajuda, incentivo, força e compreensão a minha ausência.

A todos, minha eterna gratidão.

RESUMO

O tijolo ecológico é um ótimo material do ponto de vista sustentável, já que não apresenta queima durante seu processo de fabricação e é composto basicamente por solo, cimento e água. Os polímeros correspondem a 26% dos materiais reciclados, que são valores baixos, porém necessário. O EPS (ou poliestireno expandido) faz parte deste grupo, portando é viável procurar novos meios para conseguir reciclar ainda mais esse componente. Diante disso, essa pesquisa teve a intenção de realizar uma análise da viabilidade da adição de resíduo de poliestireno expandido na composição de tijolo de solo-cimento a fim de observar as suas propriedades (absorção de água, resistência a compressão e análise dimensional), para os seguintes períodos de cura de 14 e 28 dias. Inicialmente caracterizou-se as matérias-primas através de análises qualitativas, ensaio granulométrico, índice de plasticidade, difração de raios X e fluorescência de raios X. Posteriormente, foram preparadas 5 formulações com adição de EPS, respectivamente 2%, 4%, 6%, 8% e 10% em relação a mistura de solo cimento. Foram fabricadas também corpos de prova da amostra padrão, sem adição do EPS, a fim de fazer uma análise comparativa. As propriedades tecnológicas avaliadas foram: absorção de água, resistência à flexão de 3 pontos e análise dimensional. Os resultados mostraram que a adição do resíduo de EPS no tijolo ecológico é viável até a formulação F8 (8% de adição). Para fins estéticos, o tijolo com adição desses resíduos é insatisfatório, visto que a presença do EPS descaracteriza a superfície da peça.

Palavras-chave: EPS. Resíduo. Solo.

ABSTRACT

Ecological brick is a great material from a sustainable point of view, as it does not burn during its manufacturing process and is basically composed of soil, cement and water. Polymers account for 26% of recycled materials, which are low values, but necessary. EPS (or expanded polystyrene) is part of this group, so it is feasible to look for new ways to be able to recycle this component even more. In view of this, this research aimed to carry out an analysis of the viability of adding expanded polystyrene residue in the soil-cement brick composition in order to observe its properties (water absorption, compressive strength and dimensional analysis), to the following curing periods of 14 and 28 days. Initially, the raw materials were characterized through qualitative analysis, granulometric assay, plasticity index, X-ray diffraction and X-ray fluorescence. Subsequently, 5 formulations were prepared with the addition of EPS, respectively 2%, 4%, 6%, 8% and 10% in relation to the cement soil mixture. Specimens of the standard sample were also manufactured, without the addition of EPS, in order to carry out a comparative analysis. The technological properties evaluated were: water absorption, 3-point flexural strength and dimensional analysis. The results showed that the addition of EPS residue in the ecological brick is feasible up to the F8 formulation (8% addition). For aesthetic purposes, the brick with the addition of these residues is unsatisfactory, since the presence of EPS distorts the surface of the piece.

Keywords: EPS. Residue. Soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Alvenaria 7
Figura 2 - Processos de formação do solo 10
Figura 3 - Tijolo maciço e vazado de solo-cimento 12
Figura 4 - Edificação construída com tijolo ecológico no bairro Poty Velho. 14
Figura 5 - Reação da Polimerização 16
Figura 6 - Distribuição Setorial do Consumo de EPS no Brasil 17
Figura 7 – Corpos de Prova com EPS 20
Figura 8 – Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa 21
Figura 9 - Ensaio da caixa 23
Figura 10 - Ensaio hand test 24
Figura 11 - Teste da bola de solo 25
Figura 12 - Ensaio do vidro 26
Figura 13 - Ensaio do Cordão 26
Figura 14 - Ensaio da Fita 27
Figura 15 - Ensaio do Bolo 28
Figura 16 - Ensaio da resistência a seca 29
Figura 17 - Equipamentos utilizados no ensaio de granulometria 31
Figura 18 - Equipamentos utilizados no ensaio 34
Figura 19 - Equipamento para FRX 35
Figura 20 - Processo de medição de cada material 38
Figura 21 - Confecção dos corpos de prova 39
Figura 22 - Etapas do ensaio de absorção. 40
Figura 23 - Ensaio de resistência a flexão de 3 pontos 41
Figura 24 - Etapas do ensaio de análise dimensional 42
Figura 25 - Curva granulométrica do solo 45
Figura 26 - Curva granulométrica da Areia média. 46
Figura 27 - Ensaio de Limite de Liquidez – Aparelho casagrande 46
Figura 28 - DRX do solo 48
Figura 29 - DRX da areia média 48
Figura 30 - Resultado do ensaio de absorção. 49
Figura 31 - Valores médios de resistência a flexão 51
Figura 32 - Corpo de prova com a presença de EPS 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de pesos entre tijolo cerâmico com furos e tijolo de solo-cimento 13
Tabela 2 – Requisitos da Norma de Tijolo Ecológico 14
Tabela 3 – Resumo de Normas aplicadas na fabricação de Tijolos ecológicos 15
Tabela 4 – Tipos de resíduos conforme a origem. 18
Tabela 5 – Interpretação dos ensaios expeditos do solo 29
Tabela 6 – Quantidade de amostra para análise granulométrica 31
Tabela 7 – Nomenclatura das amostras a serem produzidas 38
Tabela 8 – Resumo dos resultados das Análises Qualitativas 44
Tabela 9 – Determinação dos limites de liquidez e plasticidade 47
Tabela 10 – Resultado FRX 47
Tabela 11 – Absorção média dos corpos de prova 49
Tabela 12 – Valores médios dos ensaios de resistência a flexão 51
Tabela 13 – Valores individuais de resistência a flexão de 3 pontos, para as formulações de 8% e 10% 51
Tabela 14 – média das dimensões das formulações 52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CP	Cimeno Portland
CM	Centímetro
DRX	Difração de raios X
FRX	Fluorescência de raios X
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
IP	Índice de plasticidade
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
MM	Milímetro
MPA	Mega Pascal
N	Número
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

≥ Maior ou igual

≤ Menor ou igual

± Mais ou menos

Abertura Granulométrica de peneira

ºC Grau Celsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 6
2. OBJETIVOS 9
2.1 OBJETIVO GERAL 9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9
3. REFERENCIAL TEÓRICO 10
3.1 SOLO 10
3.2 TIJOLO SOLO-CIMENTO 11
3.3 FABRICAÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO 14
3.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO 16
3.5 APLICAÇÕES DE EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL 17
3.6 RESIDUOS SÓLIDOS 18
3.7 PESQUISAS CORRELATAS 20
4. MATERIAIS E MÉTODOS 21
4.1 COLETA DAS MATÉRIAS - PRIMAS: 21
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO 22
4.2.1 Análises qualitativas 22
4.2.2 Ensaio granulométrico 30
4.2.3 Índice de Plasticidade 33
4.2.4 FRX 35
4.2.5 DRX 36
4.3 FORMULAÇÕES 36
4.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS PROVA 39
4.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO 39
4.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO DE TRÊS PONTOS 40
4.7 ANÁLISE DIMENSIONAL 42
4.8 ANÁLISE MACROESTRUTURAL 43
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS 44
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO 44
5.1.1 Análises qualitativas 44
5.1.2 Análise granulométrica 44
5.1.3 Índice de Plasticidade 46

5.1.4 Fluorescência de Raios X – FRX 47
5.1.5 Difração de Raios X – DRX 48
5.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA 49
5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO DE TRÊS PONTOS 50
5.4 ANÁLISE DIMENSIONAL 52
5.5 ANÁLISE MACROESTRUTURAL 53
6. CONCLUSÕES 55
SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS 56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57
ANEXO 59

1. INTRODUÇÃO

Os materiais cerâmicos apresentam um mercado diversificado, visto que na sua composição agregam elementos químicos metálicos e não metálicos, por meio da união de ligações iônicas e/ou covalentes, tornando possível gerar produtos utilizados em diversos setores tradicionais (louças, equipamentos sanitários, vidros, etc.), da construção civil (tijolos, telhas, lajotas, etc) e avançados (próteses, implantes, etc.).

A perspectiva de métodos construtivos existentes na construção civil mostra uma ampla variedade, tornando possível o manuseio da técnica mais favorável para a situação, uma vez que a acessibilidade e economia devem ser analisadas perante tais procedimentos. Para o uso cerâmico, o sistema usual corresponde à alvenaria, tornando capaz a proteção diante de intempéries auxiliando na evolução da construção, onde ela apresenta diversas finalidades:

- **Embasamento**: Consiste na utilização de tijolos maciços ou blocos de concreto para ocorrer à retenção de água, cuja função serve como base para a construção como uma espécie de nivelamento para levantamento superior de outros elementos estruturais;
- **Vedação**: Tem como funcionalidade a divisão dos ambientes internos da construção a ser executada, sendo empregado os tijolos convencionais do mercado;
- **Estrutural:** Corresponde a um método apropriado em suportar todo o esforço da construção de diversos elementos existentes: telhados, lajes e esquadrias, com o uso de blocos de concreto ou cerâmico;
- **Ecológico:** Este sistema construtivo mostra o manuseio do tijolo com aparência de apenas dois furos, para assim facilitar no desempenho de instalações hidráulicas e elétricas, favorecendo no tempo de execução.

Para ficar mais claro a finalidade de materiais cerâmicos na construção civil, segue a figura 1 mostrando os tipos de alvenaria exemplificados anteriormente.

Figura 1 - Tipos de Alvenaria

(a) Alvenaria de Embasamento

(b) Alvenaria de Vedação

(c) Alvenaria Estrutural

(d) Alvenaria Ecológica

Fonte: Entenda Antes, 2021.

Com os avanços em pesquisas voltadas para fabricação dos tijolos, a melhor formação condiz ao tijolo ecológico, pois o mesmo não apresenta um processo de queima, apenas composto por solo, cimento e água em quantidades específicas, mediante a uma compressão. A geração desse tipo de tijolo consiste em ser a ideal, em virtude da diminuição do impacto ambiental existente perante a produção convencional, totalizando investimentos em outros materiais funcionais no mercado, como os polímeros.

Atualmente, os polímeros ou mais conhecidos como plásticos, correspondem a um dos materiais mais recicláveis existentes, com uma porcentagem de 26% em reciclagem, estes valores são baixos, porém altamente necessários, visto que este material no meio ambiente apresente um longo período de decomposição. As características deste material podem variar dependendo da sua composição final, conforme apresentado a seguir (Mundo do Plástico, 2018):

- **PET (Politereftalato de etileno)**: Formado através da reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol, tornando um polímero termoplástico com alta reciclagem pela indústria e bastante utilizado pelos consumidores, pois o mesmo costuma ser usado na produção de garrafas e embalagens de medicamentos;
- **PEAD (Polietileno de Alta Densidade)**: Produzido a partir do monômetro etileno, possuindo grande resistência química perante a deformação,

durabilidade, flexibilidade e leveza, sendo bastante empregado na fabricação de mangueiras, tanques de combustíveis;

- **PVC (Policloreto de Vinila)**: Apresenta na sua composição porcentagens de cloro e eteno, um material mais rígido, impermeável e inquebrável, bastante aplicado na construção civil em tubulações de água e esgoto;
- **PEBD (Polietileno de Baixa Densidade)**: As características deste polímero revelam transparência, leveza, impermeabilidade e flexibilidade, conseguindo suportar uma deformação formidável antes do rompimento final, no entanto corresponde a uma menor dureza e rigidez em relação ao PEAD, em vista disso o seu uso em sacolas e embalagens, além de materiais hospitalares;
- **PP (Polipropileno)**: Gerado pelo gás propeno contém propriedades semelhantes ao polietileno, porém resiste a variações de temperatura e um ponto de amolecimento mais elevado, sendo utilizado em filmes para embalagens e alimentos, com a intenção de conservar bem aromas;
- **PS (Poliestireno)**: Composto por um homopolímero resultante da polimerização do monômero de estireno, obtendo características como isolante térmico, baixo custo e moldável sob ação do colar, tornando o manuseio em forma liquida ou pastosa, para assim colocar na parte interna de portas de geladeiras, além da fabricação de potes de alimentos e copos plásticos. Uma variação desse tipo de plástico corresponde ao Poliestireno Expandido, mais conhecido como Isopor, bastante aplicado em construções sustentáveis;
- **Outros**: Não podem ser reciclados devido à combinação de vários tipos de plásticos.

Diante disso, essa pesquisa tem a intenção de realizar uma análise da viabilidade da adição de resíduo de poliestireno expandido na composição de tijolo de solo-cimento a fim de observar as suas propriedades (absorção de água, resistência a compressão e análise dimensional). O trabalho foi desenvolvido através de pesquisas bibliográficas e pesquisa experimental, uma vez que esta possibilite acessar artigos publicados a respeito do tema proposto pela pesquisa e atende o objetivo delineado, projetando um comparativo mediante o desempenho laboratorial.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A pesquisa tem como objetivo geral analisar a viabilidade do uso de resíduo de poliestireno expandido em formulações de tijolos ecológico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização física, química e mineralógica das matérias-primas;
- Montar os corpos de prova a partir da mistura solo cimento com adição de resíduos de poliestireno expandido;
- Analisar as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos produzidos.
- Avaliar a viabilidade técnica do tijolo solo cimento com adição de resíduos de poliestireno expandido.

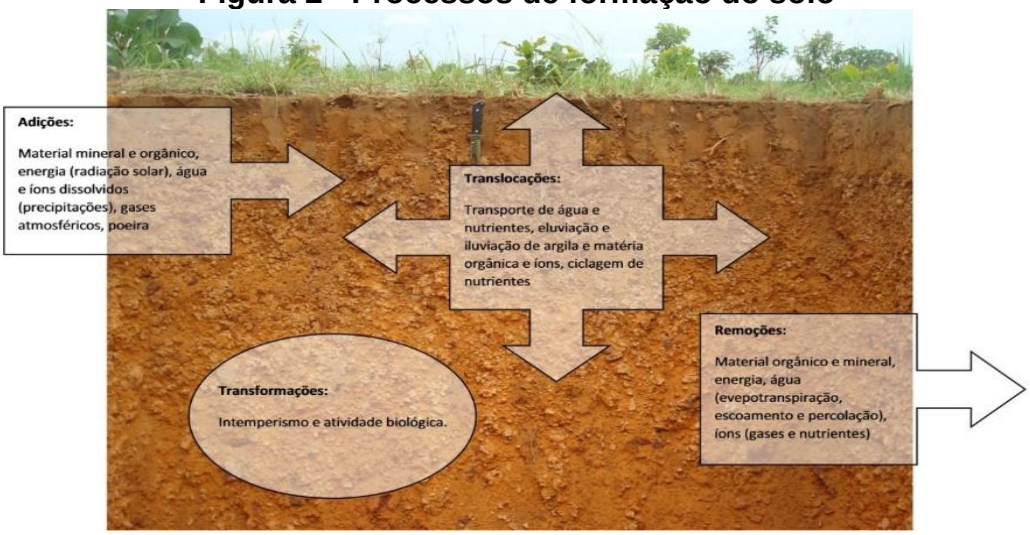
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SOLO

Concorda-se que o solo é visto como o produto da alteração das rochas na superfície. Os solos podem ser argilosos ou arenosos, podem ser vermelhos, amarelos ou cinzas esbranquiçados, podem ser ricos ou pobres em matéria orgânica, assim como serem espessos ou rasos além de apresentar-se homogêneos ou diferenciados em horizontes (TOLEDO et al., 2009).

A formação dos solos pode ser caracterizada pelos seguintes processos perda, adição translocação e/ou transformação de matéria, como mostra a figura 2.

Figura 2 - Processos de formação do solo



Fonte: Agrointeli, 2021.

Já a classificação dos solos pode ser feita segundo diferentes critérios, como genéticos, morfológicos ou morfogenéticos que por sua vez variam de país para país. Nas regiões tropicais, como é no caso do Brasil, o tipo de solo possui propriedades físicas, químicas e mineralógicas especificas tais como uma composição mineralógica simples (quartzo, caulinita, oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio), grande espessura e horizontes com cores dominantemente amarelo ou vermelho (TOLEDO et al., 2009).

Na fabricação do tijolo ecológico o material de maior consumo é justamente o solo. De forma geral qualquer solo pode ser aplicado na sua produção, porém é preferível um solo que apresente características que garantam sua estabilização sem fazer uso de muito cimento, economizando assim no preço final desse produto (SOUZA, 2006).

Segundo Motta et al., (2014), para a escolha do solo ideal na fabricação de tijolos de solo-cimento, deve ser cumprido alguns pré-requisitos, como apresentar índice de plasticidade menor ou igual a 18% e limite de liquidez menor ou igual a 45%. Lembrando que o limite de plasticidade consiste no menor teor de umidade em que o solo se comporta plasticamente e limite de liquidez é o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico.

Com esses parâmetros atingidos é esperado que o solo ideal, para a fabricação de tijolos de solo cimento, apresente os seguintes teores (MOTTA et al., 2014):

- 10% a 20% de argila;
- 10% a 20% de silte;
- 50% a 70% de areia.

3.2 TIJOLO SOLO-CIMENTO

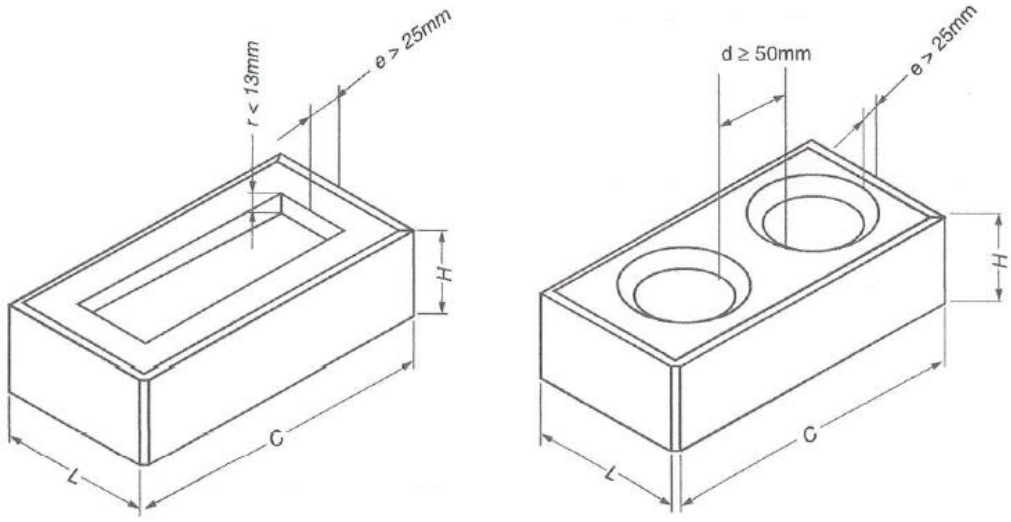
A construção civil surgiu com a necessidade do abrigo de seres humanos e a partir desse período em diante foram criadas inúmeras técnicas construtivas visando a melhoria das edificações até então construídas. Paralelas as técnicas foram descobertas diversos materiais que pudessem atuar de forma mais eficaz nos processos já conhecidos, muitas vezes aumentando assim a resistência do produto final, durabilidade e reduzindo os custos de fabricação e implantação.

Com o aumento populacional no decorrer dos anos, ficou cada vez mais importante falar de sustentabilidade, com esse fator em mente surgem várias vertentes a serem analisadas tais como, o que seria ser ecologicamente correto, ou economicamente viável, ou socialmente justo dentre outros. Tentando responder esses questionamentos o homem passou a formar técnicas que gerassem menos impactos ao meio ambiente.

Como consequência da busca de materiais sustentáveis, foi desenvolvida a tecnologia da fabricação de tijolos ecológicos por volta de 1940 junto ao PCA (Portland Cement Association). No Brasil, somente na década de 1960 as pesquisas começaram a se desenvolver em instituições como: IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), a fim de destacar com mais abrangência o manuseio desses tijolos perante as construções, desenvolvendo futuramente a sua aplicação (BIOBLOC, 2015).

Segundo a NBR 8491 da ABNT (2012), o tijolo de solo-cimento se trata de um componente de alvenaria cuja composição é de solo (o qual não deve apresentar matéria orgânica em teores prejudiciais as suas propriedades), cimento Portland, água e aditivos, gerando dessa forma uma mistura homogênea, compactada e endurecida. Esse tipo de tijolo pode ser maciço ou vazado, conforme mostrado na figura 3.

Figura 3 - Tijolo maciço e vazado de solo-cimento



Fonte: ABNT NBR 8491,2012.

O tijolo de solo-cimento também recebe a nomenclatura de tijolo ecológico, pois durante sua fabricação não necessita queima, evitando dessa forma a emissão de gases de efeito estufa, portanto contribui de forma positiva ao funcionamento do ecossistema. Ainda no quesito ambiental o tijolo ecológico apresenta em sua composição um dos elementos mais abundantes no planeta Terra, que é o solo, e podendo ser adicionado em sua composição alguns resíduos de construção civil favorecendo assim a sustentabilidade (WEBER et al., 2017).

O tijolo solo-cimento corresponde a uma opção funcional para vedação de alvenaria atualmente. Diante de um intervalo curto de cura, o mesmo apresenta características semelhantes ao do tijolo cerâmico, como: resistência a compressão, dentre outros. A quantidade de cimento empregado na mistura influencia diretamente essas propriedades, portanto é importante a obtenção de um teor ótimo para assim evidenciar uma melhor qualidade, proporcionando assim um aumento do seu emprego sem influenciar de forma significativa no custo de fabricação (ABCP, 2000).

Além do quesito sustentabilidade o tijolo de solo-cimento apresenta diversas vantagens, dentre elas podemos citar (ABCP, 2000):

- Pode ser utilizado o próprio solo escavado da obra para a produção dos tijolos;
- Os equipamentos utilizados para sua fabricação são de baixo custo e fácil locação;
- Por não ser necessário a etapa de queima, não consome combustível na fabricação;
- Devido seu formato e regularidade da superfície não é necessário o uso de muita argamassa de assentamento ou revestimento, gerando economia no preço final;
- Por apresentar um design bonito, esse tijolo pode dispensar o uso de revestimento, sendo necessário nesse caso uso de produtos que o protejam de intempéries.
- Em razão de seu processo de fabricação de modo simples, não há necessidade de mão de obra especializada;
- A resistência à compressão simples é similar à do tijolo cerâmico.

Apesar desse modelo de vedação apresentar inúmeras vantagens, o tijolo ecológico, ou solo-cimento, possui alguns fatores negativos em sua utilização, tais como o seu peso próprio, conforme é mostrado na tabela 1:

Tabela 1 – Comparativo de pesos entre tijolo cerâmico com furos e tijolo de solo-cimento

Produto	Dimensões (cm)	Peso (Kg)	Peças por m² (peças)	Peso por m² (Kg)
Tijolo modular de solo-cimento	12,5 x 25 x 6,25	2,750	64	176,000
Tijolo modular de solo-cimento	15 x 30 x 7,5	4,300	45	193,500
Tijolo cerâmico de 6 furos	9 x 24 x 14	2,210	40	88,40
Tijolo cerâmico de 8 furos	9 x 19 x 19	2,450	50	122,50
Canaleta modular de solo-cimento	12,5 x 25 x 6,25	1,900	64	121,60
Canaleta modular de solo-cimento	15 x 30 x 7,5	3,100	45	139,50
Canaleta cerâmica	14 x 19 x 9	1,700	56	95,200

Fonte: Adaptado de (WEBER et al., 2017).

Como mostra a tabela 1, o tijolo de solo-cimento possui um peso muito maior que o de tijolo cerâmico, podendo ser 40% a 50% mais pesado. Esse peso gera um grande empecilho com relação ao tipo de obra a ser implantado, se limitando a ser utilizado apenas em obras de pequenas e médio porte (WEBER et al., 2017).

Com relação ao uso desse insumo na cidade de Teresina, não foi encontrado muitos registros de uso. A maioria dos profissionais que fazem uso desse material procura destacar algum detalhe estético, muitas vezes nem é levado em conta o fator

vedação. A figura a seguir mostra um estabelecimento composto por tijolos ecológicos construído no bairro Poty Velho na cidade de Teresina/PI.

Figura 4 - Edificação construída com tijolo ecológico no bairro Poty Velho.

Fonte: Autora, 2021.

3.3 FABRICAÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO

O processo de fabricação de tijolo de solo-cimento é bem simples, são fabricados com prensas manuais ou hidráulicas, não necessita de mão de obra especializada e muitas vezes pode ser produzido na própria obra.

A primeira etapa a ser realizada é a mistura do solo com o cimento. A escolha do solo a ser utilizado se torna muito importante devido à como esse material pode se comportar ao ser compactado, portanto esse material deve apresentar um bom fator de empacotamento. Dentre os fatores a serem analisados no solo deve-se atentar aos seguintes pontos: granulometria, teor de argila e grau de plasticidade do solo.

Já com relação ao cimento utilizado deve-se atentar ao tipo e o teor do agente estabilizante. O que se refere ao traço a ser utilizado é preferível usar aquele que apresentar o menor consumo de cimento, porém deve preencher alguns requisitos básicos constituintes na norma NBR 8491/2012. Essa norma fornece diretrizes iniciais para a fabricação do tijolo ecológico, nela são mostrados como deverá ser feito as análises de dimensão, resistência, absorção, a fim de constituir uma melhor qualidade tanto de forma inicial (composição e formação) como na sua destinação final. A tabela a seguir evidencia com mais clareza esses aspectos da norma NBR 8491/2012:

Tabela 2 – Requisitos da Norma de Tijolo Ecológico

Requisitos	Descrição

Conceito	O tijolo de solo cimento se trata de um componente de alvenaria cuja composição é de solo (o qual não deve apresentar matéria orgânica em teores prejudiciais as suas propriedades);
Composição	Cimento Portland, água e aditivos, gerando dessa forma uma mistura homogênea, compactada e endurecida, podendo ser vazado ou maciço;
Dimensões	Podem apresentar variações nas suas dimensões de no máximo 1mm;
Resistência a compressão	A resistência mínima de compressão corresponde a 2 MPa;
Absorção	Não pode apresentar média superior a 20% de absorção, nem valores individuais superiores a 22%;
Controle de Qualidade	Realizar inspeção de 10 tijolos a cada 10 mil fabricados, devem ser retirados da amostragem 7 para resistência e 3 para absorção de água;
Aceite e Rejeito	Consiste em observar todos os procedimentos do controle de qualidade para realizar o comércio deste produto, sendo capaz o aceite ou rejeito devido às condições finais, podendo existir negociação caso algum não alcance a qualidade satisfatória.

Fonte: Adaptado de NBR 8491, 2012.

Diante das informações explanadas anteriormente, se torna importante detalhar de uma forma mais precisa a necessidade de compreensão tanto para a fabricação (para ter melhor qualidade do material) como para o mercado (divulgação dos benefícios desse material para a população) e perante a esses conhecimentos as normas de tijolos ecológicos tratam especificamente desses cuidados como pode ser visualizado na tabela a seguir:

Tabela 3 – Resumo de Normas aplicadas na fabricação de Tijolos ecológicos

NORMA	TÍTULO	DESCRIÇÃO
ABNT NBR 8492:2012	Tijolo de solo-cimento — Análise Dimensional, Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água – Métodos de Ensaio	Explicação detalhada dos procedimentos de ensaio para a análise dimensional, resistência final e absorção de água
ABNT NBR 10833:2013	Fabricações de Tijolo e Bloco de Solo-Cimento com Utilização de Prensa Manual ou Hidráulica – Procedimento	Instrução de como manusear a prensa, modelagem final do produto, armazenamento e transporte.
ABNT NBR 10834:2013	Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos	Norma similar a NBR 8491, porém voltado para o bloco de solo cimento, onde o bloco corresponde a dois tijolos
ABNT NBR 10836:2013	Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio	Mostra os parâmetros de resistência e absorção de água

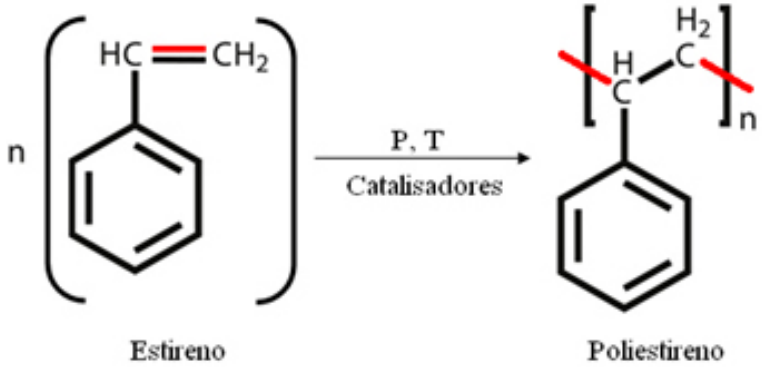
Fonte: Autora, 2021.

Como visto pelas tabelas apresentadas, o conhecimento e aplicação correta da norma é de suma importância ao se exigir um produto de boa qualidade e agradável ao mercado.

3.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO

O poliestireno consiste de composto de um homopolímero resultante da polimerização do monômero de estireno, esse efeito ocorre exatamente através da união da ligação de várias moléculas de vinil bezeno (estireno), ocorrendo uma reação química por meio de um catalisador (o aquecimento de uma suspensão em água), com suporte de peróxidos para dar início à transformação em poliestireno, conforme pode ser observado a seguir:

Figura 5 - Reação da Polimerização



Fonte: Fogaça, 2016.

A transformação do polímero pode provocar variações finais, dependendo da finalidade ao qual será submetida, dentre as existentes a mais conhecida corresponde ao poliestireno expandido ou mais conhecido como Isopor. Este plástico apresenta as seguintes características:

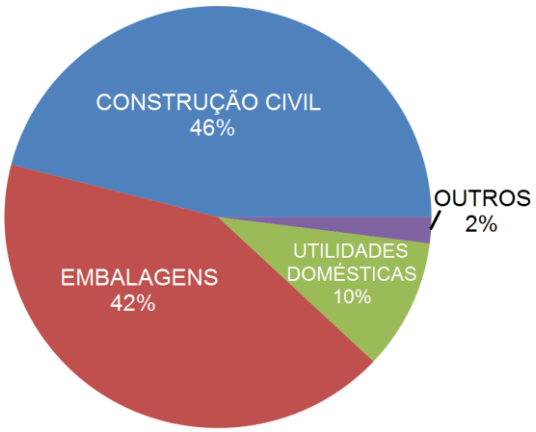
- **Leve:** Apresenta partículas de ar na sua composição (cerca de 95%), propiciando densidades entre 10-30 kg/m³, influenciando diretamente na perda de seu peso, principalmente quando empregado em construções;
- **Resistência:** Altamente resistente, diante da compressão, flexão, tração e fluência sob compressão, propiciando dessa forma uma alta vida útil, pois a influência a agentes externos se torna praticamente nula (não embola, não apodrece, não libera substâncias ao ambiente);
- **Multifuncional:** Corresponde a um material adequado a execução, se manifestando em diversas dimensões e formatos, pois o fato de ser adaptável a vários

materiais da construção (cimento, cal, gesso, etc), o torna eficaz mediante ao manuseio e aplicação durante o levantamento de obras.

3.5 APLICAÇÕES DE EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O EPS apresenta diversas finalidades referentes ao seu consumo, pois a facilidade para o seu manuseio torna possível a sua aplicação em vários setores comerciais, como: embalagens, utilidades domésticas, construção civil, etc, conforme pode ser observado a seguir:

Figura 6 - Distribuição Setorial do Consumo de EPS no Brasil



Fonte: BNDES, 2002.

Na construção civil, a sua utilização pretende propiciar melhores desempenhos de comodidade, facilidade e agilidade durante as etapas construtivas, devido as suas seguintes características:

- **Isolamento Térmico-Acústico:** Empregado em telhas sanduiches, forros, elementos estruturais (paredes, colunas, etc), para assim ocorrer à dissipação de calor e som, tornando o ambiente mais agradável;
- **Preenchimento:** Aplicado em lajes, nivelamento de terrenos e no próprio traço de concreto, a fim de diminuir o peso próprio (devido à redução do volume) tornando a estrutura mais leve e abaixando os custos da obra;
- **Tempo de Execução:** Em razão à facilidade ao manuseio, torna possível a construção de esquemas pré-fabricados (paredes, blocos, etc), ocorrendo o ganho de tempo durante as etapas de construção;
- **Estética:** Devido a sua alta resistência, evita os problemas de mofo e umidade, propiciando um acabamento apropriado.

3.6 RESIDUOS SÓLIDOS

Segundo a Lei 12.305/2010, regulamentada pelo decreto 7.404/2010, os resíduos sólidos podem ser definidos como Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

De acordo com a NBR 10004:2004, os resíduos são classificados quanto à periculosidade da seguinte maneira:

- Resíduos Classe I (Perigosos) – Apresentam risco à saúde pública ou ao ambiente, caracterizando-se por terem uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenidade, teratogenicidade e mutagenicidade.
- Resíduos Classe II A (Não inertes) – Podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém não se enquadram como resíduo I ou II B.
- Resíduos Classe II B (Inertes) – Não têm nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de águas.

Segundo essa classificação, os resíduos de EPS se enquadram na Classe II B, ou seja, não reativos. Quanto à origem os resíduos podem ser classificados conforme é mostrado a seguir:

Tabela 4 – Tipos de resíduos conforme a origem.

RESÍDUOS	ORIGEM
Domiciliares	Originários de atividades domésticas em residências urbanas.
Limpeza urbana	Originários de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
Sólidos Urbanos	Engloba nas alíneas de resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana.
Estabelecimentos comerciais	Os resíduos gerados nessas atividades.
Serviços públicos de saneamento básico	Resíduos gerados nessa atividade de saneamento básico.

Industriais	Os gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
Serviços de saúde	Os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS.
Construção Civil	Os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.
Agrossilvopastoris	Os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.
Serviços de transportes	Os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
Mineração	Os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Fonte: Brasil, 2010.

O estado do Piauí através da Lei Estadual nº 6.888, de 06 de outubro de 2016, no seu Art. 2º legisla que todas as construções civis executadas pelo Estado do Piauí, de administração direta do governo do estado ou por meio de agente contratados, sejam prédios públicos ou conjuntos habitacionais, deverão, ter a obrigatoriedade de empregar critérios de sustentabilidade ambiental, eficiência energética, qualidade e procedência de materiais. Com isso essa lei objetiva a determinação do emprego de técnicas sustentáveis de construção civil nas obras executadas pelo Estado do Piauí ou com recursos financeiros a qualquer título vinculado ao tesouro estadual.

A reciclagem do EPS não é muito conhecida, mas tem muita variedade e o processo depende do uso final do produto. Ocupa muito espaço em aterros e lixões ao longo dos anos. Algumas empresas até queimam materiais para descartar produtos, o que contribui para o aquecimento global e a poluição do ar ao liberar dióxido de carbono no meio ambiente (SOLER,2021).

É notável que com a crescente evolução do setor da construção civil no Brasil e no mundo, a natureza vem sofrendo, a destruição do meio ambiente está cada vez maior com a expansão da zona urbana. Com este cenário surge a necessidade em caráter de urgência de melhorias na gestão dos resíduos de construção aliado a preservação do meio ambiente, logo é de suma importância a aplicação de políticas assertivas e fiscalização mais intensa no que diz respeito ao manejo desses resíduos gerados.

3.7 PESQUISAS CORRELATAS

As pesquisas nessa área de materiais aumentam à medida que os avanços tecnológicos desenvolvem produtos eficientes em diversas regiões do mundo, tornando proveitoso, eficaz e exploratório os benefícios ao meio ambiente, através da diminuição de resíduos, além de possibilitar outras funcionalidades perante o desempenho diante do tempo de execução e levantamento da obra. Em virtude disso, alguns estudos trabalham inteiramente materiais recicláveis ou métodos sustentáveis com a intenção de observar o comportamento e a diminuição do impacto na natureza.

Em Weber et al (2017), destacam o uso do tijolo ecológico na construção civil, em suma se resume em obras de pequeno e médio porte. Dentre alguns itens citados pelos autores ainda fica evidente o fato do tijolo permitir agregar resíduos em sua composição o que pontua de forma positiva para a questão ambiental. Desse modo, além de evitar a emissão de gases poluentes, o tijolo ecológico ainda permite inserir outros materiais (desde com estudo e embasamento) em suas formulações.

O acesso a materiais recicláveis apresenta destaque em participar na formação do tijolo solo-cimento, através da adição ou substituição, conforme pode ser observado na pesquisa de Rodrigues et al (2019), no qual o trabalho realiza uma análise do solo-cimento através da substituição EPS (figura 7) em porcentagens de 5 e 10%. Nesta pesquisa ficou claro que para traços que envolvam muita água, ficando similares a argamassas convencionais, ao inserir EPS ocorre um processo chamado de exsudação e por consequência ocorre a segregação dos materiais onde devido a diferença da densidade dos materiais utilizados é gerado essa patologia fazendo com que a maior parte do isopor inserido seja emergido até a superfície.

Para evitar a manifestação dessa patologia costumam-se usarem aditivos nessas misturas. Na fabricação de tijolos ecológico por se tratar de uma mistura quase seca, não será necessário aditivo com essa função.

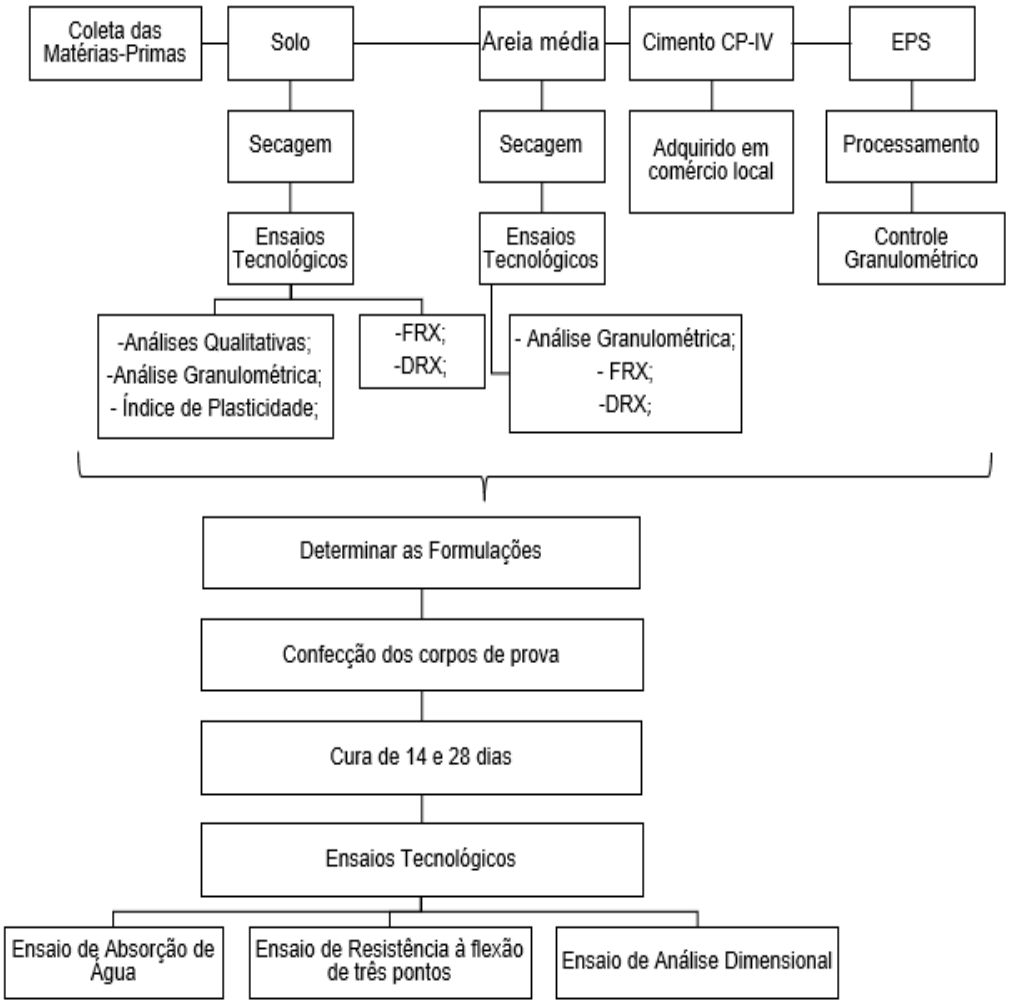
Figura 7 – Corpos de Prova com EPS

Fonte: Rodrigues, 2019.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção será mostrado toda a metodologia a ser aplicada nessa pesquisa. Para uma compreensão simplificada e assertiva de como será realizado a parte experimental. Diante disso, foi desenvolvido um fluxograma exibido na figura 8 a seguir:

Figura 8 – Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa



Fonte: Autora, 2022.

4.1 COLETA DAS MATÉRIAS - PRIMAS:

Foram coletados basicamente três componentes essenciais para a fabricação do tijolo de solo cimento objeto de estudo, são eles, cimento, solo e poliestireno.

O solo foi extraído na jazida localizada na Serra do Gavião localizada em Teresina-PI. O cimento a ser utilizado será o cimento CP IV, obtido em comércio local. O EPS foi adquirido através de peças de isopor utilizadas em obras da construção

civil, cuja destinação final seria o lixo, para utilização adequada o poliestireno passou por um processador para reduzir seu tamanho e posteriormente passou pela peneira de n°20 cuja abertura é de 1,2mm para que dessa forma houvesse um controle granulométrico do material.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A preparação da amostra para os ensaios de caracterização foi feita seguindo a norma NBR 6457, no qual após a coleta da argila, foi realizada um processo de secagem por 24h em temperatura ambiente afim de reduzir a umidade presente no material.

4.2.1 Análises qualitativas

Para análises de caráter qualitativo foram seguidas as diretrizes impostas por Taveira (1987) e Ceped (1999), onde foram feitos os seguintes ensaios Ensaio da caixa - retração do solo, Ensaio da determinação da umidade ótima em campo (Hand test), Ensaio da determinação da umidade ótima (teste da bola no solo), Ensaio do vidro, Ensaio do cordão, Ensaio da fita, Ensaio do bolo e Ensaio da resistência a seca.

- **Ensaio da caixa – retração do solo**

Este ensaio consiste em observar a retração do solo em um determinado espaço. Com isso, é moldado uma caixa com as dimensões internas de 60cm x 8,5cm x 3,5 cm, onde será colocado uma mistura de solo com água. É importante destacar que o ponto correto dessa mistura deverá ser quando ela conseguir aderir a uma superfície metálica (TAVEIRA, 1987; CEPED, 1999).

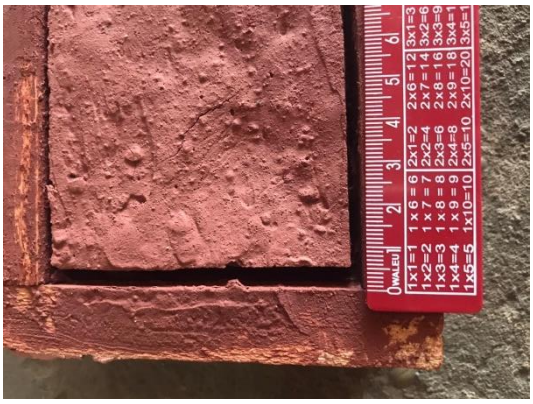
Após a moldagem da amostra, a caixa deve ser mantida em um local fechado e protegido do sol e somente após 7 dias deverá ser feito a medição da retração. Para a construção de tijolo de solo-cimento, o total da retração não deve ultrapassar 2cm, caso contrário, deverá ser feito uma correção nesse solo com adição de areia até a obtenção de um solo com as características desejadas. A figura 9 mostra como o ensaio foi realizado.

Figura 9 - Ensaio da caixa

1 – Aplicação da massa na caixa de 60x8,5x3,5cm

2 – Moldagem da amostra

3 – Após 7 dias retração gerada no solo, material apresentou trincas



4 – Medição da retração

Fonte: Autora, 2021

- **Hand test**

Teste da determinação da umidade ótima em campo, ou hand test, consiste em utilizar uma porção de solo umedecido nas mãos pressionando-o entre os dedos, onde ao abrir a mão a massa tenha adquirido a marca dos dedos. Três situações podem ocorrer nesse ensaio: a primeira consiste nas marcas bem definidas, o que indica que a umidade é adequada; caso não ocorra marca ou se houver esfarelamento, o solo pode estar muito seco e a umidade insuficiente; e por último se a marca aparecer muito compacta e molhada o solo apresenta umidade excessiva (TAVEIRA, 1987; CEPED, 1999). Na figura 10 mostram as etapas desse ensaio.

Figura 10 - Ensaio hand test

a) Porção de solo umedecido

b) Compressão do solo umedecido

c) Resultado do ensaio

Fonte: Autora, 2021.

- **Teste da bola no solo**

O ensaio para determinação da umidade ótima, ou teste da bola no solo, consiste em fazer uma bola com uma porção de solo umedecido e em seguida deixar essa bole cair de uma altura de aproximadamente 1,0m em um chão firme figura 11. Ao chocar-se com qualquer superfície dura, o bolo deverá esfarelar indicando assim um teor de umidade adequado. Se a bola não esfarelar significa que a umidade é excessiva então a massa deverá ser corrigida com adição de solo e/ou cimento. A umidade é considerada insuficiente caso não se consiga formar bolo na mão (TAVEIRA, 1987; CEPED, 1999).

Figura 11 - Teste da bola de solo

a) Solo umedecido pronto para queda

b) Amostra pós-queda

Fonte: Autora, 2021.

- **Ensaio do vidro**

Para esse ensaio foi utilizado um pote de vidro transparente e de boca larga. Nesse frasco é colocado amostra de solo até a metade do vidro, duas colheres de sal e água até completar o vidro. Fecha-se o vidro e agita-o intensamente. Deve deixá-lo em repouso por meia hora, após esse período ocorre a decantação e se torna possível a observação das frações nitidamente diferenciadas no vidro (figura 12). O solo é considerado bom quando a quantidade de argila é igual à quantidade de areia. Caso a quantidade de areia seja maior que a da argila, o solo é melhor ainda. Se ocorrer de o solo possuir mais argila que areia, deve-se proceder uma correção no solo (TAVEIRA,1987).

Figura 12 - Ensaio do vidro

a) Materiais a serem utilizados no ensaio | b) Mistura do solo com o sal | c) Camadas aparentes após 30min de mistura | d) Resultado do ensaio

Fonte: Autora, 2021.

- **Ensaio do cordão**

Use uma porção de massa composta de solo seco juntamente com água, após umedecidos deve ser rolado para a formação de cordões até que os mesmos comecem a se quebrar com um diâmetro de 3mm. Com os cordões quebrados, deve ser feito uma bola mantendo essa umidade e em seguida amassá-la entre o polegar e o indicador verificando a força necessária para esmagá-la (figura 13) (TAVEIRA, 1987; CEPED, 1999).

Figura 13 - Ensaio do Cordão

a) Mistura de solo seco e água para formação dos cordões

b) Cordão com 3mm de diâmetro

c) Cordões quebrados

d) Bola sendo esmagada entre o polegar e o indicador

Fonte: Autora, 2021.

Nesse ensaio há a possibilidade de ocorrer três situações: cordão duro que só pode quebrar a bola com muito esforço; cordão mole que a bola fissura ou esmigalha com pouco esforço; e cordão frágil onde não é possível reconstituir a bola sem que ela se fissure ou esmigalhe (TAVEIRA, 1987; CEPED, 1999).

- **Ensaio da Fita**

Esse ensaio é realizado com a mesma massa do ensaio do cordão, ou seja, mesma umidade. Deverá ser feito um cilindro do tamanho de um cigarro e em seguida amassá-lo até formar uma fita, com 3 a 6mm de espessura e com o maior comprimento possível (Figura 14). Esse ensaio pode ocorrer dois resultados diferentes: fita longa que é considerada quando alcançada o comprimento de 25 a 30cm sem dificuldade e fita curta que é quando o comprimento varia de 5 a 10cm com dificuldade (TAVEIRA, 1987; CEPED, 1999).

Figura 14 - Ensaio da Fita

Fonte: Autora, 2021.

- **Ensaio do bolo**

Deverá ser usado uma porção de solo bastante úmida e colocá-la na palma da mão. Próxima etapa é golpear esse bolo com a outra mão de forma a que se forme uma película de água na superfície da amostra, dando um aspecto liso e brilhante. Feito isso, pressione então o bolo com os dedos (figura 15). Nesse ensaio são observados dois tipos de reações a rápida e a lenta (TAVEIRA, 1987; CEPED, 1999).

Figura 15 - Ensaio do Bolo

a) Porção de solo bastante úmida b) Porção de solo após os golpes

Fonte: Autora, 2021.

Na reação rápida 5 a 10 golpes são o suficiente para que a água aflore à superfície da amostra, sendo que a pressão dos dedos faz a água desaparecer imediatamente e uma pressão mais forte esmigalha o bolo. Já na reação lenta são necessários 20 a 30 golpes para que a água aflore e a pressão dos dedos faz com que o bolo se deforme como uma bola de borracha (TAVEIRA, 1987; CEPED, 1999).

- **Ensaio da resistência a seca**

Para esse ensaio devem ser confeccionados duas ou três pastilhas de solo bem úmido, com cerca de 1cm de espessura e 2 a 3cm de diâmetro. Essas pastilhas deverão ser secadas expostas ao sol por dois ou três dias. Após a secagem esmagasse a pastilha entre o indicador e o polegar (figura 16). Nesse ensaio podemos encontrar 3 tipos de resistências: (TAVEIRA, 1987; CEPED, 1999).

❖ Grande resistência seca: Nesse caso, a pastilha é muito difícil de esmagar e quando se consegue ela se quebra como um “biscoito”.

❖ Média resistência seca: Não é difícil partir a pastilha, e com pouco esforço é possível reduzir os pedaços a pó.

❖ Fraca resistência seca: Nesse caso é muito fácil partir a pastilha e ao partir-se reduz-se a pó.

Figura 16 - Ensaio da resistência a seca

a) Preparação de 3 bolos bem úmido com cerca de 1 cm de espessura e 2 a 3cm de diâmetro

b) Pastilha seca após 3 dias ao sol

c) Pastilha seca esmagada

d) Pedaço de pastilha após rompimento

Fonte: Autora, 2021.

Com relação à análise dos resultados desses ensaios, Silva (2005) simplificou em uma tabela para melhor interpretação, conforme mostrado a seguir:

Tabela 5 – Interpretação dos ensaios expeditos do solo

Ensaio do cordão	Ensaio da Fita	Ensaio do bolo	Resistência Seca	Tipo de solo	Possibilidade de utilização
Cordão frágil ou resistência nula	Fita curta ou não se consegue fazer a fita	Reação rápida a lenta, mas jamais muito lenta	Fraca a nula, geralmente nula	Areias finas, areias finas siltosas, areias finas argilosas, siltes argilosos	Solo prensado para tijolos, adobes com cimento, terra compactada com ou sem cimento; quando muito arenosos, juntar solos finos, siltes e argilas
Cordão frágil a semi-duro	Fita curta	Reação lenta a muito lenta	Fraca a média	Siltes	Utilização mais difícil que os solos anteriores, mas possível com o uso de cimento

Cordão semi-duro	Fitas curtas a longas	Reação muito lenta ou não tem reação	Média a grande	Argilas com pedregulhos, argilas com areia e argilas siltosas	Possível de usar apenas para a terra compactada ou tijolo prensado, com cimento
Cordão duro	Fitas longas	Não tem reação	Grande	Argilosos	Não deve ser usado

Fonte: Silva, 2005.

4.2.2 Ensaio granulométrico

A análise granulométrica dos solos determina a distribuição das dimensões dos grãos de um solo. Esse ensaio é realizado segundo a norma 7181:2016, onde será verificado a granulometria por peneiramento para grãos de até 0,075mm de diâmetro. Esse ensaio foi realizado no laboratório de materiais da AESPI/UNIFAPI.

❖ **Equipamentos necessários:**

- Estufa;
- Balança de precisão;
- Recipientes adequados para comportar as amostras;
- Peneiras de que variam de 4,8mm a 0,075mm;
- Escova com cerdas metálicas, a ser utilizado para remover os grãos retidos nas malhas das peneiras;
- Agitador mecânico de peneiras, com dispositivo para fixação de até 6 peneiras, inclusive tampa e fundo;
- Cápsulas metálicas para determinação do teor de umidade.

Figura 17 - Equipamentos utilizados no ensaio de granulometria

a) Agitador de peneiras

a) Peneiras, recipientes próprios e balança de precisão

b) Material utilizado após passagem em peneiras

Fonte: Autora, 2021.

A quantidade de amostra para análise granulométrica varia de acordo com as dimensões dos grãos segundo a tabela a seguir:

Tabela 6 – Quantidade de amostra para análise granulométrica

Dimensões dos Grãos Maiores Contidos na Amostra determinada por Observação Visual (mm)	Quantidade Mínima a Tomar (Kg)
<5	1
5 a 25	4
>25	8

Fonte: ABNT NBR 6457, 2016.

❖ **Procedimentos do ensaio de laboratório:**

Determinar a massa da amostra seca em temperatura ambiente (M_T), para assim passar o material na peneira de 2,0 mm, lembrando de desmanchar no almofariz todos os torrões, assim garantindo a retenção na peneira somente os grãos maiores que a abertura da malha. Diante disso, lavar a parte retirada na peneira de 2,0mm para retirar o excesso de silte ou argila, e em seguida secar em estufa a 105ºC ou 110°C. O Material obtido será usado no peneiramento grosso.

Do material passado na peneira de 2,0mm tomar cerca de 100g para determinação da umidade higroscópica (w), de acordo com a ABNT NBR 6457. Com 100g da amostra em mãos deverá ser feito uma lavagem na peneira de 0,075mm o material obtido, vertendo-se água potável à baixa pressão. O material assim obtido é usado no peneiramento fino.

- Para o peneiramento fino, seguir os seguintes procedimentos:
- Secar o material retido na peneira de 0,075mm em estufa, à temperatura de 105°C a 110°C;
- Utilizando-se o agitador mecânico, passar nas peneiras de 1,2mm, 0,6mm, 0,42mm, 0,25mm, 0,15mm, 0,075mm. Anotar com resolução de 0,01g as massas retidas em cada peneira.
- Para o peneiramento grosso, seguir os seguintes procedimentos:
- Pesar o material retido na peneira de 2,00mm, anotar como M_g.
- Utilizando-se o agitador mecânico, passar nas peneiras de 50mm, 38mm, 25mm, 19mm, 9,5mm, 4,8mm. Anotar com resolução indicada as massas retidas em cada peneira.

❖ **Cálculos necessários:**

- Massa total da amostra seca

$$M_S = \frac{(M_t - M_g)}{(100 + h)} \text{ x } 100 + M_g \qquad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

M_S = massa total da amostra seca

M_t = massa da amostra seca ao ar

M_g = massa do material seco retido na peneira de 2,0mm

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0mm

- Porcentagens de materiais do peneiramento grosso

$$Q_g = \frac{(M_s - M_i)}{M_s} \text{ x } 100 \qquad \text{Eq. 2}$$

Sendo:

Q_g = material passado em cada peneira do peneiramento grosso, em porcentagem;

M_s = massa total da amostra seca, em gramas;

M_i = massa do material retido e acumulado em cada peneira, em gramas

- Porcentagens de materiais do peneiramento fino

$$Q_f = \frac{(M_u \text{ x } 100) - M_r(100 + w)}{(M_u \text{ x } 100)} \text{ x } N \qquad \text{Eq. 3}$$

Sendo:

Q_f = material passado em cada peneira do peneiramento fino em porcentagem;

M_u = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino, em gramas;

M_r = massa do material retido acumulado em cada peneira, em gramas;

w = umidade higroscópica do material fino (passado na peneira de 2,0mm), em porcentagem;

N = material que passa na peneira de 2,00mm, em porcentagem.

Após cumprir todas essas etapas, deverá ser montado tabelas, para preenchimento posterior no gráfico onde na abscissa encontra-se o diâmetro das partículas, em escala logarítmica, e na ordenada, as porcentagens das partículas passantes ou retida referente aos diâmetros considerados, em escala aritmética.

4.2.3 Índice de Plasticidade

Os limites *Attemberg* são métodos de avaliação da consistência de solos finos, para a verificação desses limites foi utilizado as normas NBR 6459:2016 e NBR 7180:2016 como diretrizes para a determinação dos limites de liquidez e plasticidade. Esse ensaio foi realizado no laboratório de materiais da AESPI/UNIFAPI.

a) Equipamentos necessários:

- Estufa;
- Cápsulas de porcelana;
- Espátula de lâmina flexível;
- Aparelho casa grande;
- Cinzel;
- Recipientes adequados que evitem perda de umidade;
- Balança;

Figura 18 - Equipamentos utilizados no ensaio

Fonte: Autora, 2021.

b) Procedimento no laboratório:

➢ Para o limite de liquidez

- Antes de dar início ao ensaio deve ajustar o aparelho casagrande com auxílio de gabarito;
- Utilizar cerca de 100g de amostra seca à temperatura ambiente e passada na peneira de 0,42mm;
- Pesar as cápsulas de porcelana;
- A amostra então deverá ser colocada nas cápsulas de porcelana e misturada com água destilada com auxílio da espátula, de forma a obter uma mistura homogênea, com consistência que sejam necessários da ordem de 35 golpes para fechar a ranhura;
- Após a mistura, parte da amostra deverá ser colocada na concha e ser moldada de modo que fique com uma espessura de 10mm;
- Próximo passo é dividir a massa de solo em duas partes com o cinzel, de forma a obter uma ranhura na parte central;
- No aparelho casa grande, deve-se encaixar a concha e golpeá-la contra a base girando a manivela à razão de duas voltas por segundo;
- Anotar em uma tabela o número de golpes necessário para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longe de 13mm de comprimento, aproximadamente;

➢ Para o limite de plasticidade

- Utilizar cerca de 100g de amostra seca à temperatura ambiente e passada na peneira de 0,42mm;
- A amostra então deverá ser colocada nas cápsulas de porcelana e misturada com água destilada com auxílio da espátula, de forma a obter uma mistura homogênea, de consistência plástica;
- Usar cerca de 10g da amostra misturada e formar uma pequena bola, que deverá ser rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente para a formação de cilindro;
- Tentar transformar a amostra em um gabarito com diâmetro de 3mm e comprimento padrão;
- Após moldado, cortar em 6 a 8 pedaços, guardar na capsula e levar à estufa;
- Anotar em uma tabela os pesos encontrados em cada etapa para a determinação da umidade.

c) Cálculos necessários:

$$IP = LL - LP \qquad \text{Eq. 4}$$

4.2.4 FRX

A fluorescência de raio-X (FRX) foi feito no laboratório de materiais no IFPI, através da técnica de espectrometria de fluorescência de raio-X no equipamento da marca Shimadzu de modelo EDX-700 (figura 19). Essa técnica é utilizada para poder determinar quais são os elementos químicos presentes no solo utilizado.

Figura 19 - Equipamento para FRX

Fonte: Autora, 2021.

Para uso no equipamento, a amostra deve ter granulometria inferior a 0,075mm, ou seja, o material a ser utilizado deve ser peneirado anteriormente na peneira de 200 mesh.

4.2.5 DRX

Para o ensaio no DRX a amostra deve conter a mesma granulometria utilizada no FRX. Esse ensaio possui a finalidade de identificação das fases cristalinas contidas na amostra. Essa técnica será realizada no laboratório da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

4.3 FORMULAÇÕES

Para a determinação das formulações foi de suma importância recorrer a literatura para maiores informações a respeito da adição de materiais em tijolo de solo cimento com isso segue algumas pesquisas de destaque:

• No trabalho de Gomes (2018), o traço adotado foi de 1:8 (cimento: solo), e foram utilizadas variações de adições de 0 a 12% de resíduo de borracha de pneu. Nessa pesquisa o autor destacou que para a confecção dos tijolos com a incorporação de resíduos de borracha de pneu acima de 9% se torna inviável, pois a partir desse percentual o material não foi possível a retirada do material do molde. O autor também sugere o uso de um solo mais argiloso, com teores de argila variando de 10 a 25%, assim como um controle na pressão de compactação utilizada na fabricação dos tijolos.

• Já Carvalho (2019), utilizou um traço de 1:7 (cimento: solo), e foram adicionadas fibras de coco babaçu variando de 0 a 2%. Para os ensaios de resistência a compressão os resultados exigidos por norma dentro do período de cura de 7 dias foram atingidos nos corpos de prova com adições de 1%, 1,5% e 2%. O autor ressalta ainda que na cura os tijolos devem ser molhados 3x ao dia por 7 dias. A formulação de 1,5% foi a que apresentou os melhores resultados servindo dessa forma de referência para análise dos dados em período de cura para 14, 21 e 28 dias. Os resultados encontrados para 14, 21 e 28 dias foram superiores aos encontrados na cura de 7 dias, confirmando assim que a idade do tijolo influencia as propriedades físicos-mecânicas do produto final.

• Na pesquisa de Rego (2019), usou-se um traço de 1:8 (cimento: solo), e foram adicionadas cal nas seguintes proporções 1%, 3%; 5%; 7%;10%. Nesta pesquisa todos os corpos de prova com a adição de cal apresentaram resultados negativos nos ensaios para a cura de 7 dias. Mesmo assim a formulação que apresentou melhor resultado foi a formulação com adição de 5%, o que levou a aprofundar os estudos para análise dos dados no período de cura de 14, 21 e 28 dias. O estudo do período de cura comprovou também que a resistência do tijolo de solo cimento com adição de cal tende a melhorar com o aumento desse período.

Já na linha de adição de materiais poliméricos, Rodrigues et al (2019) afirma que quanto maior a porcentagem de isopor maior a segregação e exsudação. E em Sena et al (2017), para um traço de 1:10 (cimento: solo) com adições de 5%, 8% e 11%, foi verificado um ganho de resistência com a adição do PET. Os autores também ressaltam a importância do estudo do período de cura além dos 7 dias, sendo que após os 28 dias a cura está completa e o tijolo apresenta cerca de 95% da resistência total.

Após o levantamento dessas informações, foi verificado que a maioria dos autores trabalham em uma margem que varia de 0% a 10% de adição de material em relação a massa, portanto optou-se por fazer as formulações com adição de resíduos de poliestireno expandido nas porcentagens de 2%,4%, 6%, 8% e 10%, porém realizando o traço volumétrico em relação a mistura de solo e cimento.

O isopor é um material muito leve. Por conta desse fator foi utilizado o traço volumétrico, onde a adição de isopor foi feita com o auxílio de Becker graduado nas medidas de 100ml e 400ml, e uma seringa de 5ml, conforme mostra figura a seguir:

Figura 20 - Processo de medição de cada material

a) Becker graduado 100ml

b) Medição da quantidade de isopor

c) Medição da quantidade de solo, Becker de 400ml

d) Seringa para medição de pequenas porções de adição de isopor

Fonte: Autora, 2022.

A tabela 7 mostra a nomenclatura das formulações a serem utilizadas nas amostras.

Tabela 7 – Nomenclatura das amostras a serem produzidas

Tipo de formulação	% Resíduos de poliestireno expandido	Total de amostras
FP	0	20
F2	2%	20
F4	4%	20
F6	6%	20
F8	8%	20
F10	10%	20

Fonte: Autora, 2021.

Como muitos autores comprovam o aumento das propriedades desses tijolos com o avanço do tempo de cura, sendo que a resistência final é atingida normalmente

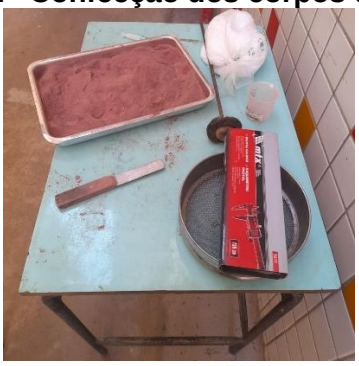
após os 28 dias de cura, portanto seguir com o estudo analisando a cura aos 14 (que é a idade mínima para uso em alvenaria) e 28 dias.

4.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS PROVA

A mistura para cada formulação foi feita de forma manual, onde primeiro foi adicionado a areia e argila o cimento e o resíduo de EPS e após a uniformização destes, foi adicionado água em quantidade suficiente para obter-se o ponto ideal da massa do tijolo ecológico. Após a preparação das formulações, foi feito a compactação do material, onde foi utilizado uma forma cuja dimensões são 10x10x80 e aplicado uma força de compactação de 30Mpa.

Figura 21 - Confecção dos corpos de prova

a) Mistura do solo + areia + cimento



b) Adição de isopor e água

c) Compactação dos corpos de prova

Fonte: Autora, 2022.

4.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO

Para esse ensaio deverá ser utilizado 3 corpos de prova de cada formulação. Esses corpos de prova deverão secar em estufa entre 105°C a 110°C, e pesados em seguida, obtendo a massa do corpo de prova seca (m_1) em gramas (g).

Próximo passo do ensaio é imergir os corpos de prova em um tanque durante 24h, após retirar da água, enxugar superficialmente com um pano levemente umedecido e pesar obtendo assim a massa do corpo de prova saturado (m_2) em gramas (g), conforme a figura 21:

Figura 22 - Etapas do ensaio de absorção.

a) Amostras após 24h na estufa

b) Pesagem para obtenção da massa seca

c) Corpos de prova imersos em água por 24h

d) Pesagem para obtenção da massa do corpo de prova saturado

Fonte: Autora, 2022.

Os valores individuais de absorção de água são obtidos pela seguinte equação:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \text{ x } 100 \qquad \text{Eq. 5}$$

Sendo:

A = absorção de água, expressa em porcentagem (%);

m_1 = massa do corpo de prova seco em estufa (g);

m_2 = massa do corpo de prova saturado (g).

A amostra ensaiada de acordo com a ABNT NBR 8492 (2012) não pode apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20% nem de valores individuais superiores a 22%, com idade mínima de sete dias.

4.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO DE TRÊS PONTOS

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência a flexão por três pontos, na máquina universal de ensaios Autograph AG-X 250KN, da fabricante

Shimadzu com uma velocidade de ensaio de 500 N/s (50 kgf/s) do laboratório de mecânica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais – PPGEM. A distância entre os apoios foi de 60mm, conforme a figura a seguir:

Figura 23 - Ensaio de resistência a flexão de 3 pontos

a) Corpo de prova posicionado para execução do ensaio.

b) Corpo de prova após ruptura.

Fonte: Autora, 2022.

Para esse ensaio foram utilizados 7 corpos de prova de cada formulação prevista anteriormente, nos períodos de cura para 14 e 28 dias, totalizando 84 corpos de prova. Para obtenção da tensão resistida pelo material foi necessário a aplicação da equação 6, essa fórmula utiliza dados apenas para verificação dos efeitos da flexão.

$$\sigma_{Flex}^{3p} = \frac{3PL}{2bh^2} \qquad \text{Eq. 6}$$

Sendo:

P = Carga aplicada (N);

L= Distância dos apoios (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

h = altura do corpo de prova (mm).

4.7 ANÁLISE DIMENSIONAL

Para análise dimensional, foi obedecido as diretrizes da norma NBR 8491 (2012), que deve possuir a forma externa de um paralelepípedo retangular, sendo suas dimensões definidas como:

- Comprimento do tijolo (C): maior dimensão das faces de assentamento;
- Largura do tijolo (L): menor dimensão das faces de assentamento;
- Altura do tijolo (H): distância entre as faces de assentamento.

Para os tijolos vazados, os furos devem ter eixo perpendicular à superfície de assentamento, a espessura mínima das paredes no seu entorno deve ser de 25mm e a distância mínima entre os dois furos devem ter 50mm.

Segundo a norma NBR 8492 (2012), deverá ser utilizado um paquímetro com resolução de pelo menos 0,5mm para conferir as dimensões, e os corpos de prova devem satisfazer as tolerâncias permitidas nas dimensões nominais dos tijolos de ±1,00mm para o comprimento (C), largura (L) e altura (H).

Foi adotado o mesmo procedimento para execução do ensaio nos corpos de prova menores, conforme mostra a figura a seguir:

Figura 24 - Etapas do ensaio de análise dimensional

a) Medição da largura b) Mediação da altura c) Medição do comprimento

Fonte: Autor, 2022.

4.8 ANÁLISE MACROESTRUTURAL

Foi feito a análise dos corpos de prova para análise de possíveis efeitos decorrentes da adição do resíduo de EPS. Também foi considerado o efeito estético, nesse ponto se destacam a coloração e proporção dos componentes da peça.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

5.1.1 Análises qualitativas

Para melhor visualização, os resultados foram resumidos na tabela 8, onde ficou evidente que o solo utilizado é adequado para a fabricação de tijolo de solo-cimento desde que haja uma correção no traço utilizado adição de areia fina ou média até a obtenção de um solo com as características desejadas.

Tabela 8 – Resumo dos resultados das Análises Qualitativas

Tipo de Ensaio	Resultados
Ensaio da Caixa	Após 7 dias, o somatório das trincas ultrapassou 2cm, solo deve ser corrigido.
Hand Test	Marca dos dedos ficou bem definida, logo a umidade é adequada.
Teste da bola no solo	Amostra esfarelou um pouco, portanto teor de umidade adequado.
Ensaio do vidro	Teor de argila superior ao de areia, indicando que o solo deverá ser corrigido.
Ensaio do cordão	Cordão semiduro
Ensaio da fita	Fitas curtas a longas
Ensaio do bolo	Reação Lenta
Ensaio da resistência a seca	Resistência seca média e grande

Fonte: Autora, 2021.

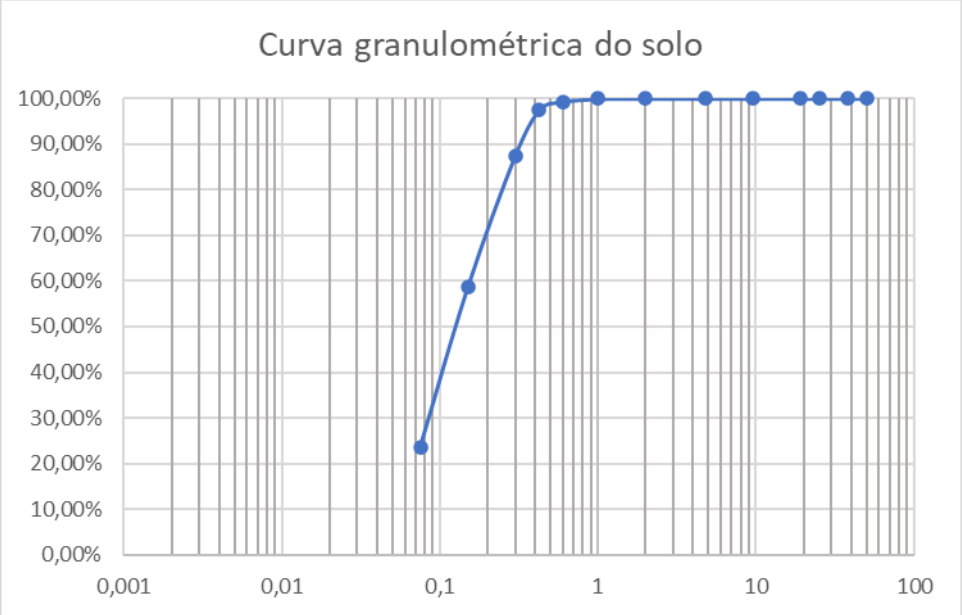
5.1.2 Análise granulométrica

Para a realização desse ensaio foi seguido a ABNT NBR 7181:2016. Com esse ensaio foi possível verificar o tamanho das partículas das matérias-primas utilizadas.

5.1.2.1 Análise Granulométrica do solo

Os resultados obtidos nesse ensaio são apontados na figura 25 a seguir.

Figura 25 - Curva granulométrica do solo



Fonte: Autora, 2021.

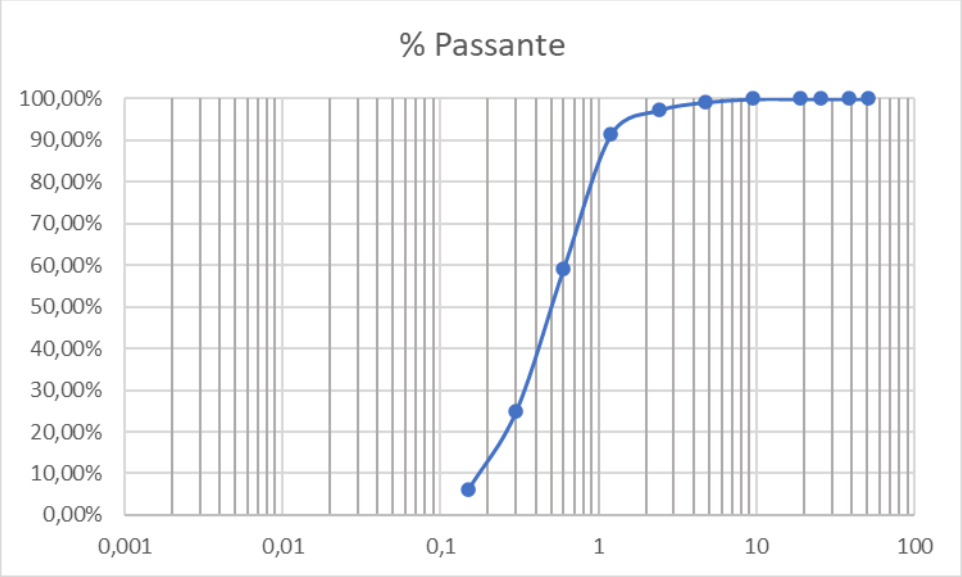
Com esse ensaio foi possível constatar que para a peneira de n°4 as partículas passantes corresponderam a 100% da amostra indicando estar dentro da norma NBR 10833 (2016), assim como o solo que passa na peneira de 200 mesh ficou dentro do limite de 10% a 50%.

Pelo ensaio de granulometria e análise juntamente com a norma NBR 10833, o solo em estudo apresentou características compatíveis com o que é exigido para a confecção de tijolos de solo cimento, pelo ensaio granulométrico pode-se definir o solo como sendo uma areia, necessitando assim do resultado do índice de plasticidade para poder classificá-lo de forma correta.

5.1.2.2 Análise Granulométrica da areia média

Os resultados obtidos nesse ensaio são apontados na figura 26 a seguir:

Figura 26 - Curva granulométrica da Areia média.



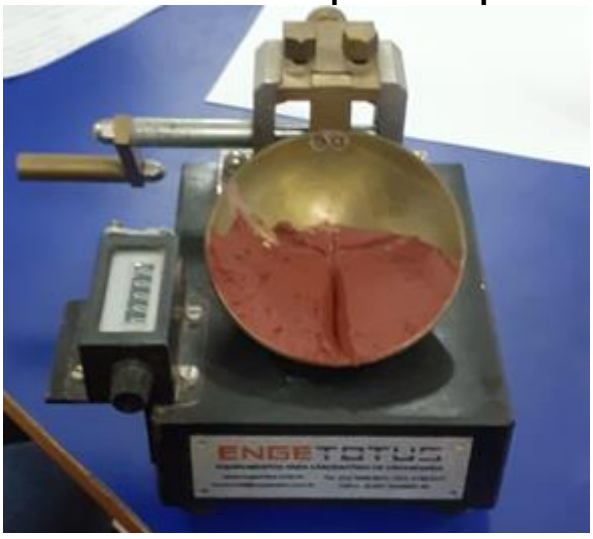
Fonte: Autora, 2022.

Através do ensaio granulométrico desse agregado miúdo, foi possível identificar qual tipo de areia está sendo utilizado. Com isso, foi possível determinar qual o módulo de finura da amostra, encontrando o valor de 2,22mm, segundo a classificação do solo pelo modulo de finura, as areias cujos valores estejam dentro do intervalo de 2,12 a 3,38 podem ser identificadas como areia média.

5.1.3 Índice de Plasticidade

Para o ensaio de limite de liquidez foi utilizado o aparelho casagrande, seguindo toda a metodologia explicada no item 4.2.3 deste trabalho.

Figura 27 - Ensaio de Limite de Liquidez – Aparelho casagrande



Fonte: Autora, 2021.

Conforme já mostrado nesse trabalho os índices ideais para a confecção de tijolos de solo-cimento seriam apresentar índice de plasticidade menor ou igual a 18% e limite de liquidez menor ou igual a 45%, ambas especificações foram atingidas nos ensaios.

Tabela 9 – Determinação dos limites de liquidez e plasticidade

LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula	N.º	01	02	03	04	05		
Peso Bruto Úmido	g	8,33	8,16	8,74	8,72	8,89	LL:	36,6%
Peso Bruto Seco	g	8,17	8,02	8,55	8,55	8,72	LP:	21,2%
Peso da Cápsula	g	7,43	7,33	7,67	7,74	7,93		
							OBS:	
Peso da Água	g	0,16	0,14	0,19	0,17	0,17	IP:	15,4%
Peso do Solo Seco	g	0,74	0,69	0,88	0,81	0,79		
Umidade	%	21,6	20,3	21,6	21,0	21,5		

Fonte: Autora, 2021.

Com esse ensaio foi possível concluir juntamente com o ensaio granulométrico que o solo em estudo se caracteriza como sendo areias argilosa e apresenta boa trabalhabilidade como material de construção e resistência de regular a boa quando compactado e saturado.

5.1.4 Fluorescência de Raios X – FRX

Após a realização do experimento com a amostra, foi possível identificar a composição existente no solo em questão, a tabela a seguir apresenta os principais componentes químicos presentes.

Tabela 10 – Resultado FRX

Componentes Químicos (%)				
Matéria-prima	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	Outros
Solo	18,69	61,27	15,61	4,43
Areia Média	3,64	94,22	0,77	1,39

Fonte: Autora, 2021.

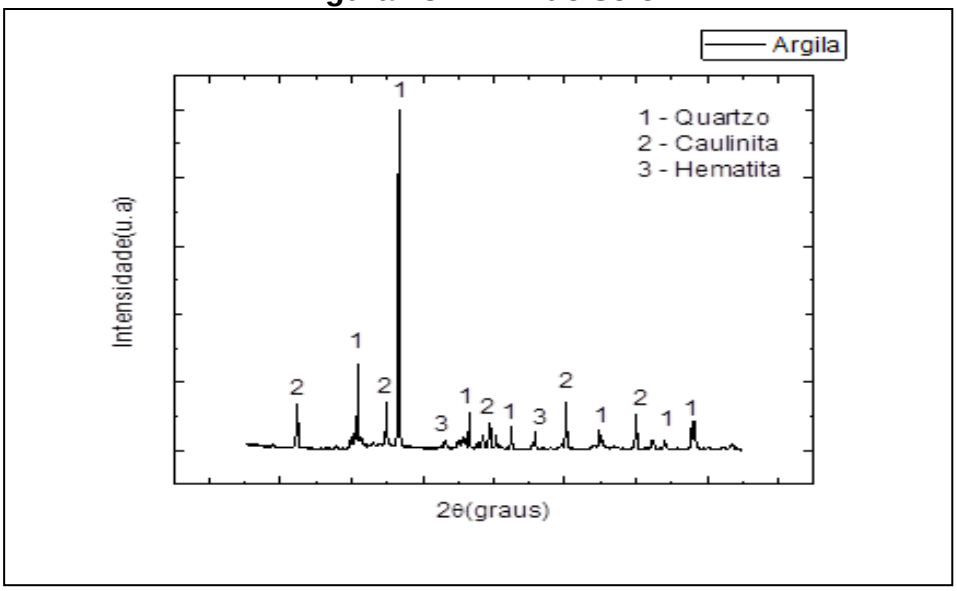
A tabela 9 apresenta que os óxidos predominantes do solo estudado são óxido de alumínio, dióxido de silício e o óxido de ferro. O óxido de alumínio é um excelente isolante térmico e elétrico, sendo uma excelente opção na formação de peças cerâmicas. O dióxido de silício (SiO_2) existente no solo evidencia a areia constituinte na amostra, sendo representada com mais de 50% da amostra analisada. A presença de hematita (Fe_2O_3) no solo proporciona uma cor avermelhada bem característicos em solos argilosos.

Para a areia média a presença da Silica (SiO_2) foi bem expressiva, apresentando 94,22% da amostra. Logo comprovou-se que de fato se tratava de um material agregado miúdo do tipo areia.

5.1.5 Difração de Raios X – DRX

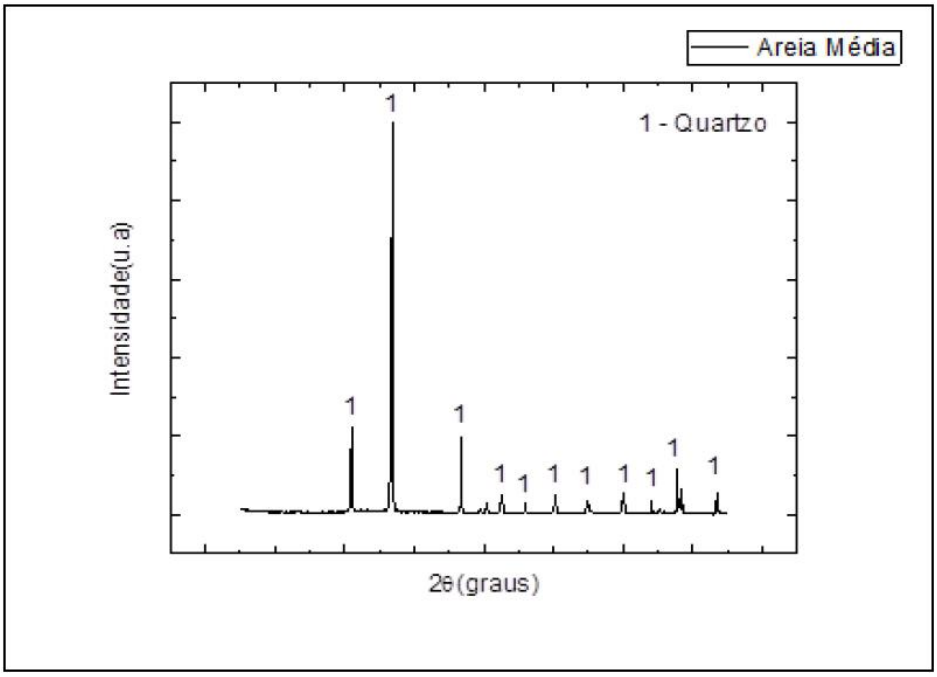
A análise mineralógica do solo (figura 28), obtida pela técnica de DRX demonstrou que o material é composto predominantemente pelos minerais quartzo, caulinita e hematita o que justifica a presença de SiO_2 e Al_2O_3 na composição química desse solo. Já na análise da areia (figura 29) foi possível a observação de apenas uma fase cristalina, identificada por quartzo corroborando com os resultados obtidos no FRX, onde esse mineral apresentou uma porcentagem de 94,22% da amostra.

Figura 28 - DRX do solo



Fonte: Autora, 2022.

Figura 29 - DRX da areia média



Fonte: Autora, 2022.

5.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para a determinação dos índices de absorção de água, foi realizado todo o procedimento descrito na metodologia, onde após a realização os resultados foram organizados em tabelas para melhor interpretação. Na Tabela 11 e figura 30 tem-se as médias dos resultados obtidos nesse ensaio, nas formulações para 14 e 28 dias.

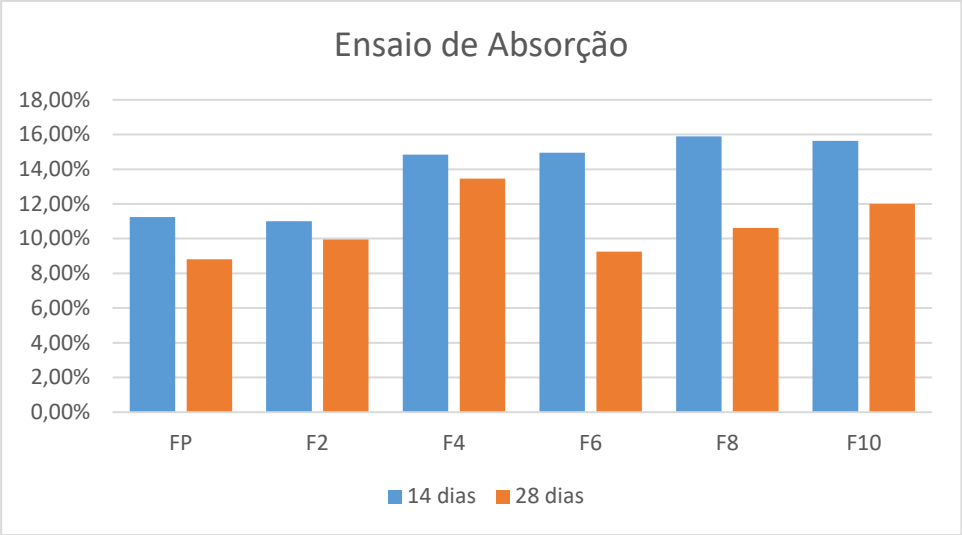
Tabela 11 – Absorção média dos corpos de prova

Formulação	14 dias	28 dias
FP	11,25 %	8,81%
F2	11,00%	9,96%
F4	14,84%	13,46%
F6	14,96%	9,26%
F8	15,90%	10,62%
F10	15,64%	12,01%

Fonte: Autora, 2022.

Constatou-se que todos os resultados obtidos no ensaio de absorção cumpriram com os requisitos da norma NBR 8491, onde os valores individuais foram inferiores a 22% assim como os resultados médios obtiveram limites inferiores a 20% conforme é evidenciado na tabela 10 acima.

Figura 30 - Resultado do ensaio de absorção.



Fonte: Autora, 2022.

É possível inferir ainda que, a adição do resíduo de EPS na composição do tijolo ecológico aumentou a absorção de água, concluindo que houve uma presença maior de porosidade no material. A porosidade no tijolo ecológico é formada a partir do processo de cura dele e quando há uma perda de água muito rápida pode corroborar na formação desses poros.

Quando o tijolo apresenta porosidade demasiada, algumas de suas propriedades podem sofrer alteração, como densidade, resistência a compressão e isolamento térmico. Para análise do comportamento desse material se fez necessário analisar de forma conjunta a análise de absorção com a resistência a flexão de três pontos.

Com relação aos períodos de cura é possível destacar a redução da absorção para uma mesma formulação. Essa diminuição de absorção é explicada pela reação contínua de hidratação do cimento presente na composição (OLIVEIRA, 2021). Essa reação permite que haja a redução dos espaços entre as partículas do solo, portanto, reduzindo a sua porosidade, resultando em menor absorção de água e maior resistência e densidade.

5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO DE TRÊS PONTOS

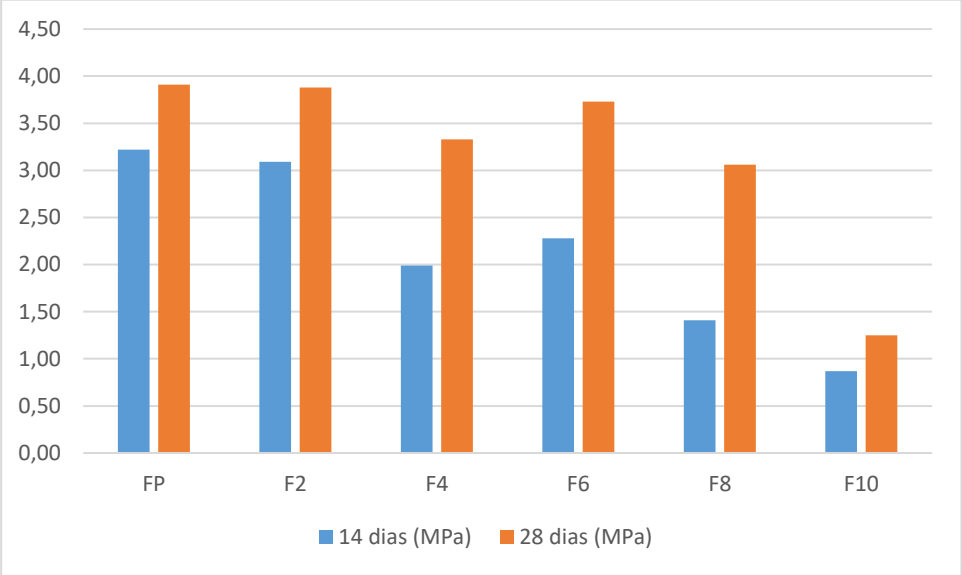
A tabela 12 e a figura 31 apresentam valores médios de resistência a flexão de três pontos dos corpos ensaiados com 14 e 28 dias. Para este ensaio foi utilizado o trabalho da autora Oliveira (2021) como base.

Tabela 12 – Valores médios dos ensaios de resistência a flexão

Formulação	14 dias (MPa)	28 dias (MPa)
FP	3,22	3,91
F2	3,09	3,88
F4	1,99	3,33
F6	2,28	3,73
F8	1,41	3,06
F10	0,87	1,25

Fonte: Autora, 2022.

Figura 31 - Valores médios de resistência a flexão



Fonte: Autora, 2022.

Conforme apresentado neste trabalho, e na norma ABNT NBR 8491 (2012), os valores aceitáveis para a resistência do tijolo de solo-cimento ficam determinados que não pode apresentar a média dos valores de resistência a compressão menor do que 2,0MPa nem valor individual inferior a 1,7MPa com idade mínima de sete dias. Com base nesse parâmetro, as amostras F4, F8 e F10 não atingiram o requisito da norma, porém a formulação F4 e F8 apresentou um ganho de resistência considerável no período de cura de 28 dias podendo assim ser utilizado após esse prazo.

Já na análise individual houve algumas variações consideráveis nas formulações F8 e F10, conforme mostra a tabela 13.

Tabela 13 – Valores individuais de resistência a flexão de 3 pontos, para as formulações de 8% e 10%

AMOSTRAS	14 DIAS (MPa)	AMOSTRAS	28 DIAS (MPa)
F8-4	2,01	F8-14	4,32
F8-5	1,82	F8-15	2,64
F8-6	2,24	F8-16	3,49
F8-7	1,28	F8-17	2,71

F8-8	0,21	F8-18	3,30
F8-9	1,32	F8-19	2,38
F8-10	0,98	F8-20	2,59
F10-4	0,73	F10-11	1,17
F10-5	0,64	F10-12	1,81
F10-6	1,18	F10-13	1,88
F10-7	0,53	F10-14	0,79
F10-8	0,31	F10-15	1,37
F10-9	0,61	F10-16	1,17
F10-10	2,08	F10-17	0,56

Fonte: Autora, 2022.

A peça F8-8 havia uma fissura interna, o que provocou sua ruptura prematura, a presença do EPS na estrutura do material gerou uma fragilidade no mesmo principalmente por conta da descontinuidade da peça. Durante o processo de mistura do EPS à formulação padrão do tijolo houve muita dificuldade por conta da diferença de densidade dos materiais adicionados.

Como as formulações F10 possuíam mais EPS em sua composição, nestas amostras basicamente não foi possível realizar o cumprimento da norma no quesito resistência média de 2,0MPa, porém aos 28 dias duas amostras (F10-5 e F10-6) obtiveram resistência individual superior a 1,7 MPa, como elas não representam nem 30% das amostras analisadas optou-se por considerar esse resultado irrelevante.

Logo, para os ensaios de resistência a flexão de 3 pontos as amostras F8 apresentaram resultados positivos após o período de cura de 28 dias podendo ser utilizada após esse período, e a F10 não é recomendada já que não atingiu os requisitos mínimos nas idades de 14 e 28 dias.

5.4 ANÁLISE DIMENSIONAL

Para essa análise foi seguido as diretrizes descritas na metodologia juntamente com a ABNT NBR 8491 (2012), onde os resultados são mostrados a seguir:

Tabela 14 – média das dimensões das formulações

Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)
14 dias			
FP	8	9,4	78
F2	8,1	9,1	78
F4	8	9,4	78
F6	8,3	9,4	78
F8	8,2	9,7	78

F10	8	11,4	78
28 dias			
FP	8	9,6	78
F2	8,2	9	78
F4	8	9,6	78
F6	8,2	10	78
F8	8,1	10,5	78
F10	8	11,4	78

Fonte: Autora, 2022.

Como é possível observar todos as amostras tiveram variação do molde utilizado (10x10x80) sendo reduzido até 2,0mm do seu tamanho original, porém ao analisar um mesmo grupo não é possível constatar discrepâncias chamativas. A amostra F10 foi a que apresentou maiores dimensões, certamente causado pelo volume de EPS adicionado em sua composição.

5.5 ANÁLISE MACROESTRUTURAL

A resistência dos materiais cerâmicos é influenciada por diversos fatores, tais como: composição, ocorrência de defeitos internos, espessura do material, método de processamento. Notou-se que o ensaio de resistência a flexão comprovou o que havia sido previsto no ensaio de absorção, com a redução da absorção aumenta-se a resistência na peça. A interação do EPS com o tijolo de solo cimento não foi de forma homogênea, logo a presença do EPS alterou a composição inicial do tijolo e gerou alguns defeitos com relação a estrutura desse material, conforme mostra a figura 32, a presença do EPS descaracteriza a superfície do tijolo ecológico.

Figura 32 - Corpo de prova com a presença de EPS

Fonte: Autora, 2022.

Um fator importante condiz na união entre as partículas de EPS junto ao solo, no qual a sua formulação não apresenta resultados satisfatórios, visto que a ligação entre o plástico e solo apresenta espaços vazios, tornando o material bastante poroso o que posiciona na sua segregação, conforme pode ser observado na figura 32.

Em alguns corpos de prova foi possível a observação de aglomerados de isopor e nesses pontos surgiram fissuras, como evidenciado na amostra F8-8, promovendo ruptura precoce no ensaio de resistência a flexão de 3 pontos. Sobre a coloração é notório a presença de Ferro na composição química do solo, visto que esse elemento proporciona o tom avermelhado na peça.

6. CONCLUSÕES

- Os resultados qualitativos do solo demonstraram que o solo era apropriado para a fabricação de tijolo ecológico desde que fosse feito a correção com areia.
- Nas análises químicas e mineralógicas também apresentaram resultados satisfatórios, ou seja, apropriados para a fabricação do tijolo ecológico.
- Todas as amostras cumpriram os pressupostos no ensaio de absorção, onde o máximo obtido nos ensaios foi de 15,90% na média da formulação 8 (F8) aos 14 dias.
- As formulações FP, F2 e F6 apresentaram bons resultados de resistência à flexão de 3 pontos.
- A formulação F10 demonstrou ser inexequível visto que apenas duas amostras apresentaram resultados positivos quanto a resistência à flexão de 3 pontos.
- A presença do EPS descaracteriza o fator estético do tijolo de solo-cimento.
- O estudo de cura indica o que os outros autores já haviam levantado, que a resistência do tijolo tende a aumentar aos 28 dias.
- Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a utilização de resíduo de EPS na composição de tijolo ecológico é viável.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Dadas as condições em que esta pesquisa foi realizada, existem outros parâmetros que ainda podem ser analisados e estudados com maior profundidade para trabalhos futuros relacionados à fabricação de tijolos ecológicos com adição de resíduos de EPS, como os indicados a seguir:

- Confeccionar tijolos do tamanho real para comprovação dos resultados aqui expostos;
- Análise do período de cura mais prolongado;
- Análise térmica do tijolo com adição de resíduo de EPS;
- Analisar os parâmetros de absorção e resistência para mais de 28 dias;
- Realizar estudo da viabilidade econômica-industrial do tijolo com adição de resíduos de EPS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica** – Procedimento. Rio de Janeiro: 2012.

ABNT. **NBR 6457: Amostras de solo** – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: 2016.

ABNT. **NBR 6459: Solo** – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: 2016.

ABNT. **NBR 7180: Solo** – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: 2016.

ABNT. **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento** – Requisitos. Rio de Janeiro: 2012.

ABNT**. NBR 8492: Tijolo de solo-cimento** – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro: 2012.

AGROINTELI, B. **Planejamento de Safra:** Os 5 fatores de formação do solo e suas implicações agronômicas. Agricultura do futuro. Disponível em https://blog.agrointeli.com.br/blog/planejamento-de-safra-5-fatores-dosolo/. Acesso em 12 de abril de 2021.

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

BIOBLOC. **Origem do Tijolo Ecológico** - Um pouco de História. Disponível em: http://biobloctijolosecologicos.blogspot.com/p/blog-page.html#:~:text=Ele%20surgiu%20atrav%C3%A9s%20de%20um,conchas%20de%20mariscos%20e%20trituravam. Acesso em 12 de abril de 2021.

BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 123-136, set. 2002.

CARVALHO, R. S. de S. **ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO BABAÇU EM FORMULAÇÕES DE TIJOLO SOLO-CIMENTO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado) – Instituto Federal do Piauí – 2019.

CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. **Manual de construção com solo cimento – MT-5**. Thaba, Camaçari, Bahia. 1999. Convênio CEPED / BNH / URBIS / CONDER / PMC / OEA / CEBRACE. 114 p. il. 4ª edição.

Entenda Antes. **O que é alvenaria? E quais são os tipos?** Disponível em: https://entendaantes.com.br/alvenaria/. Acesso em 12 de abril de 2021.

FOGAÇA, J. R. V. "**Poliestireno**"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/quimica/poliestireno.htm. Acesso em 12 de abril de 2021.

GOMES, R. M. M. **DESENVOLVIMENTO DE TIJOLO-ECOLÓGICO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU**. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado) – Instituto Federal do Piauí, 2018.

Motta et al. (2014), MOTTA, J. C. S. S., et al. **Tijolo de solo-cimento**: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. e-xacta 7.1 (2014): 13-26.

OLIVEIRA, F. das C. **ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E DA QUALIDADE DO TIJOLO ECOLÓGICO PRODUZIDO NA REGIÃO DE TERESINA-PI**. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado) – Instituto Federal do Piauí, 2021.

Rodrigues, F. R., et al. **Desenvolvimento da mistura solo cimento com substituição de 5 e 10 por cento de solo com isopor.** ANAP Brasil, v. 12, n.24, 2019.

SENA, R. J., et al. **AVALIAÇÃO MECÂNICA DE TIJOLO MACIÇO SOLO-CIMENTO CONTENDO RESÍDUO DE PET**. Veredas – Revista Eletrônica de Ciências. V. 10, n. 1, 2017.

SILVA, S. R. **TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO REFORÇADO COM SERRAGEM DE MADEIRA.** Trabalho de conclusão de curso (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SOLER, R. J. L. R. **TIJOLOS DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO REFORÇADOS COM FIBRAS DE POLIETILENO**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2021.

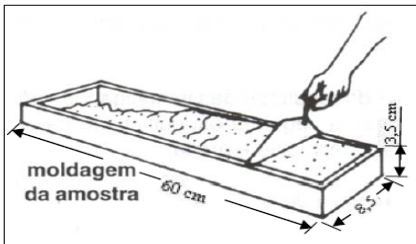
SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. Ilha Solteira: UNESP, 2006.

TAVEIRA, Eduardo Salmar Nogueira. **O solo-cimento no campo e na cidade. Construir, morar, habitar**. Coleção Brasil Agrícola, Ícone editora. 2ª edição. São Paulo, SP, 1987.

TOLEDO, M.C.M; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Da rocha ao solo: intemperismo e pedogênese. In: Decifrando a Terra. São Paulo: Editora Nacional, 2009.

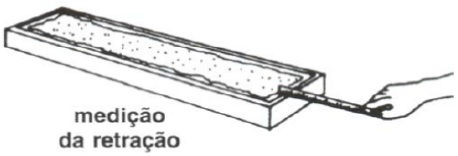
Weber, E.; Campos, R. F. F.; Borga, T. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TIJOLO ECOLÓGICO SOLOCIMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Ignis, Caçador, v.6, n.2, p.18-34, maio/ago 2017.

ANEXO



Tomar uma porção de solo destorroado e peneirado e umedecê-lo com água até a mistura aderir a uma superfície metálica, por exemplo, a lâmina da colher de pedreiro. Colocar a mistura em uma caixa de madeira lubrificada com óleo diesel ou similar, com dimensões internas de 60cm x 8,5cm x 3,5cm.

Deixar a caixa moldada com a mistura à sombra em ambiente fechado, protegido de sol e chuva e depois de sete dias medir a retração no sentido do comprimento.

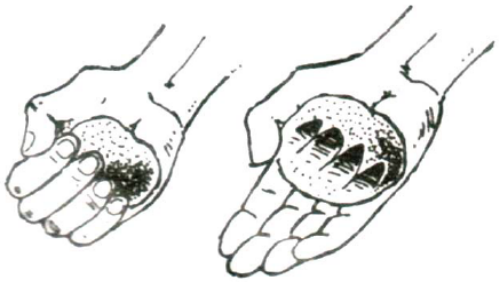


Se o total da retração não ultrapassar 2 cm e não aparecerem trincas na amostra, o solo estará qualificado para construção com solo-cimento. Caso contrário, deverá ser adicionada areia até a obtenção de um solo com as características desejadas.

FIGURA Ap-A1 – Ensaio da caixa
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

Ap-A7. Ensaio para determinação da umidade ótima em campo (hand test)

Tomar uma porção de solo umedecido nas mãos, apertando-o entre os dedos de forma que ao abrir a mão, a massa tenha adquirido a sua forma (fique a marca dos dedos).



Se a marca dos dedos ficar bem definida, a umidade é adequada. Caso a marca não ocorra ou se houver esfarelamento, significa que o solo pode estar muito seco e a umidade é insuficiente. Se a marca aparecer muito compacta e molhada – mais do que úmida – então a umidade é excessiva.

FIGURA Ap-A7 – Hand test
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

Ap-A8. Ensaio para determinação da umidade ótima (teste da bola de solo)

Tomar uma porção de solo umedecido nas mãos prensando-o até fazer uma bola com ele. Em seguida, deixe a bola de massa cair de uma altura de aproximadamente 1,0 m em um chão firme. Ao chocar-se com qualquer superfície dura, o bolo deverá esfarelar indicando assim um teor de umidade adequado.

Caso contrário, se a bola não esfarelar, é sinal de que a umidade é excessiva. Neste caso, há necessidade de secar a amostra ou então acrescentar solo e cimento em suas devidas proporções, repetindo assim o ensaio. A umidade é considerada insuficiente caso não se consiga formar o bolo na mão.

FIGURA Ap-A8 – Determinação da umidade ótima do solo
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

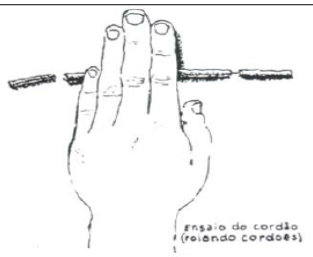
Ap-A9. Ensaio do vidro

Tomar um frasco transparente de boca larga. Colocar a amostra de solo até a metade do vidro. Adicionar duas colheres de chá de sal e completar o vidro com água. Tampar o vidro, agitando-o vigorosamente. Deixá-lo em repouso por aproximadamente meia hora.

Após esta meia hora ocorrerá a decantação do solo, e observando-se as frações nitidamente diferenciadas no vidro pode-se avaliar o solo. O solo é considerado bom quando a quantidade de argila é igual à quantidade de areia. Caso a quantidade de areia seja maior que a de argila, o solo é melhor ainda. Se ocorrer de o solo possuir mais argila que areia, deve-se proceder uma correção no solo.

FIGURA Ap-A9 – Ensaio do vidro
Fonte: elaborado a partir de TAVEIRA, 1987.

Ap-A4 Ensaio do cordão



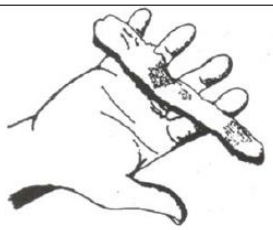
Tomar uma porção de solo seco e juntar água rolando cordões até que os mesmos comecem a se quebrar com um diâmetro de 3 mm.
Com os cordões quebrados, formar uma bola mantendo essa umidade. Esmagar a bola entre o polegar e o indicador verificando a força necessária para esmagá-la.

FIGURA Ap-A3 – Ensaio do cordão
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

- Cordão duro: só se pode quebrar a bola com muito esforço.
- Cordão mole: a bola se fissura ou esmigalha com pouco esforço.
- Cordão frágil: não é possível reconstituir a bola sem que ela se fissure ou esmigalhe.

FIGURA Ap-A4 – Ensaio do cordão
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

Ap-A3. Ensaio da fita



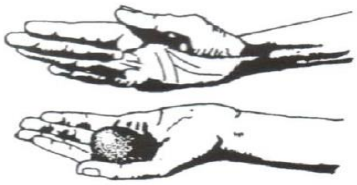
Tomar uma porção de solo, com a mesma umidade do ensaio do cordão, e fazer um cilindro do tamanho de um cigarro. Amassar este cilindro até formar uma fita, com 3 a 6 mm de espessura e com o maior comprimento possível.

- Fita longa: 25 a 30 cm sem dificuldade

- Fita curta: 5 a 10 cm com dificuldade.

FIGURA Ap-A2 – Ensaio da fita
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

Ap-A6. Ensaio do bolo



Tomar uma porção de solo bastante úmida e colocá-la na palma da mão. Golpear esta bola com a outra mão de modo que uma película de água aflore na superfície da amostra, dando-lhe um aspecto liso e brilhante. Pressionar então o bolo com os dedos.

- Reação rápida: Bastam 5 a 10 golpes para que a água aflore à superfície da amostra, sendo que a pressão dos dedos faz a água desaparecer imediatamente e uma pressão mais forte esmigalha o bolo.
- Reação lenta: São necessários 20 a 30 golpes para que a água aflore; a pressão dos dedos faz com que o bolo se deforme como uma bola de borracha.

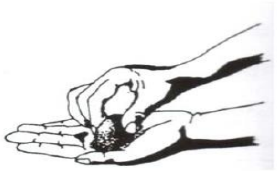


FIGURA Ap-A6 – Ensaio do bolo
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

Ap-A5. Ensaio de resistência seca

Fazer duas ou três pastilhas de solo bem úmido, com cerca de 1 cm de espessura e 2 a 3 cm de diâmetro. Secar estas pastilhas ao sol por dois ou três dias. Após a secagem, tentar esmagar a pastilha entre o indicador e o polegar:

- Grande resistência seca:	É muito difícil esmagar a pastilha e quando se consegue esta se quebra como um "biscoito".
- Média resistência seca:	Não é difícil partir a pastilha e com algum esforço consegue-se reduzir os pedaços a pó.
- Fraca resistência seca:	É muito fácil partir a pastilha e ao partir-se reduz-se a pó.

FIGURA Ap-A5 – Ensaio de resistência seca
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.