

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ARNON BERG MICHEL DE LIMA

**ANÁLISE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA LAPIDAÇÃO DO GRANILITE
NA CONFEÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**

DELMIRO GOUVEIA-AL
2025

ARNON BERG MICHEL DE LIMA

**ANÁLISE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA LAPIDAÇÃO DO GRANILITE
NA CONFECÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Alagoas, como
requisito parcial à obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Alexandre
Nascimento de Lima

Coorientador: Eng. Francisco Aureliano
Rocha de Vasconcelos Teixeira

DELMIRO GOUVEIA-AL
2025

Catálogo na fonte

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

L732a Lima, Arnon Berg Michel de

Análise do aproveitamento de resíduo da lapidação do granilite na confecção de tijolos de solo-cimento / Arnon Berg Michel de Lima. - 2025.

95 f. : il.

Orientação: Alexandre Nascimento de Lima.

Coorientação: Francisco Aureliano Rocha de Vasconcelos Teixeira.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2025.

1. Construção civil. 2. Granilite. 3. Resíduos sólidos. 4. Tijolo de solo-cimento. 5. Resíduo da lapidação do granilite. 6. Tijolo ecológico. 7. Reciclagem. 8. Sustentabilidade. I. Lima, Alexandre Nascimento de, orient. II. Teixeira, Francisco Aureliano Rocha de Vasconcelos, coorient. III. Título.

CDU: 624.05

Folha de Aprovação

ARNON BERG MICHEL DE LIMA

ANÁLISE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA LAPIDAÇÃO DO GRANILITE NA CONFECÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Alexandre Nascimento de Lima
Coorientador: Eng. Espec. Francisco Aureliano Rocha de Vasconcelos Teixeira

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE NASCIMENTO DE LIMA**
Data: 25/02/2025 11:01:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador – Msc. Alexandre Nascimento de Lima
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 **FRANCISCO AURELIANO ROCHA DE VASCONCEL**
Data: 21/02/2025 20:23:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coorientador – Esp. Francisco Aureliano Rocha de Vasconcelos Teixeira
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 **KARLISSON ANDRE NUNES DA SILVA**
Data: 21/02/2025 16:29:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno – Msc. Karlisson André Nunes da Silva
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 **ALLYSON MACIEL LIMA**
Data: 18/02/2025 17:00:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Externo – Eng. Allyson Maciel Lima

A Deus, pela força e sabedoria, Aos meus pais, pelo exemplo e pelo amor incondicional. À minha esposa, pelo apoio e companheirismo e ao meu filho, minha maior inspiração e alegria.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, obrigado a Deus por me conceder força, saúde e perseverança ao longo desta jornada, permitindo-me chegar até aqui. Aos meus pais, pelo amor, pela orientação e pelo exemplo de trabalho e honestidade que sempre me ensinaram. Aos meus irmãos e sobrinhos, pelo apoio e incentivo que sempre me dedicaram. À minha querida esposa, Jeane, pelo carinho e pelo apoio incondicional, e ao meu filho, Miguel, que é minha maior motivação e fonte de alegria.

Manifesto minha profunda gratidão ao meu orientador, Alexandre Lima, pela orientação, paciência e dedicação, fundamentais para a realização deste trabalho, e ao coorientador, Francisco Aureliano, pelo suporte ao desenvolvimento do estudo. Agradeço também aos colegas do Campus do Sertão, onde encontraram apoio e amizade ao longo deste caminho, especialmente a Laila Vieira e Eduardo Miranda, pelo auxílio e incentivo.

Sou grato aos avaliadores da banca, Karlisson André Nunes da Silva e Allyson Maciel Lima, por suas contribuições e sugestões valiosas, que enriqueceram este trabalho. Agradecimentos ao técnico de laboratório, Tássis Feitosa, pela disposição em realizar os ensaios de rompimento dos Cp's no laboratório do CTec, contribuindo para o avanço das etapas experimentais. Meus agradecimentos ao engenheiro Adeilton Rocha pelo empréstimo da prensa de tijolos ecológicos e ao meu colega Maique por permitir a retirada do solo em sua propriedade, fornecimento de material essencial ao estudo. Sou igualmente grato à Universidade Federal de Alagoas, por me fornecer todo suporte com transportes e a estrutura necessária para minha formação.

Expresso minha gratidão aos professores da Universidade Federal de Alagoas que, ao longo da minha formação, compartilharam conhecimento e inspiração, preparando-me para este momento.

A todos vocês, meu muito obrigado.

*“Na Natureza, nada se cria, nada se perde,
tudo se transforma.”*

Antoine Lavoisier

RESUMO

O aumento da geração dos resíduos na construção civil representa um grande problema ambiental, especialmente com o descarte inadequado de materiais, como o resíduo da lapidação do granilite (RLG). Neste trabalho, foi explorado a possibilidade de usar o RLG na fabricação de tijolos solo-cimento, que são uma alternativa mais sustentável aos tijolos tradicionais. Com base na abordagem adotada e nas fundamentações teóricas, esta pesquisa se classifica como documental, possuindo cunho qualitativo, utilizando-se de pesquisa de campo, descritiva e laboratorial. O tijolo de solo-cimento é uma alternativa interessante para construções sustentáveis, pois não necessita do uso de fornos em sua confecção, não emitindo dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Os testes desta pesquisa foram realizados com 5%, 10% e 15% de RLG, adicionado em relação à massa do cimento na mistura dos tijolos, buscando verificar como esse resíduo afetava as seguintes categorias: resistência, absorção de água, dimensões e índice de vazios. Observou-se que o RLG apresentou potencial na redução do índice de vazios e se manteve dentro dos parâmetros de absorção de água, contudo, os tijolos fabricados não atingiram a resistência mínima exigida, de 2,0 MPa em média e 1,70 MPa individual. Todavia, o uso de resíduos na construção ajuda a reduzir os impactos ambientais e torna o setor mais sustentável.

Palavras-chave: resíduos sólidos; granilite; reciclagem; tijolo de solo-cimento; resíduos de lapidação; tijolos ecológicos.

ABSTRACT

The increase in waste generation in civil construction represents a major environmental problem, especially with the inadequate disposal of materials, such as waste from granite polishing (RLG). In this work, the possibility of using RLG in the manufacture of soil-cement bricks, which are a more sustainable alternative to traditional bricks, was explored. Based on the approach adopted and the theoretical foundations, this research is classified as documentary, with a qualitative nature, using field, descriptive and laboratory research. Soil-cement brick is an interesting alternative for sustainable constructions, as it does not require the use of ovens in its manufacture, and does not emit carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere. The tests in this research were carried out with 5%, 10% and 15% of RLG, added in relation to the mass of cement in the brick mixture, seeking to verify how this residue affected the following categories: resistance, water absorption, dimensions and void index. It was observed that the RLG had potential to reduce the void index and remained within the water absorption parameters, however, the manufactured bricks did not reach the minimum required strength, of 2.0 MPa on average and 1.70 MPa individually. However, the use of waste in construction helps to reduce environmental impacts and makes the sector more sustainable.

Keywords: solid waste; granite; recycling; soil-cement brick; polishing waste; ecological bricks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Coleta total e per capita de RCD no Brasil em 2021	20
Figura 02 – Estrutura do piso granilite	23
Figura 03 – Piso granilite pronto	24
Figura 04 – Juntas de dilatação	25
Figura 05 – Diferentes cores de granilite	25
Figura 06 – Quadros maiores	26
Figura 07 – Aplicação de argamassa de granilite e nivelamento com régua	27
Figura 08 – Aplicação concluída	27
Figura 09 – Vista inferior da máquina com esmeril	28
Figura 10 – Pedra Esmeril Grão 36	28
Figura 11 – Calafetagem do piso granilite	29
Figura 12 – Piso brilho intenso	29
Figura 13 – Produção RLG	30
Figura 14 – Granilite tipo Fulget	30
Figura 15 – MEV do RLG com aproximação	32
Figura 16 – Casa de adobe de Chica da Silva	33
Figura 17 – Peneiramento do material	35
Figura 18 – Bolinha de solo-cimento	37
Figura 19 – Bolinha de solo-cimento lançado a 1 metro	36
Figura 20 – Prensa Manual	36
Figura 21 – Prensa hidráulica com motor	37
Figura 22 – Retirada de tijolo	37
Figura 23 – Tijolo vazado e reentrâncias	40
Figura 24 – Primeira construção com utilização de componentes do cimento	41
Figura 25 – Fluxograma do procedimento de ensaios	43
Figura 26 – Povoado de Estreito, extração da amostra	44
Figura 27 – Vista do local da coleta	44
Figura 28 – Secagem do solo ar	45
Figura 29 – Destorroamento	46
Figura 30 – Quarteamento de amostra	46
Figura 31 – Lavagem do material	48
Figura 32 – Peneiramento do material	49
Figura 33 – Mistura do solo passado	51
Figura 34 – Ensaio de limite de plasticidade	53
Figura 35 – Preparação solução padrão (a), frasco com solução de hidróxido de sódio e solos	

(b)	54
Figura 36 – Coloração obtida com solo ensaiado (1), solução padrão (2)	55
Figura 37 – Tipo de cimento usado	55
Figura 38 – Pesagem do RLG (a), querosene até a marca entre 0 e 1 cm ³ (b), leitura final do frasco (c) e material a ser colocado no frasco (d)	57
Figura 39 – Pesagem do RLG (a), peneira #200 com RLG (b) e massa final peneiramento final (c)	58
Figura 40 – Massa cimento no recipiente padrão (a), tara do recipiente (b) e massa do solo (d)	61
Figura 41 – Peneira de 4,80 mm	61
Figura 42 – Traço padrão (a), traço padrão + RLG (b), material seco antes da mistura (c), adição do RLG (d) e mistura seca pronta (e)	62
Figura 43 – Hidratação do traço (a), observação da umidade (b), torrão com marca dos dedos (c), lançamento do torrão (d) e resultado do desfazimento do torrão (e).....	63
Figura 44 – Limpeza da prensa (a), prensagem do tijolo (b), retirada com cuidado do tijolo (c) e cura com borrifador de pressão (d)	64
Figura 45 – Escolha dos tijolos (a) e medição das faces (b)	65
Figura 46 – Marcação do centro (a), uso de esquadros para marcar (b), corte com serra mármore (c) e corte realizado (d)	65
Figura 47 – Pesagem do cimento (a), colocação da pasta na metade do tijolo (b), nivelamento preliminar (c) e fixação das metades prontas (d)	65
Figura 48 – Argamassa do vidro (a), nivelamento do primeiro lado(b) (c), Nivelamento lado oposto (d) e faceamento pronto (e)	66
Figura 49 – Imersão dos cp's (a), rompimento cp's (b), cp's rompido (c) e gráfico de tensão x deslocamento (d)	66
Figura 50 – Secagem na estufa (a), dessecador para esfriar (b), pesagem massa seca (c), imersão em água e secagem com pano úmido (d) e pesagem saturada (e) ..	68
Figura 51 – Conjunto da Balança hidrostática	69
Figura 52 – Soluções de ensaio	74
Figura 53 – Pesagem resíduos retidos na peneira n° 200	77
Figura 54 – Grãos de solo com RLG finos	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Coleta total e per capita de RCD por região	21
Gráfico 02 – Curva granulométrica do solo ensaiado	70
Gráfico 03 – Faixas de tipo de solo em porcentagem	71
Gráfico 04 – Dados do ensaio LL	72
Gráfico 05 – Ensaio de absorção de água	79
Gráfico 06 – Comparações de resistência a compressão simples, média e menor individual	80
Gráfico 07 – Índice de vazios	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Distribuição química do RLG	31
Tabela 02 – Tipos de tijolos	39
Tabela 03 – Quantidade de amostra para análise granulométrica	47
Tabela 04 – Quantidade ensaiada para cada traço	59
Tabela 05 – Traços para fabricação do tijolo ecológico	60
Tabela 06 – Faixas de tipo de solo em porcentagem	71
Tabela 07 – Dados do ensaio de LL	72
Tabela 08 – Dados do ensaio de LP	73
Tabela 09 – Dados do ensaio de LP	73
Tabela 10 – Primeiro ensaio massa específica	75
Tabela 11 – Índice de finura	75
Tabela 12 – Primeiro ensaio massa específica	76
Tabela 13 – Índice de finura do RLG	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
BTC	bloco de terra comprimida
CEPED	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTec-LEMA	Laboratório de Estruturas e Materiais do Centro de Tecnologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
NBR	Norma Brasileira
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD	resíduos de construção e demolição
RLG	Resíduo da lapidação de granilite
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UNIMEP	Universidade Metodista de Piracicaba

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcetagem
μm	Micrómetro
Al_2O_3	Alumina
CaO	Óxido de cálcio
Cal	cal
Cm	Centímetro
cm^3	Centímetros cúbicos
CO_2	Dióxido de carbono
Fe_2O_3	óxido de ferro
G	grama
K_2O	óxido de potássio
Kg	Quilograma
Kgf	Quilograma-força
M	Metro
MgO	Óxido de magnésio
Mm	Milímetro
Mm^2	Milímetro quadrado
MPa	Mega pascal
N	Newton
N/mm^2	Newton por Milímetro quadrado
Na_2O	óxido de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
SiO_2	sílica
SO_3	Anidrido sulfúrico
TiO_2	Óxido de titânio
ρ	Massa específica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivo Geral	19
1.2 Objetivos Específicos	19
2 RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	20
2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)	22
2.2 Reciclagem de resíduos na construção civil	22
2.3 Piso industrial de granilite	23
2.3.1 Junta de dilatação.....	24
2.3.2 Agregado do piso granilite	25
2.3.3 Processo de confecção de piso granilite.	25
2.4 Resíduo da Lapidação do Granilite (RLG)	31
2.5 Tijolos ecológicos	32
2.5.1 Definição e breve histórico dos tijolos solo-cimento	32
2.5.2 Vantagens e desvantagens tijolos solo-cimento.....	33
2.5.3 Fabricação do tijolo solo-cimento	34
2.5.4 Normatização para tijolo solo-cimento	38
2.6 Cimento	40
2.7 Água para tijolo cimento	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 Extração do solo	44
3.2 Caracterização do solo	45
3.2.1 Granulometria do solo.....	47
3.2.2 Limites de consistência ou limites de Atterberg.....	50
3.2.2.1 Limite de liquidez	50
3.2.2.2 Limite de plasticidade e Índice de plasticidade.....	52
3.2.3 Determinação de impurezas orgânicas.	53
3.3 Caracterização do cimento	54
3.3.1 Massa específica do cimento	55
3.3.2 Índice de finura do cimento	55
3.4 Resíduos de lapidação de piso granilite	55
3.4.1 Índice de finura do RLG	56
3.4.2 Massa específica do RLG	57
3.5 Fabricação e ensaios com tijolo ecológico	59
3.5.1 Determinação do traço.....	59
3.5.2 Fabricação do tijolo ecológico	61
3.5.3 Análise dimensional dos tijolos	64
3.5.4 Resistência mecânica a compressão	64
3.5.5 Análise do índice de absorção	67

3.5.6 Verificação do índice de vazios.....	68
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
4.1 Análise Granulométrica.....	70
4.2 Limite de liquidez, plasticidade e índice de plasticidade.....	72
4.3 Determinação de impurezas orgânicas.....	73
4.4 Massa específica do cimento.....	74
4.5 Índice de finura do cimento.....	75
4.6 Massa específica do RLG.....	75
4.7 Índice de finura do RLG.....	76
4.8 Análise dimensional do tijolos solo-cimento.....	78
4.9 Análise de absorção do tijolo de solo-cimento ecológico.....	78
4.10 Compressão simples do tijolo ecológico.....	79
4.11 Resultado do índice de vazios.....	80
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
REFERÊNCIAS.....	83
APÊNDICE.....	89
APÊNDICE 1 – Resultado do ensaio de Granulometria por peneiramento.....	89
APÊNDICE 2 –Resultado análise das propriedades Dimensionais.....	90
APÊNDICE 3 – Tabelas resultados do índice de absorção.....	92
APÊNDICE 4 – Resultados do índice de vazios.....	93

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos maiores setores da economia do Brasil e do mundo, mas também um dos que mais gera impactos ambientais. De acordo com Mattes (2019), o setor consome entre 20% e 50% dos recursos naturais disponíveis e gera uma quantidade significativa de resíduos. No Brasil, mais da metade dos resíduos sólidos gerados vem da construção civil (GBC Brasil, 2024), o que reforça a necessidade de soluções sustentáveis para esse problema crescente.

Conforme Silva (2020) entre os materiais usados na construção, o tijolo cerâmico tradicional consome muita energia em sua produção, necessitando de queima em fornos e, portanto, contribuindo para a emissão de gases poluentes. Como alternativa sustentável, o tijolo ecológico de solo-cimento vem ganhando espaço, pois sua fabricação não envolve queima e utiliza materiais abundantes, como o solo, além de gerar menos resíduos no processo construtivo (Laruccia, 2014).

Neste contexto, o presente trabalho propõe analisar o uso do resíduo da lapidação do granilite, um subproduto da construção civil, na fabricação de tijolos ecológicos de solo-cimento. A proposta é investigar como a adição desse resíduo, em diferentes proporções, influencia as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos, como resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios e estabilidade dimensional. A reutilização desse resíduo pode, não apenas, reduzir os impactos ambientais, mas também contribuir para o desenvolvimento de materiais mais eficientes e sustentáveis.

Diante dos seus objetivos e das considerações teóricas, esta pesquisa se classifica como documental, possuindo cunho qualitativo, utilizando-se de pesquisa de campo e descritiva.

A pesquisa, além de contribuir para a sustentabilidade da construção civil, está alinhada às metas de Desenvolvimento Sustentável do Brasil, que visam reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso (Brasil, 2024).

A construção civil gera impactos ambientais significativos, com destaque para a grande quantidade de resíduos sólidos produzidos em todas as suas etapas, desde a remoção dos materiais primários (areia e britas) até a demolição das obras. Esses resíduos incluem lapidação de materiais, restos de concreto, metais, madeira e plásticos, que, se não forem altamente gerenciados, acabam em aterros, ocupando

grandes áreas e contaminando o solo e os recursos hídricos. Além disso, a fabricação de materiais como cimento e aço e o transporte de produtos geram emissões de gases aumentando o efeito estufa (Ministério das Cidades, 2008).

Este trabalho está estruturado em capítulos, seguindo as discussões aqui apresentadas, mostrando temáticas relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa. No segundo capítulo, disserta-se sobre os resíduos na construção civil e são abordados os tijolos ecológicos. O capítulo seguinte apresenta os materiais e métodos utilizados para objeto desta pesquisa. No quinto capítulo, evidenciamos os resultados da pesquisa. O último capítulo, apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

1.1 Objetivo Geral

Investigar o resultado da adição parcial do resíduo gerado no processo de lapidação do piso granilite na confecção de tijolos ecológicos.

1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a influência na adição nas proporções de 5%, 10% e 15% da massa cimento em um traço de 1:9;
- Identificar as características físicas e mecânicas dos tijolos solo-cimento.
- Averiguar a resistência a compressão dos tijolos solo-cimento com a adição parcial do resíduo pela massa do cimento;

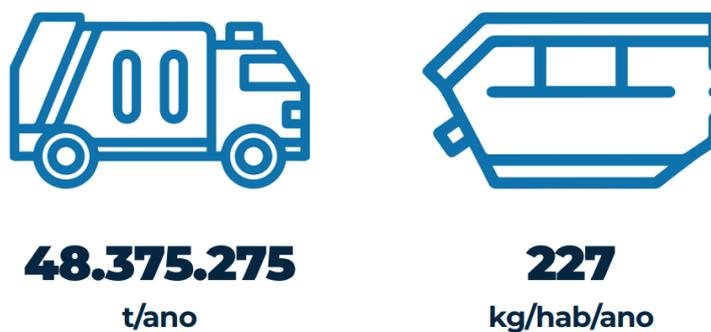
2 RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil é umas das principais atividades que mais gera resíduos sólidos no mundo, e no Brasil não é diferente. A ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) divulgou o “Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil – 2022” que traz dados sobre a geração e destinação de resíduos em geral no Brasil, incluindo o resíduo de construção e demolição (RCD).

Segundo o relatório, em 2022, as coletas de RCD no Brasil, feita pelos municípios, foi de, aproximadamente, 48 milhões de toneladas, o que representa, por habitante, uma coleta de 227 kg por ano e, em boa parte, são descartados em locais inadequados, como terrenos baldios, encostas e logradouros públicos (Panarorama ABRELPE, 2022).

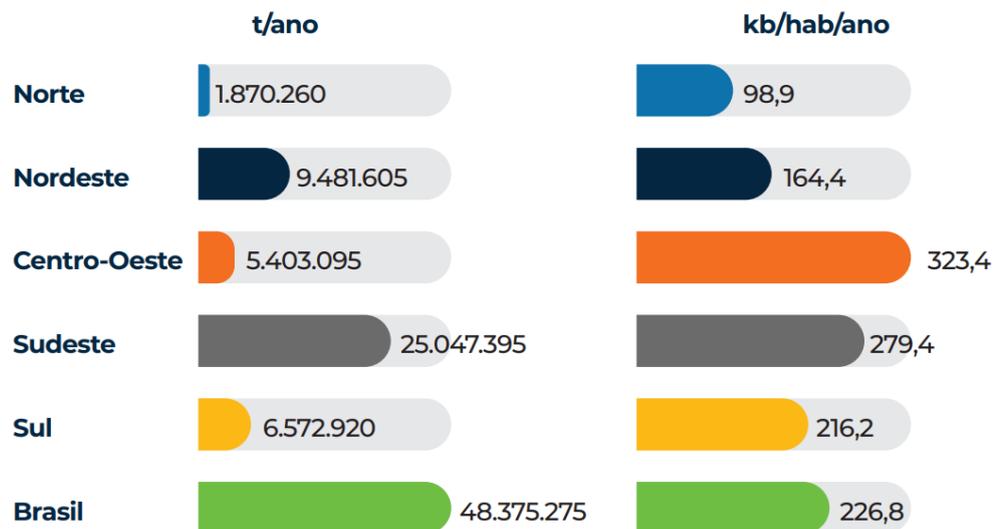
A Figura 01 evidencia essa proporção de coleta e também mostra a quantidade de coleta anual de RCD.

Figura 01 - Coleta total e per capita de RCD no Brasil em 2021



Fonte: Panarorama ABRELPE (2022)

O relatório apresenta também informações relevantes, entre elas é apresentado, com o Gráfico 1, a relação entre coleta total e per capita de RCD por região. Percebe-se que mais da metade dos RCD recolhidos no Brasil tem origem da região Sudeste (52%). Por outro lado, a região Centro-Oeste tem destaque em termo de coleta per capita, com aproximadamente 323 kg por habitante/ano (Panorama ABRELPE, 2022).

Gráfico 1 – Coleta total e per capita de RCD por região

Fonte: Panarorama ABRELPE (2022)

Os resíduos sólidos são classificados conforme a Resolução Conama Nº 307, de 5 de julho de 2002, sendo:

- Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras infraestruturas, inclusive solos provenientes de terraplanagem e também pó de polimento de piso granilite;
- Classe B: composta por recicláveis para outras destinações: como exemplo, temos papel/papelão, metais, vidros, madeira e outros;
- Classe C: resíduos que ainda não possuem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para serem recicláveis ou recuperados, incluindo produtos feitos de gesso.
- Classe D: resíduos considerados perigosos provenientes de processos de construção, como tintas, solventes, óleos e outros, assim como os materiais contaminados resultantes de demolições, reformas e reformas em clínicas radiológicas, instalações industriais e outras atividades.

De acordo com Lucena (2005), os resíduos sólidos de construção civil são compostos, principalmente, de tijolos, areias e argamassas, representando em torno de 80% do total. Em menor proporção, são encontrados restos de concreto (9%), pedras (6%), cerâmica (3%), gesso (2%) e madeira (1%).

2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) trata-se da importante lei brasileira nº 12.305, sancionada em agosto de 2010 e traz, como objetivo, a gestão adequada e sustentável dos resíduos sólidos no país. A PNRS determina princípios, metas e instrumentos para gestão integrada dos resíduos sólidos, com foco na diminuição de geração de resíduos, na reciclagem dos materiais e na disposição de forma correta e ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

A ordem prioritária estabelecida pela PNRS deve seguir as seguintes etapas: Não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamentos e, finalmente, a disposição final dos materiais sem utilidade e tecnologia para reciclagem. (BRASIL, 2010).

A implementação do PNRS tem como principais objetivos a redução da geração de resíduos, o aumento da reciclagem e da reutilização, a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, a eliminação dos lixões e a inclusão dos catadores de materiais recicláveis. O plano também prevê a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, envolvendo fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (Brasil, 2010).

Para Munhoz (2012), um dos pontos mais importante da PNRS, determina que todos os agentes presentes no ciclo de vida dos produtos são responsáveis por sua gestão. Fabricantes, distribuidores, comerciantes, importadores, consumidores e agentes de limpeza têm a responsabilidade compartilhada de gerir de forma a correta.

2.2 Reciclagem de resíduos na construção civil

A NBR 15114 (ABNT, 2004) estabelece diretrizes para a gestão de resíduos da construção civil. Esta norma define os critérios e procedimentos para a classificação, armazenamento, transporte e destinação final dos resíduos gerados nas atividades de construção e demolição.

O objetivo principal da NBR 15114 (ABNT, 2004) é promover a gestão ambientalmente adequada dos resíduos, reduzindo os impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública. A norma fornece orientações para a separação dos resíduos no local de origem, incentivando a reutilização e a reciclagem, sempre que

possível. Além disso, a NBR 15114 (ABNT, 2004) também aborda a necessidade de registros e documentação sobre os resíduos gerados e seu destino final, visando maior controle e transparência no manejo desses materiais.

A aplicação da NBR 15114 (ABNT, 2004) contribui para a sustentabilidade na construção civil ao incentivar práticas mais eficientes e responsáveis na gestão de resíduos, alinhando-se às políticas públicas e aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

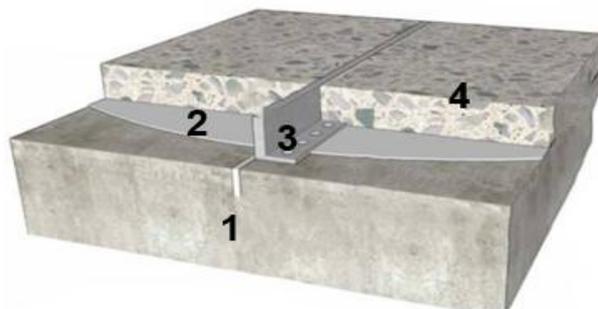
Diversos estudos buscam viabilizar a adição de materiais reciclados na mistura do solo-cimento, visando reduzir o custo dos tijolos, diminuir a exploração de recursos naturais e preservar o meio ambiente. É possível substituir ou adicionar à porcentagem de solo para corrigir sua granulometria, bem como substituir ou adicionar parte do cimento por materiais com atividades pozolânicas (Dantas, 2020).

2.3 Piso industrial de granilite

O granilite é um tipo de revestimento de concreto amplamente empregado em ambientes de grande circulação de pessoas, tais como hospitais, escolas e aeroportos (Francelino, 2012).

A Figura 02 apresenta a estrutura necessária para o piso granilite, onde: o destaque 1 representa o contrapiso de regularização; o destaque 2 corresponde à pasta de cimento utilizada para melhorar a aderência entre o contrapiso e o piso granilite; o destaque 3 indica a junta de dilatação; e o destaque 4 refere-se ao concreto granilite.

Figura 02 – Estrutura do piso granilite



Fonte: Engenharia de superfície (2024)

A Figura 03 exibe um piso com revestimento de granilite. Conforme Francelino (2012), nos granilites (também chamados de marmorites), os agregados mais comuns

são granito e mármore. Esses componentes não apenas aumentam a resistência mecânica do material, mas também devem ser escolhidos de acordo com o projeto estético, levando em consideração cores e formas desejadas.

Figura 03 – Piso granilite pronto



Fonte: Autor (2024)

O piso granilite é frequentemente aplicado em revestimentos de pisos, escadas e paredes. Sua durabilidade é notável quando projetado e executado com cuidado, levando em consideração sua interação com o substrato, e oferece uma ampla gama de possibilidades estéticas (Francelino, 2012).

2.3.1 Junta de dilatação

Francelino (2012) reforça que as juntas de dilatação são essenciais para ajustar a dilatação térmica sofrida pelo concreto granilite e também servem para delimitar áreas de revestimentos em granilite, comumente feitas de materiais plásticos ou metálicos, que possuem alturas que correspondem à espessura do revestimento, e, geralmente, com 7 mm de espessura. Essas juntas estão disponíveis em diversas cores (Figura 04), e não há restrições quanto ao material utilizado. No entanto, é crucial considerar como o material da junta interage com o granilite e reage às variações climáticas. Se, por exemplo, o material da junta se expandir excessivamente em dias quentes, isso pode causar fissuras na interface entre a junta e o granilite.

Figura 04 – Juntas de dilatação

Fonte: AURAPLAST (2024)

2.3.2 Agregado do piso granilite

Os agregados empregados são conhecidos como granitina ou granilha, apresentando cores e tamanhos variáveis, para otimizar a trabalhabilidade e a viscosidade do concreto. Geralmente, a granitina é composta por basalto, calcário e quartzo. Exemplos de tipos de granilite são ilustrados nas Figura 05.

Figura 05 – Diferentes cores de granilite

Fonte: MINASIT (2024)

2.3.3 Processo de confecção de piso granilite.

O processo de fabricação de piso granilite é meticuloso e envolve várias etapas, cada uma desempenhando um papel fundamental na garantia da durabilidade e estética do revestimento. Camargo (2008) e Casa Franceza (2024) corroboram sobre o processo de confecção do piso de granilite, conforme descrito a seguir.

A primeira etapa fundamental é a preparação do contrapiso que vai receber o piso granilite. O contrapiso deve ser preparado no nível de acordo ao piso acabado, e deve considerar a espessura da camada do próprio granilite. O contrapiso, precisa

estar bem nivelado, mas deve ser descontada a espessura do granilite, que será executado posteriormente.

Para o contrapiso, utiliza-se uma argamassa composta por areia grossa lavada e cimento, na proporção de 5:1, que deve ser bem compactada e sarrafeada, resultando em uma superfície plana e livre de imperfeição. Essa camada de regularização é fundamental para deixar a aderência e a uniformidade do revestimento de granilite, pois qualquer imperfeição na base será vista no acabamento final.

Com a base preparada, inicia-se a aplicação do granilite. Antes de aplicar a argamassa, o contrapiso deve ser completamente limpo e molhado, o que ajuda na ancoragem da argamassa. São então colocadas as juntas de dilatação de PVC, metálicas ou de vidro, que também funcionam como mestras de níveis, delimitando os painéis de granilite (Figura 06). Esses quadros devem ter dimensões máximas de 1,20 m x 1,20 m, sendo que uma modulação de 1,00 m x 1,00 m é ideal para garantir a planicidade do revestimento e menor dilatação.

Figuras 06 – Quadros maiores

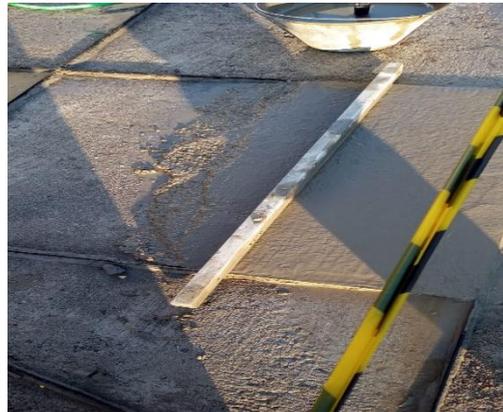


Fonte: Autor (2024)

A argamassa de granilite é uma mistura de cimento branco ou comum e mármore moído, podendo incluir também outros tipos de agregados, como cristal ou arenito, dependendo das especificações do projeto. A granulometria das pedras deve ser adequada ao tipo de acabamento desejado. A argamassa de granilite é aplicada sobre o contrapiso devidamente preparado e nivelada com a ajuda de uma régua de alumínio apresentada na Figura 07, garantindo uma superfície uniforme. Em alguns casos, uma granilha adicional é espalhada na superfície ainda mole para melhorar a textura ou o padrão visual de cores do revestimento. De acordo com Camargo (2008),

os traços mais utilizados são: para agregado muito fino nº 0 e nº 1, traço 1:1 (cimento e granitina), para agregado fino nº 1 e nº 2, traço 1: 2 (cimento e granitina) e para agregado grosso nº 2, nº 3 e nº 4, traço 1:3 (cimento e granitina).

Figura 07 – Aplicação de argamassa de granilite e nivelamento com régua



Fonte: Autor (2024)

A Figura 8 apresenta o piso com a argamassa de granilite aplicada antes do acabamento

Figura 8 – Aplicação concluída



Fonte: Autor (2024)

O acabamento do piso granilite pode ser realizado de duas formas principais: polido ou lavado (também conhecido como Fulget). Para o granilite polido, o processo de cura dura de 5 a 7 dias. Após esse período, o piso passa por polimentos mecânicos em várias etapas, utilizando esmeris de diferentes granulometrias. O polimento inicial, com esmeris de grãos remove as irregularidades superficiais.

A Figura 9 demonstra o equipamento e as pedras de esmeril utilizadas para a lapidação do piso granilite.

Figura 9 – Vista inferior da máquina comesmeril



Fonte: Francelino (2012)

Já a Figura 10 mostra detalhes da pedra de esmeril nº 36, utilizada no equipamento de polimento responsável pela lapidação.

Figura 10 – Pedra Esmeril Grão 36



Fonte: TECNIBRAABRASIVOS

Após este procedimento, um estucamento é realizado para calafetar os poros e corrigir falhas menores (Figura 11).

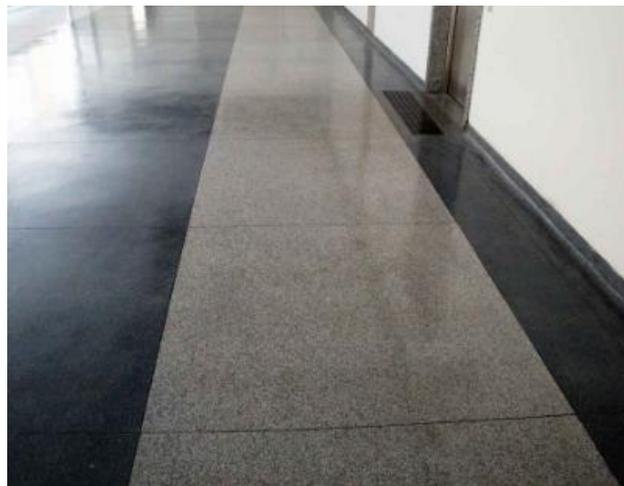
Figura 11 – Calafetagem do piso granilite



Fonte: Autor (2014)

Este estuque é feito com o mesmo cimento utilizado na argamassa, podendo ocorrer pequenas manchas. Após dois dias, o excesso de estuque é retirado com esmeris mais finos (grãos 120), resultando em um piso polido. Para casos especiais, o polimento pode ser refinado com esmeris grãos 220, atingindo um brilho mais intenso (Figura 12).

Figura 12 – Piso brilho intenso



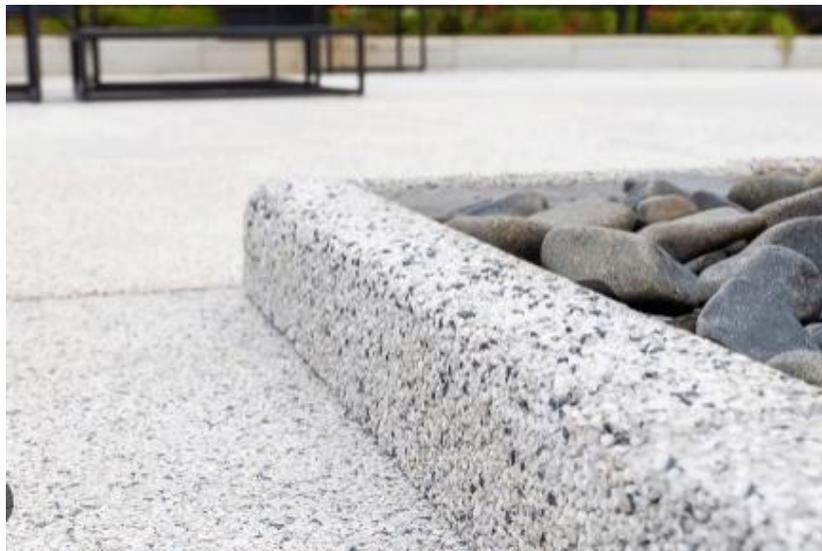
Fonte: Master Plate (2024)

Segundo Camargo (2008), é nesse momento de lapidação do piso de granilite até o acabamento final que se produz o resíduo da lapidação do granilite (RLG) em forma pastosa, conforme mostrado na Figura 13 que detalha o surgimento da lama RLG.

Figura 13 – Produção RLG

Fonte: Texpiso (2024)

No caso do granilite lavado, tipo Fulget (Figura 14), após um período de cura, o revestimento é esponjado para remover o excesso de cimento na superfície. Dois dias depois, o piso é limpo com ácido, que ajuda a expor as pedras agregadas, conferindo um acabamento natural e antiderrapante.

Figura 14 – Granilite tipo Fulget

Fonte: Paueagua (2024)

Para o granilite polido, uma camada de resina pode ser aplicada para proteção e realce das cores e veios das pedras. A resina deve ser aplicada após o piso estar completamente seco, o que leva de 5 a 7 dias, para resina acrílica, e de 20 a 22 dias, para resina de poliuretano. A aplicação de resina não só protege o piso, mas também

melhora sua durabilidade e estética.

Pisos de granilite são resistentes e duráveis, mas exigem cuidados na limpeza e manutenção. Produtos agressivos como cloro, água sanitária ou ácidos não devem ser utilizados, pois podem comprometer a durabilidade e a aparência do revestimento. Em locais de alto tráfego, a aplicação de cera e o polimento regular são recomendados para manter o brilho e a proteção do piso.

2.4 Resíduo da Lapidação do Granilite (RLG)

De acordo com Santos (2020), as composições químicas do RLG usado foram caracterizadas quimicamente por meio da fluorescência de raios X, revelando uma composição dominada por óxido de cálcio (CaO) e sílica (SiO₂). A Tabela 1 apresenta a composição química detalhada do seu RLG.

Tabela 01 - Distribuição química do RLG

Constituintes	Porcentagem (%)
SiO ₂	10,29
TiO ₂	0,12
Al ₂ O ₃	1,88
Fe ₂ O ₃	1,34
MgO	8,26
CaO	41,00
K ₂ O	0,22
SO ₃	1,24
Perda ao Fogo (PF)	36,03

Fonte: Santos (2020)

De acordo com a análise de Santos (2020), o resíduo possui um teor de sílica de 10,29% e teores de elementos reativos de 13,51%, sugerindo que o RLG não possui atividade pozolânica, já que a soma das porcentagens de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ é inferior aos 50% exigidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014). Além disso, a alta perda ao fogo de 36,03% também está acima dos requisitos para materiais pozolânicos.

Já nas análises formológicas realizada por Santos (2020) constatou-se que o RLG tem formas irregulares. Em alguns locais, a superfície do RLG apresenta uma

alta rugosidade, mostrando que o material reciclado tem uma alta absorção e demonstra que a lapidação do resíduo pode ter surgido, pois é proveniente de uma operação abrasivo. Isso pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – MEV do RLG com aproximação de: (a) 20 μm ; (b) 10 μm ; (c) 2 μm e (d) 1 μm

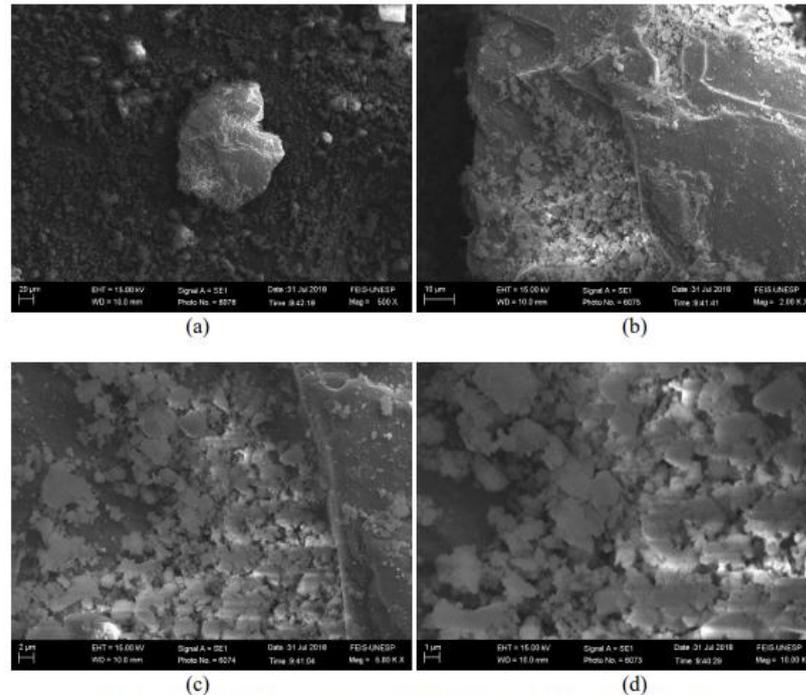


Figura 8 – MEV do RLG com aproximação de: (a) 20 μm ; (b) 10 μm ; (c) 2 μm e (d) 1 μm .
Fonte: Autor (2020)

Fonte: Santos (2020)

2.5 Tijolos ecológicos

O tijolo de solo-cimento também é denominado tijolo ecológico, bloco de terra comprimida (BTC) ou tijolo modular. Nesta seção, são discutidos os seguintes aspectos: definição, características mecânicas e físicas, composição, formas de fabricação, métodos construtivos, bem como as normas que regulam o uso desse tipo de tijolo. Também serão abordadas suas vantagens e desvantagens.

2.5.1 Definição e breve histórico dos tijolos solo-cimento

De acordo com Salas (2006) e Silva (2015), o tijolo de solo-cimento é produzido a partir de uma mistura de solo e cimento, que é compactada por prensagem. Diferente dos tijolos convencionais, seu processo de fabricação não requer queima

em forno à lenha, o que contribui para a preservação das florestas e evita a poluição atmosférica, já que não libera resíduos tóxicos no ambiente.

Segundo Neves (2011) quando o ser humano começou a transformar recursos naturais em materiais de construção, o adobe foi o primeiro a ser utilizado. Esse material era produzido a partir de uma mistura plástica de solo e água, que, após secagem natural ao sol ou à meia sombra, resultava em blocos rígidos, adequados para a construção de muros e paredes, similar ao uso de pedras. A Figura 16 mostra uma casa construída com adobe.

Figura 16 – Casa de adobe de Chica da Silva, ano da construção 1763



Fonte: Lider (2024)

Conforme Grande (2003), no Brasil, o uso desse material se intensificou significativamente a partir de 1940, quando a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) adotou métodos de dosagem para pavimentação baseados nas práticas da PCA Americana. O autor assegura que foi somente na década de 1970 que o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) começaram a direcionar suas pesquisas para a utilização da mistura solo-cimento.

2.5.2 Vantagens e desvantagens dos tijolos de solo-cimento

De acordo com Marques (2015) o solo-cimento destaca-se como uma tecnologia alternativa sustentável, utilizando o solo disponível localmente, o que reduz custos de transporte e facilita a produção. Seu processo construtivo é simples,

permitindo o uso de mão de obra não qualificada, e oferece boas condições de conforto, comparáveis às construções convencionais. Além disso, o material é resistente, impermeável e fácil de conservar, dispensando etapas como chapisco e reboco, necessitando apenas de uma pintura simples para aprimorar suas propriedades.

Ainda de acordo com Marques (2015), essa tecnologia apresenta baixa agressividade ambiental, pois não exige a queima necessária na produção de tijolos cerâmicos. Quando produzido no local da obra, oferece uma economia adicional, tornando-se uma opção mais acessível e econômica em comparação com alvenarias tradicionais. Apesar de suas vantagens e décadas de uso, o solo-cimento ainda é pouco explorado, o que contribui para a contínua devastação de florestas para a produção de tijolos cerâmicos, que são mais caros e menos sustentáveis.

Soares (2007) afirma que a principal desvantagem, entretanto, reside na ampla diversidade de tipos de solo disponíveis, o que torna necessária a realização de ensaios para a caracterização do solo a ser utilizado. Esses ensaios, que são simples e rotineiros, podem ser realizados em qualquer laboratório. As análises essenciais para avaliar a mistura de solo-cimento incluem testes de granulometria, compactação e compressão simples.

2.5.3 Fabricação do tijolo solo-cimento

Conforme ABCP (2004), há duas abordagens para a dosagem do material solo-cimento: a norma geral e a norma simplificada. A norma geral é aplicável a qualquer tipo de solo e baseia-se na dosagem de cimento a partir da perda de massa de corpos de prova após 12 ciclos de ensaios, seguindo as normas NBR 12253 (ABNT, 2012) ou ABCP (2004), embora tenha a desvantagem do longo tempo necessário para os testes. Já a norma simplificada é direcionada a solos granulares, com uma fração específica de silte e argila, e oferece a vantagem de correlacionar ensaios de compressão simples que apresentam resultados equivalentes.

De acordo com ABCP (1996), o processo de fabricação do tijolo ecológico segue as seguintes etapas:

- 1) Peneiramento do solo em uma malha com abertura de aproximadamente 5 mm, cuja função é pulverizar o material, desmanchar os torrões e remover partículas maiores. Este processo torna o solo mais homogêneo, facilitando a estabilização do

cimento com o solo, essencial para garantir a uniformidade e resistência do tijolo ecológico (Figura 17).

Figura 17 – Peneiramento do material



Fonte: ABCP (2006)

2) Para verificar a quantidade de água, realiza-se o teste de umidade. Esse teste consiste em apertar a mistura de solo e cimento entre as mãos para formar um torrão (Figura 18).

Figura 18 – Torrão de solo-cimento



Fonte: Jarfel (2024)

Em seguida, esse torrão é lançado ao chão de uma altura aproximada de um metro (Figura 19). Se o torrão se desmanchar em muitos pedaços, a umidade está correta; se o torrão não se desfizer, há excesso de água; se a bola se desmoronar completamente, a mistura está muito seca e necessita de mais água (UNIMEP, 2016).

Figura 19 – Torrão de solo-cimento lançado a 1 metro



Fonte: UNIMEP (2016)

3) Conforme UNIMEP (2016), após a verificação da umidade, o próximo passo na fabricação de tijolos ecológicos envolve a prensagem da mistura de solo-cimento. A prensagem é essencial para garantir que o tijolo adquira a forma e a densidade necessárias para seu uso na construção. Esse processo é realizado utilizando uma prensa manual conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20 – Prensa Manual



Fonte: Autor (2024)

A prensa motorizada (Figura 21) aplica uma força significativa sobre a mistura para compactá-la adequadamente.

Figura 21 – Prensa hidráulica motorizada.

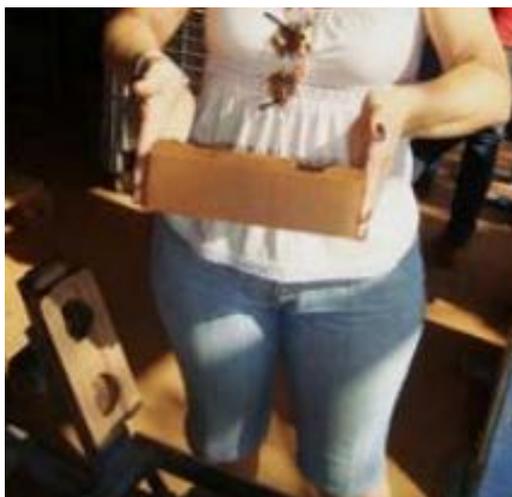


Fonte: Jarfel (2024)

Ainda de acordo com Jarfel (2024), durante a prensagem, é importante que a quantidade de mistura colocada no molde seja constante, para que todos os tijolos tenham a mesma espessura e qualidade. Após a compressão, o tijolo recém-prensado deve ser manuseado com cuidado para evitar que suas quinas sejam danificadas.

A Figura 22 ilustra a forma de manipulação do tijolo ecológico quando prensado recentemente.

Figura 22 – Retirada de tijolo



Fonte: UNIMEP (2016)

4) Segundo UNIMEP (2016), uma vez prensados, os tijolos devem passar por um processo de cura, que pode ser realizado de duas maneiras: cura seca e cura

úmida. A cura úmida é feita colocando os tijolos em um ambiente coberto e úmido, onde são mantidos durante pelo menos sete dias. Isso permite que o cimento hidrate corretamente, garantindo a resistência e a durabilidade dos tijolos. A cura seca, por outro lado, envolve o armazenamento dos tijolos em um ambiente seco antes de serem utilizados na construção.

Corroborando com UNIMEP (2016), Jarfel (2024) aponta que, durante o período de cura, é essencial manter os tijolos longe da exposição direta ao sol e ao vento, para evitar a evaporação rápida da umidade, o que pode comprometer a qualidade final do produto. Após a cura completa, os tijolos ecológicos estão prontos para serem utilizados em obras, apresentando alta resistência à compressão e boa durabilidade.

2.5.4 Normatização para tijolo solo-cimento

Este tópico tem a função de apresentar as normas que são utilizadas para determinar requisitos e outras importâncias.

A NBR 10833 (ABNT, 2012) estabelece diretrizes para a produção de tijolos e blocos de solo-cimento, utilizando prensas manuais ou hidráulicas. Essa norma também define como deve ser realizada a mistura dos componentes, seja de forma manual ou mecânica, os procedimentos e o tempo de cura, além dos requisitos para os materiais envolvidos, como água, cimento e solo. Além disso, a norma orienta quanto ao processo de mistura dos componentes e ao transporte adequado dos tijolos.

Esses materiais são amplamente considerados uma opção sustentável na construção civil, pois são produzidos a partir de uma mistura de solo, cimento e água, resultando em produtos que oferecem resistência e durabilidade (Jarfel, 2024).

Para garantir a qualidade dos tijolos de solo-cimento, o solo utilizado deve possuir determinadas características e ser analisado conforme as normas NBR 6457 (ABNT, 2024), NBR 6459 (ABNT, 2017), NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 7181 (ABNT, 2018). Especificamente, o solo deve passar 100% pela peneira de malha de 4,75 mm e conter entre 10% e 50% de material que passe pela malha de 75 μ m. O limite de liquidez do solo precisa ser igual ou inferior a 45%, e o índice de plasticidade deve ser de até 18%. Além disso, o solo não pode conter matéria orgânica em quantidade que prejudique a hidratação do cimento. Recomenda-se, ainda, a utilização de solo que atenda à NBR NM 49 (ABNT, 2021), onde a solução obtida no ensaio deve apresentar

coloração mais clara que a solução padrão.

O cimento empregado na mistura deve ser do tipo Portland, o mais comum na construção civil, e deve cumprir as recomendações da NBR 16697 (ABNT, 2018). A água utilizada deve ser limpa e livre de impurezas, sendo também permitido o uso de aditivos e pigmentos para melhorar a qualidade ou a aparência dos tijolos, conforme a NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

A NBR 8491 (ABNT, 2012), prescreve as diretrizes para assegurar que os tijolos de solo-cimento utilizados em obras civis ofereçam a resistência e durabilidade necessárias, contribuindo para a qualidade e segurança das construções. Além disso, a norma padroniza a produção, facilitando a comercialização e o uso desses materiais.

Segundo esta norma, as dimensões nominais dos tijolos devem ter a forma de um paralelepípedo retangular e os tipos são especificado na Tabela 02.

Tabela 02 – Tipos de tijolos

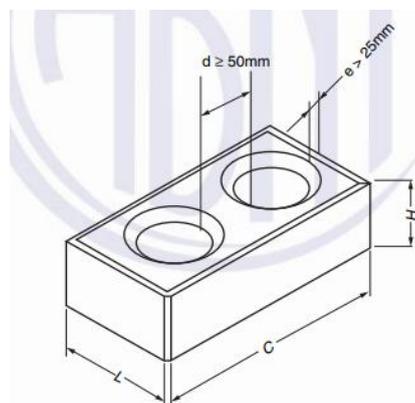
Tipos	Comprimento	Largura	Altura
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: ABNT (2012)

A NBR 8491 (ABNT, 2012) estabelece também que o tijolo pode ter reentrâncias e furos, desde que respeitem as especificações de espessura mínima e distância entre os furos que são explicitados.

Na Figura 23, é possível observar os pontos onde as medidas devem ser retiradas.

Figura 23 – Tijolo vazado e reentrâncias



Fonte: ABNT (2012)

Os requisitos específicos para o tijolo, conforme NBR 8491 (ABNT, 2012) são os seguintes:

- Análise dimensional os tijolos devem atender às tolerâncias dimensionais de $\pm 1,00$ mm para comprimento, largura e altura;
- Resistência à compressão deve ter uma resistência mínima deve ser de 2,0 MPa (média) e nenhum valor individual pode ser inferior a 1,7 MPa,
- Absorção de água máxima permitida é de 20% (média), com valores individuais não superiores a 22%

2.6 Cimento

De acordo com ABCP (2024) a palavra cimento deriva do latim "caementu", que, na Roma Antiga designava um tipo de pedra natural. A história do cimento remonta a cerca de 4.500 anos, com os egípcios usando uma mistura de gesso calcinado em seus monumentos. Gregos e romanos, como na construção do Panteão e do Coliseu (Figura 24), utilizavam solos vulcânicos de Santorino e Pozzuoli, que endureciam em contato com a água. Em 1756, o inglês John Smeaton fez um avanço significativo ao criar um produto de alta resistência calcificando calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vicat, considerado o inventor do cimento artificial, obteve resultados semelhantes. Em 1824, Joseph Aspdin, um construtor inglês, desenvolveu o cimento Portland ao queimar pedras calcárias e argila, resultando em um pó fino que, após secar, se tornava extremamente duro e resistente à água.

Figura 24 – Primeiras construções de engenharia



Fonte: ABCP (2024)

O cimento é um dos materiais de construção mais importantes e amplamente utilizados na indústria da construção civil. Conforme Bauer (2012), o cimento é um pó fino, composto principalmente de clínquer e aditivos que, ao ser misturado com água,

reage quimicamente formando uma pasta capaz de endurecer e adquirir consistência sólida. Essa propriedade de endurecimento é essencial para a criação de concreto e argamassas, elementos fundamentais em diversas estruturas de engenharia.

De acordo com Bauer (2012), os principais componentes do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3). Além destes, o cimento contém magnésia (MgO) e uma pequena quantidade de anidrido sulfúrico (SO_3), adicionada, após a calcinação, para retardar o tempo de pega. Outros constituintes menores incluem impurezas, óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio (K_2O) e óxido de titânio (TiO_2). Os óxidos de sódio e potássio são conhecidos como álcalis do cimento. Esses componentes principais compõem cerca de 95% a 96% da composição total do cimento, enquanto a magnésia está presente em 2% a 3%, com um limite máximo de 5% especificado para evitar problemas na qualidade. No Brasil, este limite é ligeiramente mais alto, sendo permitido até 6,4%. Os óxidos menores estão presentes em quantidades inferiores a 1%, raramente alcançando 2%.

A ABCP (2024) classifica os tipos de cimento de acordo com suas especificações e usos. Os tipos mais comuns são: CP I – Cimento Portland Comum, utilizado em obras de pequeno porte; CP II – Cimento Portland Composto, que possui adições como escória de alto-forno, pozolana ou material carbonático e é dividido em três subtipos (CP II-E – Cimento Portland composto com escória, CP II-Z – Cimento Portland composto com pozolana e CP II-F – Cimento Portland composto com Fíler); CP III – Cimento Portland de Alto-Forno, com alta quantidade de escória de alto-forno, ideal para obras de grande porte; CP IV – Cimento Portland Pozolânico, com material pozolânico e indicado para obras que exigem alta durabilidade; e CP V-ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, que desenvolve alta resistência rapidamente, sendo ideal para obras urgentes.

A finura é uma propriedade que impacta diretamente a velocidade da reação entre o cimento e a água. O tamanho das partículas do aglomerante hidráulico determinará a rapidez dessa reação; quanto menores forem os grãos, mais reativos serão. Consequentemente, será necessária uma maior quantidade de água para a hidratação da reação (NBR 11579, ABNT 2012).

2.7 Água para tijolo cimento

Segundo a NBR 10833 (ABNT, 2012), a água utilizada na fabricação de solo-

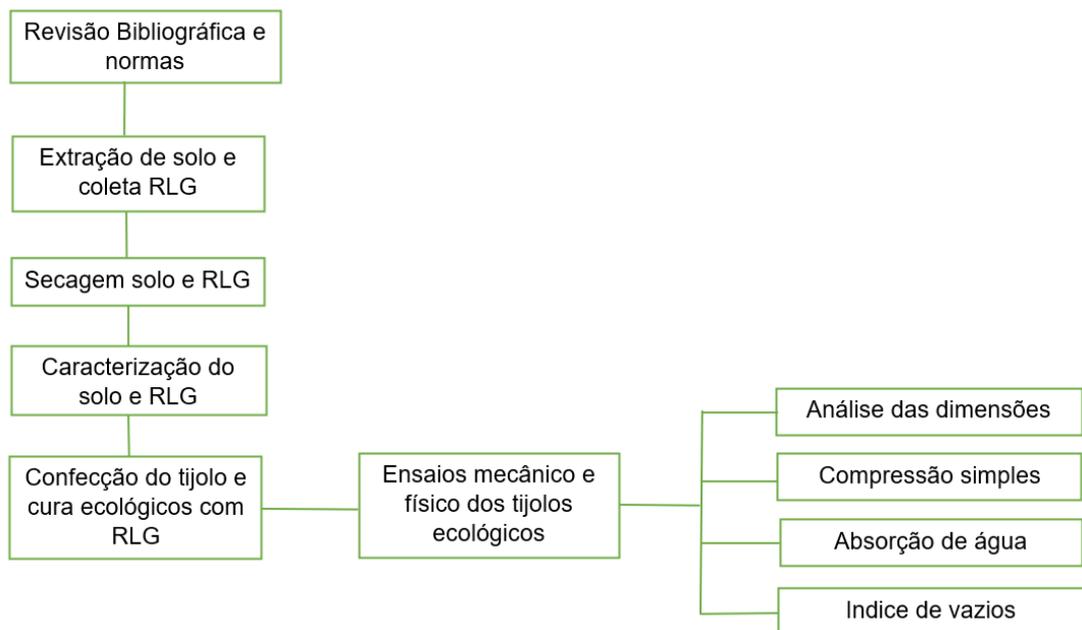
cimento deve ser potável, ou seja, deve atender aos requisitos de qualidade para consumo humano, assegurando que não contenha substâncias que possam prejudicar o processo de endurecimento do cimento e a durabilidade do produto final.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Materiais e no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, localizado no município de Delmiro Gouveia, e também no Laboratório de Materiais (CTEC-LEMA) da Universidade Federal de Alagoas – Campus A. C. Simões, em Maceió/AL. Neste contexto, foram fabricados tijolos ecológicos de solo-cimento com adição de resíduos de lapidação de piso granilite, em relação à massa do cimento, e a confecção de tijolos com traço padrão, sem resíduos.

Os tijolos foram produzidos utilizando uma prensa para tijolos ecológicos de dimensões de 200 mm, 100 mm e 50 mm, e suas propriedades físicas e mecânicas foram avaliadas. Além disso, os componentes de fabricação foram caracterizados conforme o fluxograma apresentados na Figura 25.

Figura 25 – Fluxograma do procedimento de ensaios



Fonte: Autor (2024)

Considerando a similaridade dos trabalhos e que, de acordo com Santos (2021), nesse contexto, a presente pesquisa se baseia em estudos qualitativos, uma vez que foram utilizados artigos, teses, sites e dissertações como fundamentos para sua elaboração. Além disso, para o desenvolvimento dos ensaios, foram adotadas as normas brasileiras estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas

(ABNT) como referência.

3.1 Extração do solo

O local selecionado para a extração da amostra de solo foi o município de Água Branca/AL, especificamente no Povoado Estreito, conforme ilustrado na Figura 26. A escolha desse local foi baseada no conhecimento empírico sobre a presença de solos areno-argiloso na região serrana.

Figura 26 – Povoado estreito, extração da amostra



Fonte: Google Maps (2024)

Para a extração do solo, foram utilizadas ferramentas de escavação, como pá, picareta, enxadas, além de sacos plásticos para acondicionamento e transporte. O solo foi retirado de um barranco, do qual, inicialmente, foi removida uma camada de material orgânico, a fim de realizar a coleta do solo isento de uma quantidade significativa de material orgânico (Figura 27).

Figura 27 – Vista do local da coleta



Fonte: Autor (2024)

Após a conclusão da coleta do solo, prosseguiu-se para a fase de caracterização, seguida pela fabricação dos tijolos, a fim de analisar suas propriedades.

3.2 Caracterização do solo

Neste tópico, serão apresentados todos os ensaios necessários, sendo eles: granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, massa específica e teor de material orgânico.

Antes da realização dos ensaios de caracterização, a preparação do solo foi conduzida de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2024), que especifica os métodos para a preparação de amostras de solo para ensaios de caracterização. Esse procedimento foi executado com precisão, a fim de garantir a representatividade das amostras e a confiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios.

A amostra coletada foi submetida à secagem ao ar em local protegido de intempéries, sobre uma superfície limpa e não absorvente conforme ilustrado na Figura 28. Essa etapa teve como objetivo reduzir a umidade natural do solo sem afetar sua estrutura.

Figura 28 – Secagem do solo ao ar



Fonte: Autor (2024)

Após a secagem, o solo foi destorroado cuidadosamente, utilizando um

almofariz e mão de gral, para quebrar os aglomerados, tomando cuidado para não quebrar os grãos (Figura 29).

Figura 29 - Destorroamento



Fonte: Autor (2024)

Em seguida, utilizou-se método do quarteamento, que tem como objetivo reduzir o volume de uma amostra de solo maior, preservando a representatividade de suas propriedades. Esse procedimento é essencial quando a quantidade de solo coletada excede o necessário para os ensaios, permitindo obter uma amostra menor que ainda mantenha as características originais da amostra maior. Na Figura 30, aparece o quarteador mecânico, que permite realizar a redução de forma mais precisa e rápida.

Figura 30 – Quarteamento de amostra



Fonte: Autor (2024)

Com as amostras reduzidas, prosseguiu-se para os ensaios importantes para a definição da qualidade do solo destinado à fabricação do tijolo ecológico.

3.2.1 Granulometria do solo

Após a secagem, destorroamento e quarteamento, realizados conforme a NBR 6457 (ABNT, 2024), procedeu-se ao ensaio de granulometria prescrito pela NBR 7181 (ABNT, 2016). Esse ensaio tem como objetivo determinar o tamanho das partículas e as respectivas percentagens de ocorrência em uma dada quantidade de material.

Pesou-se aproximadamente 1000 g de solo com dimensão máxima visível de 5 mm. Para solos com partículas maiores, deve-se utilizar outras quantidades, conforme especificado na Tabela 03.

Tabela 03 – Quantidade de amostra para análise granulométrica

Dimensões dos grãos maiores contidos na amostra, determinadas por observação visual mm	Quantidade mínima total a tomar kg
< 5	1
5 a 25	4
>25	8

Nota 1 O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

Nota 2 O valor da massa específica dos grãos, a ser utilizado no cálculo de análise granulométrica por sedimentação, é determinado a partir de cerca de 500 g de material passado na peneira de 2,0mm.

Fonte: ABNT NBR 6557 (2016)

O material pesado foi passado na peneira de 2,0 mm, tomando-se o cuidado de desagregar completamente, no almofariz, todos os torrões presentes, garantindo que apenas os grãos maiores que a abertura da malha fossem retidos na peneira. Em seguida, a fração retida na peneira de 2,0 mm foi lavada para remover o material fino aderido (Figura 31) e, logo após seca em estufa a 105 °C – 110 °C, até atingir constância de massa. O material obtido desse processo foi utilizado no peneiramento

grosso pelas peneiras de abertura de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm e 4,8 mm. As massas acumuladas em cada peneira foram registradas com uma precisão de 0,1 g.

Figura 31 – Lavagem do material



Fonte: Autor (2024)

Do material que passou pela peneira de 2,0 mm, foram separados aproximadamente 120 g. Essa quantidade foi pesada com uma precisão de 0,01 g e registrada como MhM. Em seguida, cerca de 100 g foram separados para realizar três determinações da umidade higroscópica (h). O material assim obtido foi lavado na peneira de abertura de 0,075 mm, utilizando água potável sob baixa pressão. Após a lavagem, o material retido na peneira de 0,075 mm foi seco em estufa, a uma temperatura de 105 °C a 110 °C, até que a massa se estabilizasse. O material obtido desse processo foi utilizado no peneiramento fino nas peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, e as massas retidas acumuladas em cada peneira foram anotadas com resolução de 0,01 g.

A Figura 32 apresenta a fase de colocação do solo no conjunto de peneiras para a realização do ensaio.

Figura 32 – Peneiramento do material



Fonte: Autor (2024)

A massa total da amostra seca foi calculada utilizando a Equação 1, conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016).

$$M_s = \frac{(M_t - Mg)}{(100 + h)} \times 100 + Mg \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

M_s = massa total da amostra seca

M_t = massa da amostra seca no ar

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

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

Calculamos as percentagens do peneiramento grosso NBR 7181 (ABNT, 2016), conforme Equação 2.

$$Qg = \frac{M_s - M_i}{M_s} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Qg = porcentagem de material passado em cada peneira

M_s = Massa total da amostra seca

M_i = massa do material retido acumulado em cada peneira

Para calcular as porcentagens de materiais que passam nas peneiras 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, o peneiramento fino da NBR 7181 (ABNT, 2016), utilizou-se a Equação 3.

$$Q_f = \frac{M_h \times 100 - M_i(100 + h)}{M_h \times 100} \times N \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Q_f = porcentagem de material passado em cada peneira

M_h = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou à sedimentação, conforme o ensaio tenha sido realizado apenas por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento, respectivamente

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

M_i = massa do material retido acumulado em cada peneira

N = porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm, calculado como peneiramento grosso

3.2.2 Limites de consistência ou limites de Atterberg

Os limites de consistência são parâmetros que indicam a capacidade dos solos de serem moldados, considerando um nível específico de umidade, sem que ocorra alteração em seu volume.

3.2.2.1 Limite de liquidez

O limite de liquidez foi determinado conforme as diretrizes da NBR 6459 (ABNT, 2017), previamente com o solo seco ao ar, destorroado e quarteado conforme NBR 6457 (ABNT, 2024).

Utilizou-se 100 g do material tratado, passados pela peneira número 40 (0,450 mm). O material foi então colocado em uma cápsula de porcelana e adicionou-se uma quantidade de água destilada, misturando até obter uma massa plástica.

Conforme ilustrado na Figura 33, a imagem (a) apresenta o solo sendo misturado com o uso de uma espátula, enquanto a imagem (b) mostra a retirada de uma quantidade de solo para a determinação do teor de umidade.

Figura 33 – (a) Mistura do solo passado na peneira 0,40mm e (b) aparelho casa grande



Fonte: Autor (2024)

A massa plástica foi transferida para a concha do aparelho e moldada com espessura de 1 cm no centro. Em seguida, usou-se um cinzel para abrir uma ranhura no meio da massa. A manivela foi girada, golpeando a concha até que as bordas da ranhura se unam em 1,3 cm, momento em que o número de golpes foi registrado. Um pedaço da massa foi retirado para determinação da umidade. Esse procedimento foi repetido adicionando-se água até obter cinco pontos que ficassem no intervalo de 15 a 35 golpes e que tenha pelo menos dois pontos acima de 25 golpes.

Com os resultados obtidos, elaborou-se um gráfico onde as ordenadas (em escala logarítmica) representam o número de golpes e as abscissas (em escala aritmética) correspondam aos teores de umidade. Os pontos plotados foram, então, ajustados para formar uma linha reta. A partir dessa reta, determina-se o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que define o limite de liquidez do solo.

3.2.2.2 Limite de plasticidade e Índice de plasticidade

A NBR 7180 (ABNT, 2016) especifica o método para determinar o limite de plasticidade e calcular o índice de plasticidade dos solos. Esse ensaio é realizado com o uso de equipamentos específicos, como estufa, cápsula de porcelana, espátula, balança, e outros.

Uma pequena porção da amostra de solo foi moldada em forma de cilindro e rolada sobre uma placa de vidro até atingir um diâmetro de 3 mm. Se a amostra se fragmentar antes de alcançar esse diâmetro, é necessário adicionar mais água e repetir o processo até que o cilindro se fragmente com o diâmetro correto.

Quando o cilindro atinge o diâmetro de 3 mm e se fragmenta, a amostra é transferida para um recipiente para determinar sua umidade, conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016). Esse procedimento é repetido até que se obtenham pelo menos três valores de umidade.

A Figura 34 mostra as etapas de ensaio e o cilindro de solo juntamente com o gabarito.

Figura 34 – Ensaio de limite de plasticidade



Fonte: Lima (2023)

O índice de plasticidade dos solos deve ser obtido utilizando-se a Equação 4:

$$IP = LL - LP$$

(Equação 4)

Onde:

IP é o índice de plasticidade;

LL é o limite de liquidez, determinado de acordo com a NBR 6459 (ABNT, 2016).

LP é limite de plasticidade.

3.2.3 Determinação de impurezas orgânicas.

Para a realização do ensaio, foram seguidas as diretrizes da NBR 17053 (ABNT, 2022), que define o método colorimétrico para determinação de impurezas orgânicas em agregado miúdo. Esse ensaio é crucial para avaliar a qualidade do solo a ser empregado em materiais da construção civil.

Realizou-se a preparação uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 3% em massa, que foi utilizada tanto no ensaio quanto na preparação da solução padrão. Em um frasco, foi adicionado 100 ml dessa solução de NaOH e, em seguida, acrescentou-se 200 g de solo. Agitou-se bem a mistura de solo e solução, e deixou-se o frasco repousar por 24 horas, mantendo-o tampado para evitar a contaminação por insetos, o que poderia afetar os resultados.

Após o período de repouso, o líquido sobressalente do solo + água + solução foi transferido para uma proveta e comparou-se com uma solução padrão preparada com 97 ml de NaOH e 3 ml de uma solução de ácido tânico a 2%.

Se a cor solo+água+solução for mais clara ou igual à do padrão de ácido tânico, o agregado é considerado aceitável. Se a cor for mais escura que o padrão, isso indica uma quantidade significativa de material orgânico, podendo ser necessário rejeitar o agregado ou realizar testes adicionais.

A Figura 35 apresenta a proveta com ácido tânico e o frasco com solos e solução.

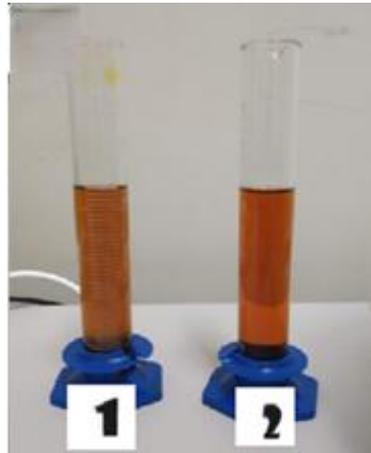
Figura 35 –(a) Preparação solução padrão frasco com solução de hidróxido de sódio e (b) solos



Fonte: Lima (2023)

Figura 36 ilustra a proveta com solução padrão 01 e solução do solo com hidróxido de sódio.

Figura 36 – Coloração obtida com solo ensaiado (1), solução padrão (2)



Fonte: Lima (2023)

3.3 Caracterização do cimento

O cimento utilizado foi o Portland composto com fíler do tipo CP II-F-32 conforme Figura 40. A escolha desse tipo de cimento levou em consideração sua disponibilidade na região da cidade de Delmiro Gouveia/AL, bem como seu menor

custo, visando à redução dos custos do processo de fabricação. Além disso, esse cimento atende aos requisitos da NBR 16697 (ABNT, 2018).

Figura 37 – Tipo de cimento usado



Fonte: Autor (2024)

Após a escolha do cimento, prosseguiu-se para a verificação de suas características físicas, a fim de analisar sua qualidade e adequação para o trabalho.

3.3.1 Massa específica do cimento

A massa específica do cimento foi determinada utilizando-se a norma NBR 16605 (ABNT, 2017).

3.3.2 Índice de finura do cimento

Neste subtópico, foi definido o índice de finura do cimento utilizado neste trabalho, com base na NBR 11579 (ABNT, 2012).

3.4 Resíduos de lapidação de piso granilite

A pesquisa foi desenvolvida utilizando resíduo proveniente da lapidação do piso granilite, recolhido na cidade de Paulo Afonso/BA, em uma obra de construção de um espaço comercial.

Parte do material coletado estava seco, enquanto outra parte encontrava-se em estado pastoso. O resíduo de lapidação de granilite (RLG), após coleta, foi exposto

ao sol durante 3 dias para o processo de secagem no pátio do anexo Mandacaru do Campus do Sertão, protegido em caso de chuva e animais para evitar contaminação. Caso a secagem ao sol não fosse possível, o material deveria ser colocado em estufa a uma temperatura de 60 °C por 72 horas, conforme prescrito por Santos (2020).

Ainda de acordo com Santos (2020), o material seco foi destorroado com o auxílio de um almofariz e mão-de-gral, e, em seguida, peneirado em peneira abertura de 150 µm. Esse processo visou garantir a máxima finura possível do material, sua homogeneização, além de assegurar que a umidade não alterasse o teor de água do traço, facilitando, assim, sua utilização.

3.4.1 Índice de finura do RLG

Neste subtópico, foi definido o índice de finura do RLG utilizado neste trabalho, com base na NBR 11579 (ABNT, 2012).

Para o ensaio, pesou-se cerca de 50 g de RLG em uma balança com sensibilidade de 0,0001 g. Em seguida, o RLG pesado foi colocado na peneira de número 200, juntamente com o fundo e a tampa.

A etapa de peneiramento dos finos foi realizada com cuidado, evitando a perda de material, durante um período inicial de 5 minutos. Em seguida, passou-se para a etapa intermediária, na qual o fundo foi removido e o material contido nele foi descartado. Golpes suaves foram aplicados no rebordo externo do caixilho com o bastão, a fim de desprender as partículas aderidas na tela e ao caixilho da peneira. Após isso, colocou-se o fundo limpo novamente, retirou-se a tampa e continuou-se o peneiramento com movimentos suaves de vaivém durante 20 minutos. Ao término desse período, o material do fundo foi descartado.

No peneiramento final segurou-se a peneira com tampa e fundo, inclinando-a ligeiramente e movendo-a rapidamente em vaivém por 60 segundos, girando-a 60° a cada 10 segundos. Após esse período, limpou-se a tela com um pincel médio, coletando o material no fundo. Em seguida, transferiram-se os grãos do fundo para um recipiente e pesaram-se com precisão de 0,01 g. Se a massa fosse superior a 0,05 g, deveria ser desprezada. O processo foi repetido até que a massa de RLG passante fosse inferior a 0,05 g após um minuto de peneiramento contínuo.

A Figura 38 apresenta estas etapas de pesagem na figura (a), uso da peneira de #200 (b) e pesagem do resíduo retido na figura (c).

Figura 38 – (a) Pesagem do RLG, (b) peneira #200 com RLG e (c) massa final peneiramento final



Fonte: Autor (2024)

Para calcular o índice de finura do RLG utilizou-se a Equação 5.

$$IF = \frac{r.Fc}{m} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

IF é o índice de finura do RLG, expresso em porcentagem (%)

r é o resíduo que sobrou na peneira de 75 µm em gramas

m é a massa inicial do RLG em gramas

Fc é o fator de correção da peneira utilizada no ensaio de acordo com a norma

3.4.2 Massa específica do RLG

Neste ensaio, seguiu-se a NBR 16605 (ABNT, 2017), que prescreve o método para a determinação da massa específica de materiais em pó, por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier. Nesse método, a leitura da variação de volume de querosene provocada por uma massa determinada da amostra de RLG permite a determinação da sua massa específica.

Primeiramente, foram pesados 50 g de RLG em uma balança com precisão de 0,0001 g. Em seguida, foi adicionada uma quantidade de querosene no frasco Le Chatelier até a marca entre 0 cm³ e 1 cm³, sendo essa a leitura inicial do volume, V1. O material foi então introduzido em pequenas quantidades no frasco, utilizando-se um funil de haste curta, assegurando-se de que o material não aderisse às paredes

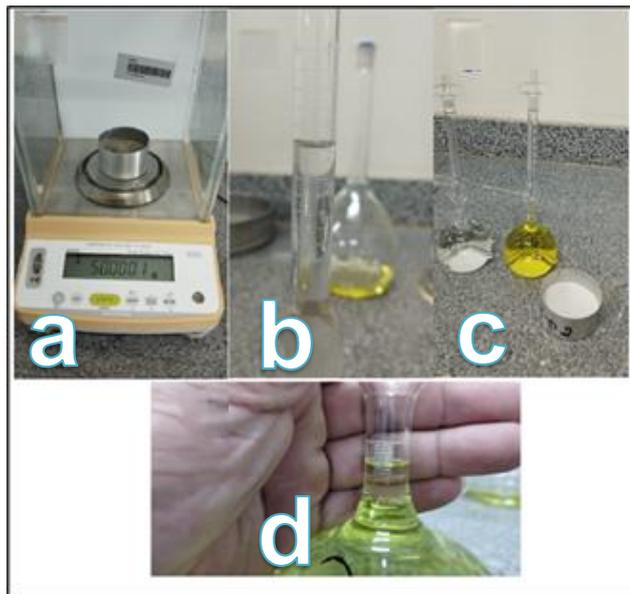
internas do frasco acima do nível do líquido.

Com o frasco fechado, ele foi girado em uma posição inclinada, até que não houvesse mais formação de bolhas de ar subindo à superfície do líquido e logo depois registramos a leitura final (V_2).

Esse procedimento foi repetido utilizando o mesmo equipamento em um curto intervalo de tempo, e a diferença entre os ensaios não poderia ultrapassar $0,02 \text{ g/cm}^3$. Caso sejam utilizados frascos, operadores ou laboratórios diferentes, a diferença entre os resultados não deve exceder $0,03 \text{ g/cm}^3$.

A Figura 39 mostra a pesagem do material necessário na figura, o frasco com querosene pronto para início do ensaio e ensaio realizado com leitura final.

Figura 39 – (a) Pesagem do RLG, (b) querosene até a marca entre 0 e 1 cm^3 , (c) leitura final do frasco e (d) material a ser colocado no frasco.



Fonte: Autor (2024)

Para o cálculo da massa específica foi utilizada a equação 6.

$$\rho = m/V \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo:

ρ , é a massa específica do RLG, em gramas por centímetro cúbico

m , é a massa do material ensaiado, em gramas;

V , é o volume deslocado pela massa do cimento ($V_2 - V_1$), em cm^3 .

3.5 Fabricação e ensaios com tijolo ecológico

É exposto, nesse tópico, o processo de fabricação do tijolo ecológico, determinando o traço, característica física do estado fresco e característica mecânica do tijolo ecológico, baseado na NBR 10833 (ABNT, 2012), onde são prescritos os requisitos para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento em prensa manual ou hidráulica. A quantidade de tijolos para cada traço ensaiado é descrita na Tabela 04.

Tabela 04 – Quantidade ensaiada para cada traço

Ensaio	Quantidade de tijolos
Fabricação Total	20
Análise dimensional	10
Compressão	7
Absorção de água	3

Fonte: Autor (2024)

Através dessa quantidade, é possível realizar os ensaios necessários para a caracterização dos tijolos ecológicos.

3.5.1 Determinação do traço

Nesta fase, foi determinada a quantidade dos materiais utilizados para a confecção dos tijolos. Conforme indicações da ABCP (1986), o traço usual para tijolos ecológicos varia de 1:10 (1 volume de cimento para 10 volumes de solo) a 1:12 (1 volume de cimento para 12 volumes de solo). No entanto, no estudo de Lima (2023), que utilizou solo proveniente da mesma jazida, as características mecânicas de compressão não atingiram o mínimo exigido pela NBR 10833 (ABNT, 2012). Diante disso, para esta pesquisa, o traço foi alterado para 1:9 (1 volume de cimento para 9 volumes de solo) e ao final, verificou-se se houve alguma alteração na resistência em comparação ao traço 1:10.

Em relação ao resíduo de lapidação de granilite (RLG) foi adicionado ao traço 5%, 10% e 15% em relação a massa do cimento. Logo o traço ficou resumido na Tabela 05, que são 1 traço padrão sem resíduo, traço padrão + 5%RLG, traço padrão

+ 10%RLG e traço padrão + 15%RLG.

Tabela 05 – Traços para fabricação do tijolo ecológico

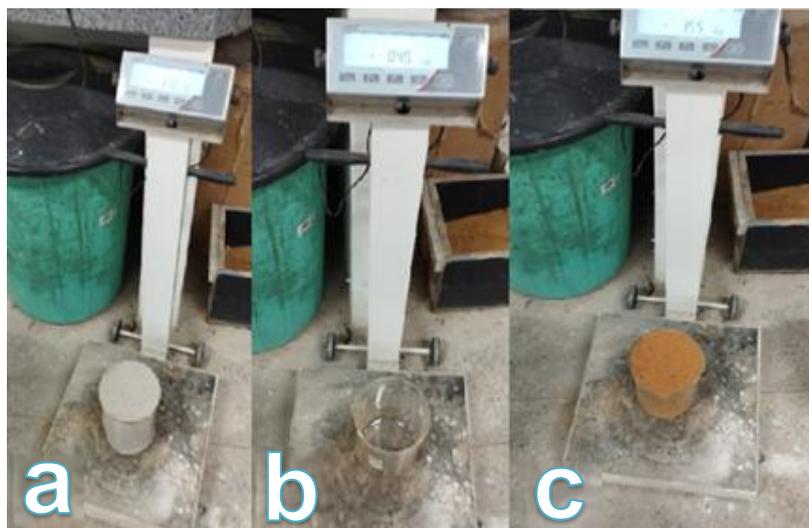
Traço	Cimento (Kg)	Solo (Kg)	Água (Litro)	RLG (g)
TP	2,70	28,35	2,80	0,00
TP + 5% RLG	2,70	28,35	2,80	135
TP + 10% RLG	2,70	28,35	2,80	270
TP + 15% RLG	2,70	28,35	2,80	410

Fonte: Autor (2024)

Para a definição da massa do traço, utilizou-se um recipiente com um volume de pouco mais de 2 litros. O cimento e o solo que couberam nesse recipiente foram pesados separadamente. Em seguida, a massa do solo foi multiplicada por 9 e a quantidade do RLG foi definida em 5%, 10% e 15% da massa obtida do cimento. Esse procedimento foi necessário para garantir que todos os traços tivessem a mesma proporção de cimento e solo.

Na Figura 40 demonstra a pesagem dos componentes do tijolo ecológico.

Figura 40 – (a) Massa cimento no recipiente padrão, (b) tara do recipiente e (c) massa do solo



Fonte: Autor (2024)

Em seguida passou-se para fase de misturas dos materiais.

3.5.2 Fabricação do tijolo ecológico

Para a fabricação dos tijolos ecológicos, foram realizados alguns procedimentos preliminares. Primeiro, o material foi seco ao ar em uma camada fina até atingir a umidade higroscópica. Utilizou-se uma peneira de abertura de 4,80 mm para peneirar o solo e garantir sua homogeneização, conforme Figura 41. Além disso, foram removidos o excesso de materiais indesejados.

Figura 41 – Peneira de 4,80 mm



Fonte: Autor (2024)

Depois dos serviços preliminares, procede-se a mistura, com auxílio de baldes, colocou-se na betoneira os componentes secos: solo, cimento e resíduo RLG, quando necessário. Em seguida foi feita a mistura ligando a betoneira até conseguir uma mistura homogênea e estabilizada.

A Figura 42 apresenta a etapa de pesagem dos materiais conforme figura (a) e (b); mistura do material seco na betoneira (c), colocação do RLG na betoneira e mistura do restante dos materiais (d).

Figura 42 – (a) traço padrão traço padrão, (b) RLG + mistura, (c) material seco antes da mistura, (d) adição do RLG e (e) mistura seca pronta.



Fonte: Autor (2024)

Para a definição da quantidade de água no primeiro traço, ou seja, no traço padrão, foi adicionada água aos poucos ao material seco misturado na betoneira. Observou-se a quantidade de água ideal a partir do teste de umidade.

Após a determinação da quantidade de água através do teste da umidade, utilizou-se a mesma quantidade de água para o restante dos traços, que empregaram a RLG.

Na Figura 43 é possível verificar a hidratação da massa (a), observação da umidade (b), torrão com marcas do dedo (c), lançamento do torrão a uma altura determinada de metro (d) e verificação da quebra do torrão (e).

Figura 43 – (a) Hidratação, (b) observação da umidade, (c) torrão, (d) lançamento do torrão a 1m, (e) quebra do torrão



Fonte: Autor (2024)

Com a massa pronta, a mistura foi colocada na prensa manual de tijolos ecológicos de acordo com a figura 47 (a) e executado a prensagem (b). Esse processo foi executado tanto para o traço padrão sem adição de resíduos, quanto para os traços com adição de 5%, 10% e 15% de resíduos. Para cada traço, foram moldados 20 tijolos, totalizando 80 tijolos no total. Após a prensagem, cada tijolo foi cuidadosamente retirado e colocado sobre uma superfície plana para curar por um período de 7 dias (Figura 44e). Durante esse período, os tijolos foram umedecidos duas vezes ao dia com auxílio de borrifador de água de pressão.

Figura 44 – (a) Abastecimento da prensa, (b) prensagem do tijolo, (c) retirada do tijolo e (d) cura com borrifador de pressão.



Fonte: Autor (2024)

Após a fabricação dos tijolos ecológicos, prosseguiu-se para a caracterização mecânica e física dos materiais.

3.5.3 Análise dimensional dos tijolos

Após o período de cura de 7 dias, foi realizado o ensaio de análise dimensional dos tijolos ecológicos, conforme as diretrizes da NBR 8491 (ABNT,2013). Primeiramente, foram selecionados aleatoriamente 10 tijolos de cada lote (Padrão, 5%, 10% e 15%), totalizando 40 tijolos para o ensaio.

Em seguida foi feita a identificação dos traços nos tijolos conforme figura 45(a).

Com o auxílio de um paquímetro digital, foram analisadas as dimensões das faces dos tijolos, altura, comprimento, largura, distância entre os furos, espessura das paredes e reentrâncias dos furos, conforme ilustrado nas Figuras 45(b).

Figura 45 – (a) Escolha aleatória dos tijolos e (b) medição das faces



Fonte: Autor (2024)

Com essas informações, foi possível realizar a análise das dimensões e verificar se houve um desvio padrão significativo que pudesse comprometer os resultados.

3.5.4 Resistência mecânica a compressão

Nesse subtópico, tomou-se como referência as normas NBR 8491 (ABNT, 2013) e NBR 8492 (ABNT, 2013). Após sete dias da moldagem e cura dos tijolos ecológicos, as amostras foram separadas. De cada amostra, foram selecionados sete corpos de prova para o ensaio de compressão simples.

Após a separação, os tijolos foram identificados com numeração e tipo de

mistura (0%, 5%, 10% e 15%). Com o auxílio de régua (Figura 46a) e esquadro (Figura 46b), o centro de cada tijolo foi marcado. Em seguida, utilizando uma serra mármore, conforme descrito na Figura 46c, os tijolos foram cortados ao meio e a Figura 46d demonstra o resultado do corte.

Figura 46 – (a) Marcação do centro, (b) uso de esquadros para marcar, (c) corte e (d) final da operação



Fonte: Autor (2024)

Logo após o corte ao meio, foi realizada a colagem utilizando uma pasta de cimento com baixo fator água/cimento, conforme ilustrado na Figura 47(a). Em seguida, a pasta de cimento foi aplicada em um dos tijolos, como mostrado na Figura (b). Com o auxílio de um nível de bolha, o tijolo foi nivelado, conforme a Figura (c), e o resultado final da colagem é apresentado na Figura (d).

Figura 47 – (a) Pesagem do cimento, (b) colocação da pasta na metade do tijolo, (c) nivelamento preliminar e (d) fixação das metades prontas



Fonte: Autor (2024)

Após a espera de 24 horas para a fixação das metades dos tijolos, foi realizado

o nivelamento das faces utilizando um nível de bolha, com intervalos de 24 horas entre os lados. Para facilitar o descolamento do papel ou do vidro utilizados como base, foi aplicado óleo mineral. Com o auxílio de uma espátula, as rebarbas foram cortadas, conforme ilustrado na Figura 48.

Figura 48 – (a) Argamassa no vidro, (b) nivelamento do primeiro lado, (c) Nivelamento lado oposto e (e) nivelamento pronto



Fonte: Autor (2024)

Após a secagem de no mínimo 12 horas, conforme a norma, os corpos de prova prismáticos foram submersos em água até o dia de colocação na prensa para o ensaio conforme figura 49(a).

Apenas os corpos de prova foram rompidos no Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Alagoas, localizado no Campus A. C. Simões (Maceió), especificamente no Centro de Tecnologia (CTEC). Vale salientar que esse foi o único ensaio realizado fora do âmbito do Campus do Sertão. O transporte foi realizado de forma segura, utilizando caixas com isopor para evitar choques entre os corpos de prova.

A prensa universal utilizada de capacidade de 10.000 kgf figura 49(b), que forneceu resultados de tensão de rompimento em kgf, conforme observamos na Figura 49(c).

Figura 49 – (a) Imersão dos cp's, (b) rompimento cp's e (c) cp's rompido



Fonte: Autor (2024)

Para determinação da tensão de ruptura, a Equação 7 foi utilizada:

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

f_t é a resistência á compressão simple espessa em (Mpa)

F é carga de ruptura dos cp's em newtons (N)

S é a área de aplicação de carga em (mm²)

3.5.5 Análise do índice de absorção

Tendo como referência a NBR 8491 (ABNT, 2013), o ensaio foi conduzido e executado com os seguintes critérios:

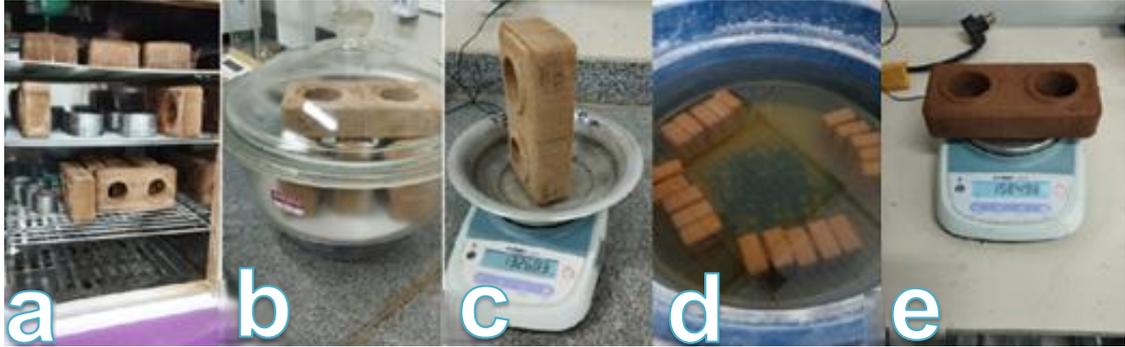
1) Após o período de cura do bloco de solo-cimento, foram separados três corpos de prova para o ensaio de absorção.

2) Em seguida, os corpos de prova foram colocados em uma estufa a uma temperatura entre 105 °C e 110 °C por 24 horas, até atingir a constância de massa. Utilizando um dessecador, esperou-se o esfriamento para obter a massa do corpo de prova seco, medida em gramas.

3) Após definir a massa seca e com os corpos de prova em temperatura ambiente, realizou-se a imersão dos mesmos em um tanque durante 24 horas. Após a retirada da água, os corpos de prova foram superficialmente enxugados com um pano úmido, obtendo-se assim a massa saturada.

A Figura 50 ilustra a secagem em estufa (a), esfriamento dessecador (b), pesagem seca (c), submerso em água (d) e pesagem saturada (e).

Figura 50 – (a) Secagem na estufa, (b) dessecador para esfriar, (c) pesagem massa seca, (d) imersão em água e secagem com pano úmido e (e) pesagem saturada



Fonte: Autor (2024)

3.5.6 Verificação do índice de vazios

Para o ensaio de índice de vazios dos tijolos, foi seguida a metodologia prescrita pela NBR 9778 (ABNT, 2005). Foram utilizados os três tijolos que também foram empregados no ensaio de absorção, seguindo os seguintes passos:

1) Os tijolos foram secos em estufa a uma temperatura entre 105 °C e 110 °C, até atingir a constância de massa, registrada como massa seca.

2) Após o resfriamento, os tijolos foram imersos em um tanque com água por 24 horas, garantindo sua completa saturação.

3) Com o tijolo totalmente saturado, foi realizada a pesagem utilizando uma balança hidrostática, determinando-se assim a massa saturada imerso, do corpo de prova ensaiado conforme as Figuras 51.

Figura 51 – Conjunto da Balança hidrostática



Fonte: Autor (2024)

Para a determinação do índice de vazios, foi utilizada a Equação 8.

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

I_v massa da amostra seca na estufa (%)

M_s massa da amostra seca na estufa(g)

M_{sat} massa da amostra saturada após imersão (g).

M_i massa da amostra saturada imersa em água (g)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos por meio das caracterizações realizadas no solo, no cimento, nos resíduos de lapidação do granilite e no tijolo de solo-cimento. Além disso, para a análise e discussão dos resultados, utilizaremos como base as normas e bibliografias pertinentes.

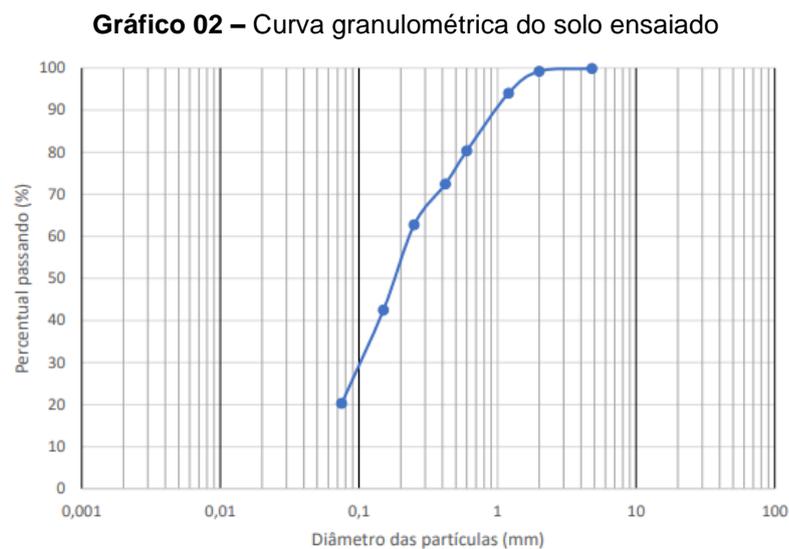
4.1 Análise Granulométrica

Vale salientar que os resultados apresentados neste tópico foram baseados em Lima (2023), que utilizou o mesmo solo empregado neste trabalho.

De acordo com o processo de ensaio estabelecido pela NBR 8181 (ABNT, 2016), foi inicialmente determinada a umidade higroscópica apêndice 01.

Em seguida, foram realizados os peneiramentos fino e grosso, o que possibilitou a confecção da Tabela de análise apêndice 01.

Com todos os dados disponíveis foi possível obter a distribuição dos diâmetros dos grãos do solo e as porcentagens passantes em cada peneira, conforme apresentado no Gráfico 02.

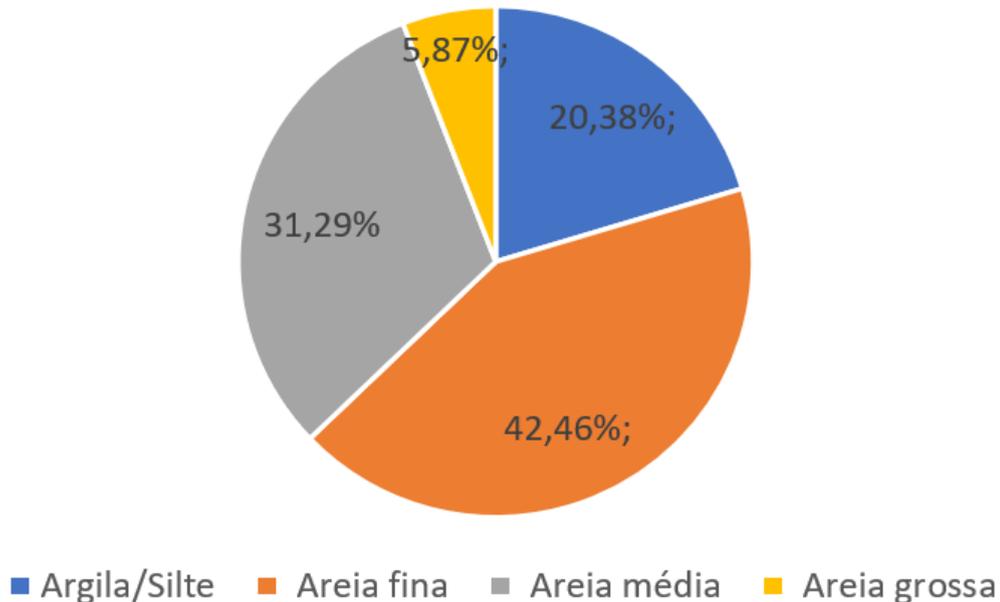


Fonte: Lima (2023)

Através da NBR 6502 (ABNT, 1995), que define as faixas granulométricas

como pedregulho, areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila, foi possível fazer um resumo dos percentuais das frações do solo, apresentado no Gráfico 03.

Gráfico 03 – Faixas de tipo de solo em porcentagem



Fonte: Adaptado de Lima (2023)

Não foi possível realizar a classificação pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) devido à falta dos dados específicos de silte e argila. Isso ocorreu porque seria necessário realizar a granulometria por sedimentação, e o laboratório de solos não dispõe de densímetro, que é essencial para a execução do ensaio conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016).

Na Tabela 06, foi possível verificar os critérios das porcentagens passantes prescritos na NBR 10833 (ABNT, 2012) para utilização em tijolos de solo-cimento.

Tabela 06 – Faixas de tipo de solo em porcentagem

Peneira # (mm)	Solo ensaiado	NBR 10833 (ABNT, 2012)
4,80	99,87 %	100 %
0,075	20,25 %	10% a 50%

Fonte: Adaptado de Lima (2024)

É importante destacar que, durante a fabricação dos tijolos, antes da utilização do solo, todo o material foi peneirado com uma malha de 4,80 mm, sendo

que o material retido foi devidamente descartado.

4.2 Limite de liquidez, plasticidade e índice de plasticidade

Os dados obtidos do ensaio de limite de liquidez estão relacionados na Tabela 07, conforme os ensaios realizados por Lima (2023), utilizando a NBR 6459 (ABNT, 2016) para a determinação do limite de liquidez.

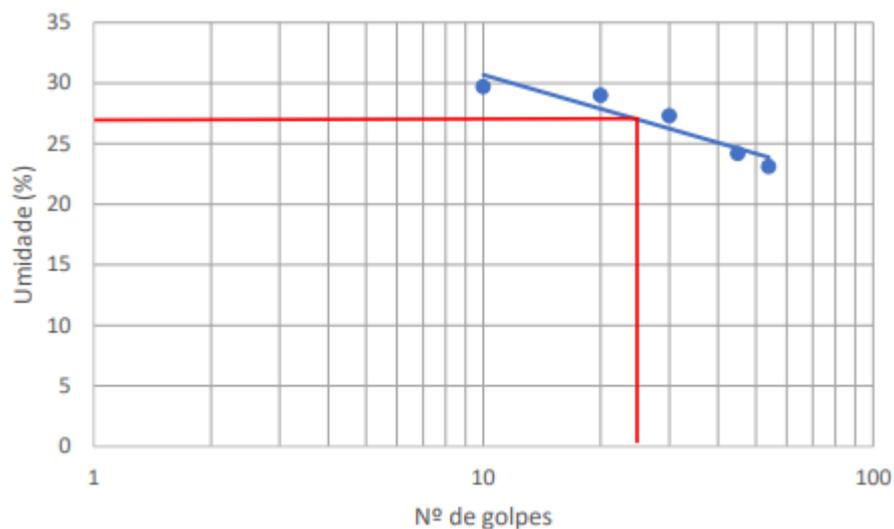
Tabela 07 – Dados do ensaio de LL

Nº	1	2	3	4	5
Nº de Golpes	10	20	30	45	54
Peso Bruto úmido (g)	21,46	18,28	18,42	19,15	20,85
Peso Bruto seco (g)	19,18	16,67	16,94	17,62	19,28
Tara da cápsula (g)	11,51	11,11	11,52	11,31	12,48
Peso da água (g)	2,28	1,61	1,48	1,53	1,57
Peso solo seco (g)	7,67	5,56	5,42	6,31	6,80
Umidade (%)	29,70	29,00	27,30	24,20	21,10

Fonte: Lima (2023)

Com esses dados, foi possível elaborar o Gráfico 04, que relaciona a umidade com o número de golpes. Após a geração do gráfico, foi possível determinar o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que representa o limite de liquidez, com um valor preciso de 26,66%.

Gráfico 04 – Dados do ensaio LL



Fonte: Lima (2023)

Já no limite de plasticidade LP foi obtido reguindo a NBR 7180 (ABNT, 2016) e os resultados são os apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Dados do ensaio de LP

N°	1	2	3	4	5
Peso Bruto úmido (g)	13,16	14,27	33,37	12,95	12,73
Peso Bruto seco (g)	12,85	13,79	13,14	12,74	12,54
Tara da cápsula (g)	11,02	11,34	11,62	11,45	11,40
Peso da água (g)	0,31	0,48	0,23	0,21	0,19
Peso solo seco (g)	1,83	2,45	1,52	1,29	1,14
Umidade (%)	16,90%	19,60	15,10%	16,30%	16,70%

Fonte: Lima (2023)

Com os valores médios calculados a partir dos resultados do ensaio de limite de plasticidade (LP), foi possível obter um valor de 16,92% de umidade.

Com os valores do limite de liquidez e do limite de plasticidade em mãos, o índice de plasticidade é calculado subtraindo-se o LP do LL, resultando em um valor de 9,94% de umidade.

A Tabela 9 apresenta um resumo comparando o solo com o que a norma permite.

Tabela 9 – Dados do ensaio de LP

Ensaio	Umidade do ensaio (%)	NBR 10833 - 2012
Limite de liquidez (LL)	26,86%	LL≤45%
Limite de Plasticidade (LP)	16,92%	*
Índice de Plasticidade (IP)	9,94%	IP≤18%

Fonte: Adaptado de Lima (2023)

Portanto é possível verificar que, nos ensaios de limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade, todos os resultados ficaram dentro do padrão adequado para a confecção de tijolos ecológicos.

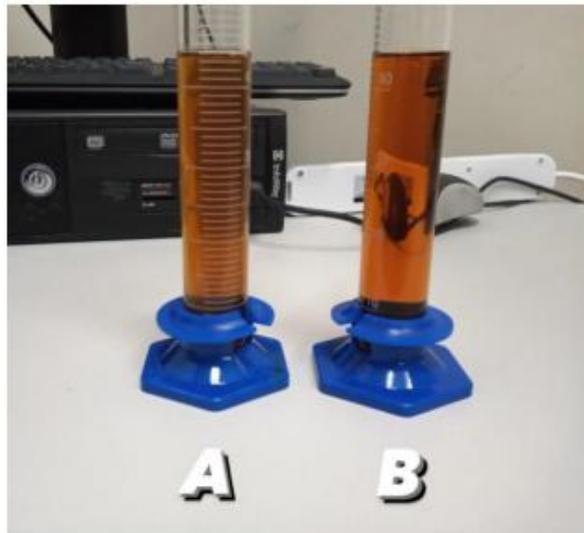
4.3 Determinação de impurezas orgânicas

No ensaio de determinação de matéria orgânica, é essencial garantir que não ocorram interferências na estabilização do cimento com o solo, evitando comprometer a resistência e a durabilidade dos tijolos produzidos. Além disso, a presença excessiva

de matéria orgânica pode impactar negativamente a integridade da edificação na qual esses tijolos serão empregados. Dessa forma, a avaliação criteriosa desse parâmetro é fundamental para assegurar a qualidade e a segurança das construções.

Este ensaio de determinação foi realizado de acordo com a norma NBR 17053 (ABNT, 2012). Após a realização dos ensaios, é possível observar, na Figura 52, o resultado das colorações da solução padrão (A) e da solução reagente com solo (B).

Figura 52 – Soluções de ensaio



Fonte: Lima (2023)

É possível verificar que a solução (B) é mais clara que a solução padrão (A), atendendo, portanto, à norma e sendo considerado um solo adequado para o uso na fabricação de tijolos de solo-cimento.

4.4 Massa específica do cimento

O ensaio foi realizado com base em diretrizes técnicas, cujos resultados são obtidos por meio de uma fórmula que estabelece a relação entre a massa de uma determinada quantidade de material e o volume por ele ocupado. Os valores devem ser apresentados com duas casas decimais, e os ensaios devem ser repetidos para que se obtenha a média dos resultados.

Com os dados da Tabela 10, foi possível obter o resultado do primeiro ensaio necessário para calcular a média.

Tabela 10 – Dados do ensaio massa especifica do cimento

Ensaio massa especifica cimento	Ensaio 01	Ensaio 02
Massa do cimento (g)	60,00	60,00
Li = Leitura inicial (cm ³)	0,80	0,30
Lf = Leitura final (g/cm ³)	21,20	20,60
V = Lf – Li = (g/cm ³)	20,40	20,30
Massa especifica = massa/V (g/cm ³)	2,94	2,96
Média dos ensaios 01 e 02 (g/cm ³)	2,95	

Fonte: Autor (2024)

Com base nos resultados dos dois ensaios e atendendo ao critério de diferença menor ou igual a 0,02 g/cm³, conforme estabelecido pela norma, foi calculada a média, resultando em um valor de massa especifica do cimento de 2,95 g/cm³.

4.5 Índice de finura do cimento

Foi possível calcular o índice de finura do cimento conforme Tabela 11.

Os resultados do ensaio foram satisfatórios, pois atendem à NBR 16697 (ABNT, 2018), que estabelece que o cimento CP II-F 32 deve apresentar um resíduo de finura $\leq 12\%$.

Tabela 11 – Índice de finura do cimento

Ensaio de finura do cimento peneira # 200	
m = massa do cimento (g)	50,00
R = resíduo em (g)	0,80
F = Índice de finura F = (R/m) x 100 (%)	1,60%

Fonte: Autor (2024)

Portanto, isso demonstra que o cimento utilizado no trabalho possui boa qualidade, garantindo o seu potencial em termos de desenvolvimento de resistência, trabalhabilidade e durabilidade.

4.6 Massa especifica do RLG

O resultado pode ser obtido por meio da relação entre a massa de uma quantidade específica do RLG e o volume por ele ocupado, devendo ser apresentado

com duas casas decimais. Para maior precisão, os ensaios devem ser repetidos, e a média dos valores obtidos deve ser calculada.

Com os dados da Tabela 12, foi possível obter o resultado da massa específica 01 do RLG e assim calculou-se a média e logo o valor da massa específica do RLG é de.

Tabela 12 – Dados do ensaio massa específica do RLG

Ensaio massa específica do RLG	Ensaio 01	Ensaio 02
Massa do RLG (g)	60,00	45,00
Li = Leitura inicial (cm ³)	0,50	0,40
Lf = Leitura final (g/cm ³)	23,40	20,09
V = Lf – Li = (g/cm ³)	22,90	19,69
Massa específica = massa/V (g/cm ³)	2,62	2,29
Média dos ensaios 01 e 02 (g/cm ³)	2,46	

Fonte: Autor (2024)

Conforme estabelecido pela norma, foi calculada a média, resultando em um valor de massa específica do cimento de 2,46 g/cm³.

4.7 Índice de finura do RLG

Foi viável calcular o índice de finura do RLG conforme a Tabela 13.

Tabela 13 – Índice de finura do RLG

Ensaio de finura do RLG peneira # 200	
m = massa do RLG (g)	50,00
R = resíduo em (g)	0,79
F = Índice de finura F = (R/m) x 100 (%)	1,58%

Fonte: Autor (2024)

É possível verificar que o índice de finura do material é menor do que o do

cimento. Como o RLG é um material inerte e possui dimensões menores que $0,10\ \mu\text{m}$, ele consegue exercer um efeito de filler sobre o material ao qual é adicionado (Duart, 2008).

Na Figura 53, observa-se o restante dos resíduos retidos após o peneiramento.

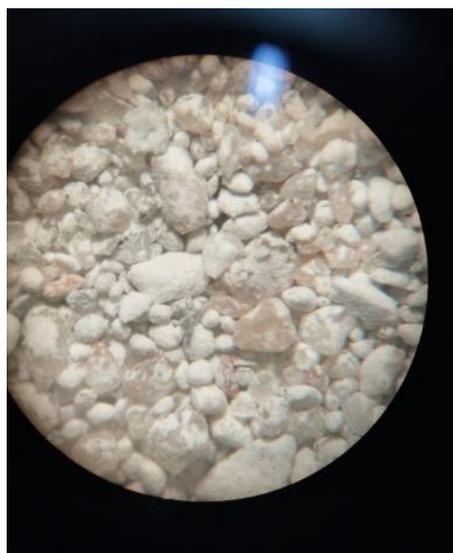
Figura 53 – Pesagem resíduos retidos na peneira n° 200



Fonte: Autor (2024)

Já na Figura 54, a imagem capturada com uma lupa digital revela que, após o peneiramento realizado no ensaio de índice de finura, restaram apenas os grãos maiores de solo, com partículas finas aderidas a eles.

Figura 54 – Grãos de solo com RLG em microscópio



Fonte: Autor (2024)

Esse ensaio foi fundamental para verificar o quão fino é o RLG e sua potencial

utilização na melhoria da compactação dos materiais aos quais é incorporado.

4.8 Análise dimensional do tijolo solo-cimento

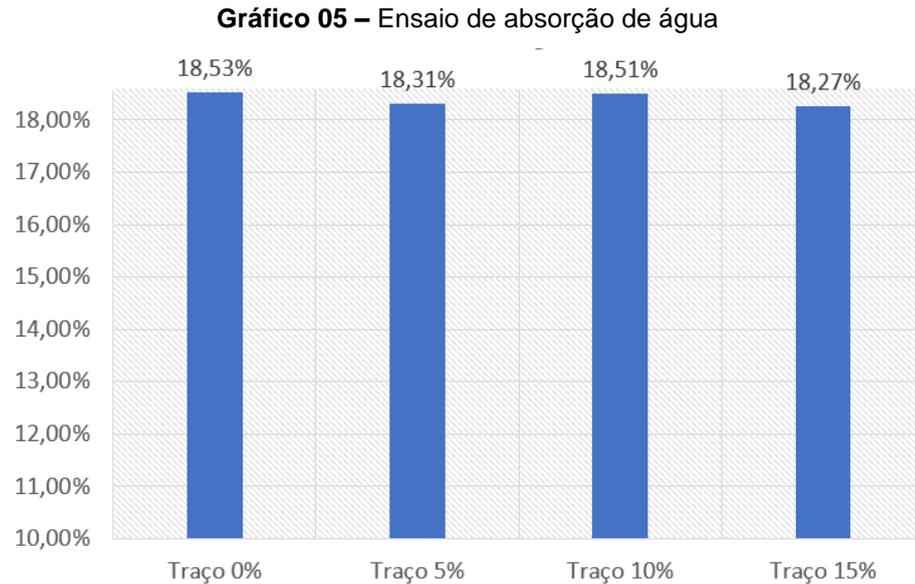
Após todas as medições necessárias é possível verificar os resultados das dimensões dos tijolos ecológicos apêndice 2 e visualizar as variações de dimensões de acordo com a porcentagem de RLG acrescentado na massa de fabricação (0 %, 5%, 10% e 15%).

A maior parte das dimensões dos tijolos permaneceu dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012), que são: 200 mm de comprimento, 50 mm de altura e 100 mm de largura. Verificou-se que os tijolos com 0% e 5% de resíduo não apresentaram desvios superiores a 1 mm em relação às dimensões padrão. No entanto, os tijolos com 10% de resíduo na largura e altura, assim como os tijolos com 15% de resíduo na largura, apresentaram variações superiores a 1 mm. Ainda assim, nenhuma dessas variações ultrapassou 2 mm.

4.9 Análise de absorção do tijolo de solo-cimento ecológico

Nas Tabelas do apêndice 3, são apresentados os dados e resultados de absorção de água dos traços com 0%, 5%, 10% e 15% de resíduo. Os ensaios foram realizados conforme a NBR 8492 (ABNT, 2012), e a idade de ensaio dos tijolos de solo-cimento ecológico foi de 20 dias.

No Gráfico 05 é possível ilustrar de forma clara o comportamento da absorção de água conforme vai acrescentando a quantidade de RLG.



Fonte: Autor (2024)

Nas amostras testadas, os resultados obtidos estiveram em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela norma, que exige que a média dos valores de absorção de água não ultrapasse 20%, e que nenhum valor individual seja superior a 22%.

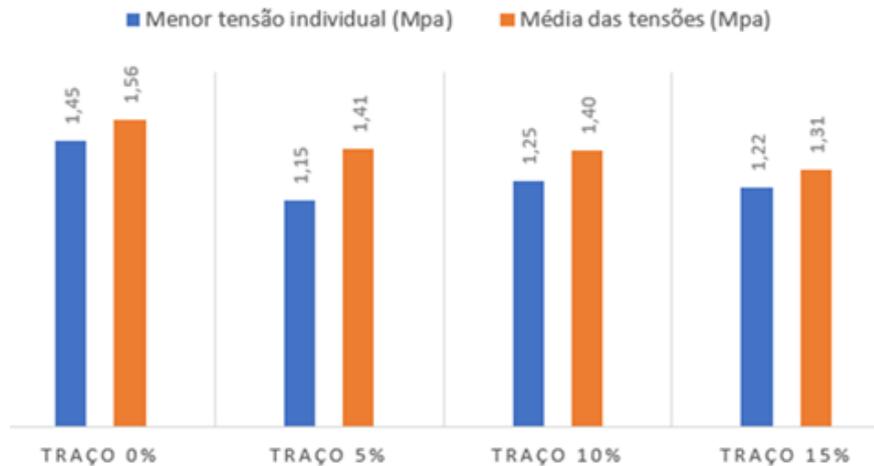
Não houve mudanças significativas nos resultados entre diferentes traços utilizados.

4.10 Compressão simples do tijolo ecológico

No apêndice 5 são apresentados os resultados das resistências à compressão simples. O ensaio foi realizado com 20 dias de idade, em conformidade com a norma que determina o rompimento com idade mínima de 14 dias.

Devido ao capeamento e ao corte os lados ficaram em 100 mm x 100 mm, perfazendo uma área de 10.000,00 mm².

No Gráfico 06 tem-se um resumo mais claro das tensões médias e valores das tensões menores individuais de cada traço ensaiado. Conforme a NBR 8491 (ABNT, 2012) as tensões médias devem ser maiores ou iguais 2 MPa e valor individual mínimo de 1,70 MPa.

Gráfico 06 – Comparações de resistência a compressão simples, média e menor individual

Fonte: Autor (2024)

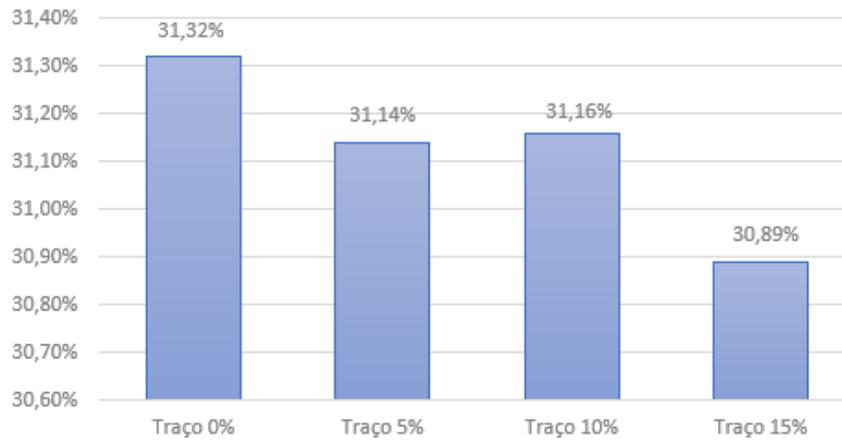
Conforme observado, todos os valores médios de tensão de ruptura foram inferiores a 2,0 MPa, e todos os valores individuais também ficaram abaixo de 1,70 MPa. Isso indica que a proporção de 1:9 precisa ser ajustada para esse solo usado.

Além disso, foi constatada uma redução na resistência à medida que a quantidade de resíduo aumentou.

4.11 Resultado do índice de vazios.

Os resultados aferidos através dos ensaios de índice de vazio dos tijolos de solo-cimento, para seus traços de 0%, 5%, 10% e 15 % estão apresentadas nas tabelas do apêndice 4.

No Gráfico 07, observa-se que os valores encontrados para o índice de vazios foi diminuindo a cada adição de RLG no traço. E, de acordo com Caputo (2020), o adensamento do solo é um processo em que ocorre a redução do volume do solo devido à expulsão e conseqüentemente a diminuição dos vazios presente do solo.

Gráfico 07 – Índice de vazios

Fonte: Autor (2024)

Esse resultado é possível porque, à medida que aumenta a quantidade de resíduos em 5%, 10% e 15% do RLG na composição do tijolo, as partículas finas ocupam os espaços vazios e, conseqüentemente, reduz o índice de vazios.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostrou que é possível usar o resíduo da lapidação do granilite na fabricação de tijolos ecológicos de solo-cimento de forma viável. Nos testes foi possível verificar a redução do índice de vazios, o que ajudou a compactar melhor o material. Além disso, os resultados de absorção de água ficaram dentro dos padrões aceitáveis que no máximo 22%.

Embora a resistência diminua com a adição de RLG, houve apenas uma redução de 9,60% na resistência ao comparar o traço de 0% com os de 5% e 10%. Para o traço de 15%, observando-se uma redução de 16,03% em relação ao traço padrão de 0%.

Os tijolos também mantiveram boas dimensões, com variações dentro dos limites exigidos pelas normas. Isso mostra que o resíduo de granilite pode ser usado para fabricar tijolos de solo-cimento com boas características, tanto físicas quanto mecânicas, e ainda ajudar a reduzir o impacto ambiental, uma vez que proporciona nova utilidade para o material que seria descartado.

Destarte, o uso do resíduo de granilite na produção de tijolos de solo-cimento se mostrou uma alternativa sustentável para a construção civil, oferecendo uma forma de economizar recursos e reduzir o descarte de resíduos, impactando positivamente na preservação do meio ambiente.

Espera-se que as contribuições deste trabalho possibilitem novas pesquisas direcionadas a alternativas para a construção civil. Sendo assim proponha-se sugestões:

- Aprimorar o traço quando usado o solo retirado da jazida do local indicado nesse trabalho e fazer uma estabilização granulométrica com um solo mais arenoso para assim consequentemente diminuir o fator água cimento;
- Analisar o efeito do RLG em solos não argilosos com substituição baseada no volume do solo e determinar o teor de umidade em cada traço, a fim de verificar a necessidade de correção de água para garantir a hidratação do aglomerante.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Tipos de Cimento**. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/>. Acesso em: 6 ago. 2024
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **História do cimento**. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 9 jul. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **O solo-cimento e suas aplicações rurais**. São Paulo, 1996. (BT-117)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Dosagem das misturas de solo-cimento – Normas de dosagem e métodos de ensaios**. 3.ed. revisada pelo Eng. Márcio Rocha Pitta. São Paulo, 1986, 57p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457 – Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6502 – Rochas e solos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento – Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8492 – Blocos Vazados de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10833 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11579 – Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16605 – Cimento Portland - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697 - Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2022**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso 25/02/2023 às 23:30

AURAPLAST. **Junta de dilatação.** Auraplast, 2024. Disponível em: <https://www.auraplast.com.br/junta-de-dilatacao>. Acesso em: 3 set. 2024.
BRASIL.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2002. Seção 1, p. 128-131. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 26 fev. 2023 às 12:10

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Brasília, DF, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 27/02/2023 às 00:08

BRASIL. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS.** Disponível em: <https://www.mma.gov.br/planos-de-gestao-de-residuos-solidos>. Acesso em: 6 ago. 2024.

BRASIL. **Priorização no Brasil das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).** Participa + Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/priorizacao-no-brasil-das-metas-dos-ods1>. Acesso em: 05 set. 2024.

BUENO, A. A. et al. **Ciclo PDCA.** Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2013.

CAMARGO, M. F. S. **Pisos à Base de Cimento: Tecnologia e Aplicação.** São Paulo: PINI, 2008. 150 p. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9A4G92/1/pisos_a_base_de_cimento_maria_de_f_tima_santos_camargo_cd.pdf. Acesso em: 12 ago. 2024, às 10:13

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e seus fundamentos.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CASA FRANCEZA. **Granilite e Fulget: Especificações Técnicas.** Disponível em: <http://www.casafranceza.com.br>. Acesso em: 6 ago. 2024

CID, F. **Metodologias de identificação de impactos ambientais e Matrizes de impacto ambiental.** 5 mar. 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Emissão Veicular. Qualidade do ar: veículos automotores.** Governo de São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular>. Acesso em: 10 set. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 273.**

DANTAS, N. K. P. (2020). **Utilização de Resíduos na Produção de Cimento**. Dissertação de Mestrado, Instituto Federal Goiano. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1286/7/disserta%C3%A7%C3%A3o_N%C3%A1jela%20Kamilla%20Paula%20Dantas.pdf. Acesso em: 6 ago. 2024.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. 2008. 134f. Dissertação (Mestrado em Materiais de Construção Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

ENGENHARIA DE SUPERFÍCIE. **O que é Piso Granitina**. Disponível em: https://engenhariadesuperficie.com.br/piso-granitina/o-que-piso-granitina/?doing_wp_cron=1712892560.3943870067596435546875. Acesso em: 4 set. 2024.

FRANCELINO, P. R. O. **Subsídios para projeto e execução de revestimentos em granilite**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GBC BRASIL. **7 vantagens dos prédios verdes para a sociedade e meio ambiente**. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/7-vantagens-dos-predios-verdes-para-a-sociedade-e-meio-ambiente/>. Acesso em: 4 set. 2024.

GRANDE, F. M. **Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-Cimento por Prensagem Manual com e sem adição de Sílica Ativa**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Usp – São Carlos 2003.

JARFEL. **Tijolo ecológico: Informações e vantagens**. Jarfel Máquinas, 2024. Disponível em: <https://www.jarfel.com.br/informativos/tijolo-ecologico/>. Acesso em: 3 set. 2024.

LARUCCIA, M. M. **Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil**. Guarulhos (SP), 84f, jan. 2014. Disponível em: [Análise do desempenho térmico em tijolo ecológico confeccionado com uso de argila expandida.pdf \(ufal.br\)](#). Acesso em 05 Set. 2024

LIMA, A. M. **Análise do aproveitamento de garrafas PET recicladas trituradas na confecção de tijolos de solo-cimento**. Universidade Federal de Alagoas, 2023.

LORENZETT, D. B.; ROSSATO, M. V.; NEUHAUS M. **Medidas de gestão ambiental adotadas em um posto de abastecimento de combustíveis**. Revista Gestão Industrial. v. 07, n. 03: p. 01-21, 201. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa/PR, 2011.

LUCENA, L. F. L.; NEVES, G. A.; NASCIMENTO, J. D.; OLIVEIRA, D. F. **Diagnóstico da geração de resíduos da construção civil no Município de Campina Grande**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 1, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre, 2005.

MARÇAL, D. A.; SILVA, C. E. **Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI)**. 2017. Eng Sanit Ambient | v.22 n.4.

MARQUES, S. K. J. **Produção de tijolos resíduo-cimento usando cascalho de perfuração e cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. Natal, RN, 2015. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

MATTES, J. **Desenvolvimento de materiais sustentáveis para a construção civil**. Revista Ciência e Engenharia, v. 22, n. 3, p. 45-58, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 4 set. 2024.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Resíduos sólidos: gerenciamento de resíduos da construção civil: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Disponível em https://antigo.mdr.gov.br/imagens/histórias/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/gerenciamentoereciclagemderesiduosdaconstruca-nivel2.pdf. Acesso em: 12 de novembro de 2024.

MUNHOZ. **12 anos de PNRS**. Blog Eureciclo, 2019. Disponível em: <https://blog.eureciclo.com.br/12-anos-de-pnrs/>. Acesso em: 28/02/2023 às 01:00.

NEVES, C.; FARIA, O. B. (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79 p. Disponível em: <http://www.redproterra.org>. Acesso em: 28 ago. 2024.

PINTO, C. **Avaliação e Valoração dos Impactos Ambientais no Processo de Operação de Postos Revendedores de Combustíveis**. Escola de Química: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 20 maio 2009.

POSTO DE ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEIS. **Revista Gestão Industrial: Universidade Tecnológica Federal do Pará (UTFPR)**, 12 abr. 2011. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/635>. Acesso em: 14 dez. de 2021.

PROEMA. **Programas de Acompanhamento e Monitoramento dos Impactos Ambientais**. São Luís, MA.

REDE NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA (RNP). **Estudo de impactos ambientais**. Disponível em: https://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/427/Estudo_de_Impactos_Ambientais.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 08 fev. 2022

ROCHA, P. **Análise dos Impactos Ambientais causados pelos Postos de distribuição de combustíveis: uma visão integrada**. XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção - Florianópolis, SC, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 19 maio 2004. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2004_enegep1002_0626.pdf. Acesso em: 14 dez. de 2021.

SALA, L. G. **Proposta de habitação sustentável para estudantes universitários**. 2006. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

SANTOS, I. T. **Caracterização do resíduo da lapidação do granilite e seu uso em concretos permeáveis**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

SANTOS, I. D. P. **O uso de solo-cimento com adição de pó de pneu recauchutado na fabricação de tijolos ecológicos**. 74 f. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Unidade Delmiro Gouveia-Campus do Sertão, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2021.

SANTOS, I. S. **Análise da viabilidade de utilização do resíduo da lapidação do granilite em concreto permeável**. Rio Verde, 2020. 44 p.

SILVA, F. H. R. F. e, OLIVEIRA, C. H. de. **Uso do tijolo ecológico para trazer economia na construção civil**. 2015. ICESP - Instituto Científico de Ensino Superior e Pesquisa. Brasília, DF.

SILVA, F. R. da. **Avaliação do uso de resíduos da construção civil na produção de tijolos de solo-cimento**. 2020. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020.

SINDICOM; FECOMBUSTÍVEIS. **Manual de Operações Seguras e Ambientalmente Adequadas em Postos de Serviços**. Módulo Regulamentação e Legislação. 2017.

SKORUPA, L. A.; NICOLELLA, G.; MARQUES, J. F. **Sistema de gestão ambiental: aspectos teóricos e análises de um conjunto de empresas da região de Campinas, SP**. Disponível em: <https://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_39.pdf> Acesso em: 19 de dez. de 2021.

SOARES, M. V. C. **Estudo experimental da durabilidade de compósitos de cimento reforçado com fibras vegetais para telhas de habitações de interesse social**. 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <https://pos.dees.ufmg.br/defesas/239M.PDF>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SOUSA, R. **Impermeabilização de fundações: proteção essencial para a durabilidade da obra**. 2023. Disponível em: <https://www.renansousaeng.com.br/post/57932-impermeabilizacao-fundacoes>. Acesso em: 2 set. 2024.

TIJOLO ECO. **Manual de construção com tijolo ecológico**. 2024. Disponível em:

https://www.tijolo.eco.br/manual_construcao_tijolo_ecologico/. Acesso em: 2 set. 2024.

UNIMEP. *Cartilha: Produção de Tijolos de Solo-Cimento*. Universidade Metodista de Piracicaba, 2016.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – Resultado do ensaio de Granulometria por peneiramento

N° Cápsula	Peso Bruto Umidade (g)	Peso Bruto Seco (g)	Peso da Cápsula (g)	Peso da Água (g)	Peso do Solo Seco (g)	Umidade (%)	Umidade Média (%)
1	146,81	141,66	25,14	5,15	116,52	4,41	4,425
2	166,26	161,10	44,98	5,16	116,12	4,44	

Massa total amostra Úmida M_t (g) = 1000,07g		Massa total amostra seca M_s (g) = 957,96 g		
PENEIRAS		MATERIAL RETIDO		MATERIAL PASSADO
(mm)	Parcial (g)	Acumulado, M_i (g)		Q_f (%)
50	0	0		100
38	0	0		100
25	0	0		100
19	0	0		100
9,5	0	0		100
4,8	1,17	1,17		99,87
2,0	6,25	$M_g = 7,42$		$N = 99,22$
Massa parcial úmida $m_h = 992,65$ (g)				
PENEIRAS		MATERIAL RETIDO		MATERIAL PASSADO
(mm)	Parcial (g)	Acumulado, M_i (g)		Q_f (%)
1,2	25,16	25,16		94,00
0,6	66,10	91,26		80,30
0,42	38,03	129,29		72,42
0,25	46,86	176,15		62,71
0,15	97,81	273,96		42,44
0,075	107,09	381,05		20,25

APÊNDICE 2 –Resultado análise das propriedades Dimensionais

Traço padrão + 0 % de RLG			
Número do tijolo	Altura (mm)	Largura (mm)	comprimento (mm)
1	50,67	100,81	200,16
2	50,70	100,82	200,82
3	50,83	100,95	200,92
4	50,72	100,93	200,83
5	50,77	100,86	200,58
6	50,93	100,96	200,56
7	50,82	100,80	200,80
8	50,61	100,97	200,52
9	50,49	100,85	200,60
10	50,67	100,87	200,98
Média	50,72	100,88	200,68
Desvio padrão	0,12	0,07	0,24

Traço padrão + 5 % de RLG			
Número do tijolo	Altura (mm)	Largura (mm)	comprimento (mm)
1	50,99	100,71	200,37
2	50,81	100,89	200,54
3	50,52	100,85	200,69
4	50,84	100,94	200,78
5	51,27	100,98	200,88
6	50,92	100,91	200,28
7	50,88	100,99	200,80
8	50,58	100,83	200,83
9	50,91	100,89	200,62
10	51,15	100,77	200,81
Média	50,89	100,88	200,66
Desvio padrão	0,23	0,09	0,21

Traço padrão + 10 % de RLG			
Número do tijolo	Altura (mm)	Largura (mm)	comprimento (mm)
1	51,32	101,14	200,9
2	51,36	101,24	200,92
3	51,16	101,6	201,36
4	51,26	101,77	201
5	50,91	101,26	200,67
6	51,13	101,27	200,33
7	50,96	101,34	200,69
8	51,10	101,53	200,98
9	50,54	101,14	200,26
10	50,98	101,90	201,64
Média	51,07	101,42	200,88
Desvio padrão	0,24	0,27	0,42

Traço padrão + 15 % de RLG			
Número do tijolo	Altura (mm)	Largura (mm)	comprimento (mm)
1	50,94	100,98	200,93
2	50,49	101,37	200,97
3	50,85	101,08	200,52
4	50,98	100,93	200,61
5	50,95	101,32	200,9
6	50,8	100,9	200,81
7	50,72	101,35	200,63
8	50,90	101,37	200,77
9	50,98	101,16	200,70
10	50,80	101,50	200,95
Média	50,84	101,20	200,78
Desvio padrão	0,15	0,21	0,16

APÊNDICE 3 – Tabelas resultados do índice de absorção

Traço 0 % - Idade 20 dias			
Número do CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção (%)
1	1328,47	1574,58	18,53
2	1346,08	1588,61	18,02
3	1339,77	1584,98	18,30
4	1319,93	1567,77	18,78
5	1319,47	1568,73	18,89
Média			18,50
Desvio padrão			0,35

Traço 5 % - Idade 20 dias			
Número do CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção (%)
1	1324,64	1576,62	19,02
2	1351,19	1598,32	18,29
3	1338,58	1588,30	18,66
4	1375,05	1615,36	17,48
5	1359,69	1604,07	17,97
Média			18,28
Desvio padrão			0,60

Traço 10 % - Idade 20 dias			
Número do CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção (%)
1	1343,98	1591,56	18,42
2	1339,96	1588,00	18,51
3	1323,73	1571,19	18,69
4	1334,85	1583,19	18,60
5	1375,33	1616,02	17,50
Média			18,35
Desvio padrão			0,48

Traço 15 % - Idade 20 dias			
Número do CP	Massa seca (g)	Massa satura (g)	Absorção (%)
1	1326,83	1579,00	19,01
2	1349,5	1593,25	18,06
3	1336,72	1576,65	17,95
4	1338,99	1584,71	18,35
5	1327,99	1572,39	18,40
Média			18,35
Desvio padrão			0,41

APÊNDICE 4 – Resultados do índice de vazios

Índice de vazios Traço 0 % - Idade de ensaio 20 dias				
Número do Cps	MS - Massa seca (g)	Msat - Massa satura (g)	Mi = Massa satura imersa	Índice vazios (%)
1	1328,47	1574,58	790,95	31,41
2	1339,77	1584,98	797,68	31,15
3	1319,93	1567,77	778,9	31,42
Média				31,32
Desvio padrão				0,15

Índice de vazios Traço 5 % - Idade de ensaio 20 dias				
Número do Cps	Massa seca (g)	Massa satura (g)	Mi = Massa satura imersa	Absorção (%)
1	1351,19	1598,32	805,42	31,17
2	1338,58	1588,30	796,00	31,52
3	1359,69	1604,07	808,60	30,72
Média				31,14
Desvio padrão				0,40

Índice de vazios Traço 10 % - Idade de ensaio 20 dias				
Número do Cps	Massa seca (g)	Massa satura (g)	Mi = Massa satura imersa	Absorção (%)
1	1343,98	1591,56	795,73	31,11
2	1339,96	1588,00	791,57	31,14
3	1334,85	1583,19	787,52	31,21
Média				31,16
Desvio padrão				0,05

Índice de vazios Traço 15 % - Idade de ensaio 20 dias				
Número do Cps	Massa seca (g)	Massa satura (g)	Mi = Massa satura imersa	Absorção (%)
1	1349,5	1593,25	800,92	30,76
2	1338,99	1584,71	791,59	30,98
3	1327,99	1572,39	781,84	30,92
Média				30,89
Desvio padrão				0,11

APÊNDICE 5 – Resultados de compressão

Padrão + 0 %		Data de fabricação: 04/07/2024		Data de rompimento	24/07/2024	20 Dias	
Número dos CP'S	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	A (mm ²)	Carga (kgf)	Newton (N)	N/mm ²	MPa
1	100	100	10000	1561,90	15369,096	1,54	1,54
2	100	100	10000	1477,28	14536,44	1,45	1,45
3	100	100	10000	1729,72	17020,44	1,70	1,70
4	100	100	10000	1594,13	15686,24	1,57	1,57
5	100	100	10000	1583,00	15576,72	1,56	1,56
6	100	100	10000	1555,64	15307,50	1,53	1,53
10	100	100	10000	1625,84	15998,27	1,60	1,60
						Média	1,56
						Desvio padrão	0,08

Padrão + 5 %		Data de fabricação: 04/07/2024		Data de rompimento	24/07/2024	20 Dias	
Número dos CP'S	Lado 1 (m)	Lado 2 (m)	A (mm ²)	Carga kgf	Newton (N)	N/m ²	MPa
1	100	100	10000	1333,72	13123,80	1,31	1,31
5	100	100	10000	1167,42	11487,41	1,15	1,15
6	100	100	10000	1434,25	14113,02	1,41	1,41
8	100	100	10000	1477,14	14535,06	1,45	1,45
9	100	100	10000	1462,45	14390,51	1,44	1,44
10	100	100	10000	1302,68	12818,37	1,28	1,28
11	100	100	10000	1505,39	14813,04	1,48	1,48
						Média	1,41
						Desvio padrão	0,12

Padrão + 10 %		Data de fabricação: 05/07/2024		Data de rompimento	25/07/2024	20 Dias	
Número dos CP'S	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	A (mm ²)	Carga kgf	Newton (N)	N/m ²	MPa
1	100	100	10000	1418,32	13956,27	1,40	1,40
3	100	100	10000	1422,53	13997,70	1,40	1,40
4	100	100	10000	1380,93	13588,35	1,36	1,36
5	100	100	10000	1439,75	14167,14	1,42	1,42
6	100	100	10000	1272,81	12524,45	1,25	1,25
7	100	100	10000	1501,89	14778,60	1,48	1,48
8	100	100	10000	1517,38	14931,02	1,49	1,49
						Média	1,40
						Desvio padrão	0,08

Padrão + 15 %		Data de fabricação: 05/07/2024		Data de rompimento	25/07/2024	20 Dias	
Número dos CP`S	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	A (mm²)	Carga KGf	Newton (N)	N/mm²	MPA
3	100	100	10000,0000	1242,59	12227,09	1,22	1,22
5	100	100	10000,0000	1405,41	13829,23	1,38	1,38
7	100	100	10000,0000	1330,94	13096,45	1,31	1,31
9	100	100	10000,0000	1390,9	13686,46	1,37	1,37
10	100	100	10000,0000	1420,42	13976,93	1,40	1,40
11	100	100	10000,0000	1260,93	12407,55	1,24	1,24
12	100	100	10000,0000	1295,43	12747,03	1,27	1,27
						Média	1,31
						Desvio padrão	0,07