

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

DEISE LEITE MOURA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS DE UMA FÁBRICA NO MUNICÍPIO DE CAMPOS SALES-CE**

Cajazeiras-PB
2022

DEISE LEITE MOURA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS DE UMA FÁBRICA NO MUNICÍPIO DE CAMPOS SALES-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva.

Cajazeiras-PB
2022

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Suellen Conceição Ribeiro CRB-2218

M929a Moura, Deise Leite

Análise das propriedades físicas e mecânicas de tijolos ecológicos de uma fábrica no município de Campos Sales - Ce /. Deise Leite Moura. – Cajazeiras/Pb: Ifpb, 2022.

52f.:il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB, Campus Cajazeiras. Cajazeiras, 2022.

Orientador(a): Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva.

1. Tijolos ecológicos. 2. Materiais de construção. 3. Campos Sales - Ce.

I. Moura, Deise Leite. II. Título.

CDU: 691 M929a

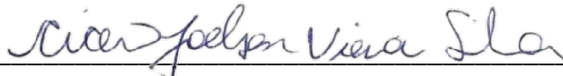
DEISE LEITE MOURA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS DE UMA FÁBRICA NO MUNICÍPIO DE CAMPOS SALES-CE**

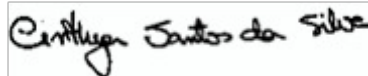
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 22 de março de 2022.

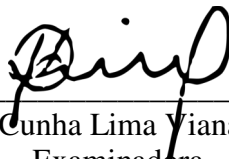
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador



Prof^ª. Me. Cinthya Santos da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinadora



Prof^ª. Me. Karla Simone da Cunha Lima Yiana – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinadora

“Não existem sonhos impossíveis para aqueles que realmente acreditam que o poder realizador reside no interior de cada ser humano, sempre que alguém descobre esse poder algo antes considerado impossível se torna realidade.”
(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por me fazer forte e guiar todos meus passos nesta caminhada por mim escolhida.

Aos meus pais, Antônia e João Eridam, responsáveis por tudo que sou, minha fonte de inspiração e meu porto seguro, por tornarem deles também os meus sonhos e possibilitarem a realização de meus estudos.

Às minhas irmãs, Denise e Débora, por serem meus maiores exemplos, por apoiarem minhas escolhas e por todo suporte proporcionando durante minha trajetória acadêmica.

Aos demais familiares, que me sustentam em orações e incentivo, além do exemplo que sempre foram pra mim.

Aos meus amigos de infância e ao meu namorado, que sempre sonharam junto comigo com esta conquista, aos amigos adquiridos ao longo do curso, em especial ao grupo república, por tornarem tudo mais leve, por serem refúgios muitas vezes nesta jornada.

Aos amigos, Ana Caroline, Edmilson Júnior, Leila Alencar e ao Professor Gastão Coelho pela ajuda na execução dos ensaios no laboratório.

A todos professores, por todo conhecimento e empenho para tornar possível nosso sonho. Em especial ao meu orientador que não mediu esforços para me ajudar e incentivar na produção deste trabalho e por todo comprometimento dado desde o início da pesquisa.

Por fim, ao IFPB – *Campus* Cajazeiras pelo comprometimento, estrutura e condições de estudo dado nestes anos e até mesmo em meio à uma pandemia.

Muito obrigada a todos.

RESUMO

O crescimento da indústria da construção civil é muito importante para o desenvolvimento socioeconômico de uma nação. Porém, esse mercado provoca diversos impactos ambientais, dentre eles, o uso acentuado de recursos naturais, além da grande geração de resíduos sólidos urbanos. Um fator que agrava essa problemática é a produção e uso de tijolos cerâmicos. Dito isso, o tijolo solo-cimento ou tijolo ecológico, se apresenta como uma alternativa ambientalmente sustentável, visto que não é necessário o processo de queima na sua produção, e por ser um elemento de alvenaria modular, contribui para a não geração de resíduos, além de diminuir consideravelmente o uso de argamassa, e conseqüentemente, se torna mais econômico que os tijolos cerâmicos. Em contrapartida, este material é pouco difundido, o que dificulta sua produção e comercialização. Tratando-se de um estudo de caso e uma pesquisa experimental, o presente trabalho propõe analisar as propriedades físicas e mecânicas de tijolos ecológicos de uma fábrica situada na Cidade de Campos Sales-CE, comparando a produção com dois tipos de solos distintos. Com isso, foram realizados ensaios com os respectivos solos para caracterização de suas propriedades, além de análises das suas influências nas características físicas e mecânicas dos tijolos. A análise dos resultados evidencia que os solos utilizados atendem as diretrizes normativas para a fabricação de tijolos ecológicos. Entretanto, os tijolos fabricados com os diferentes tipos de solo não atingiram o valor mínimo de resistência à compressão exigido pela norma que é de 2,0 MPa.

Palavras-chave: solos; tijolos; solo-cimento; propriedades;

ABSTRACT

The growth of the industry's construction it's really important for the socioeconomic development of a nation. Nevertheless, this market causes several environmental impacts, among them, the accentuated use of the natural resources, in addition to the large Generation of urban solid waste. A factor that aggravates that problem is the production and use of ceramic bricks. That said, the soil-cement brick or ecological brick, presents itself as an environmentally sustainable alternative, since the burning process isn't necessary in its production, due to a modular masonry element, it contributes to the non-generation of waste, considerably reducing the use of mortar, and consequently, it becomes more economical as well. On the other hand, this material isn't widespread, which makes its production and commercialization complicated. Being a study case and an experimental research, the present work proposes to analyze the physical and mechanical properties of ecological bricks from a factory located in Campos Sales-CE, comparing the production of two different kinds of soils. As a result, tests were carried out with the respective soils to characterize their properties, in addition to analyzing their influence on the physical and mechanical characteristics of the bricks. The analysis of the results shows that the soils used meet the normative guidelines for the manufacture of ecological bricks. Although, the bricks made with the different types of soil did not reach the minimum value of compression strength required by the standard, which is 2,0 MPa.

Key words: soils; bricks; soil-cement; propertie

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Horizontes do solo	16
Figura 2 - Terminologia do Sistema de Classificação Unificada.	18
Figura 3 - Limites de Consistência.....	19
Figura 4 - Tipos de tijolos de solo-cimento.....	22
Figura 5 - Mapa de Localização de Campos Sales-CE.	26
Figura 6 - Jazidas: a) Solo “A” b) Solo “B”.....	27
Figura 7 - Agitação mecânica da amostra.	28
Figura 8 - Etapas do ensaio de sedimentação: a) Repouso dos solos, b) Agitação no dispersor, c) Provetas com as misturas e com o densímetro	29
Figura 9 - Aparelho de Casagrande: a) Amostra do solo “A”, b) Amostra do solo “B”.....	29
Figura 10 - Cilindros do limite de plasticidade a) Solo “A”, b) Solo “B”	30
Figura 11 - Etapas do ensaio de massa específica: a) Passagem da mistura para o picnômetro, b) processo de retirada do ar, c) resfriamento da mistura.....	30
Figura 12 - Etapas do ensaio de compactação do solo: a) uniformização da umidade do solo, b) processo de compactação com soquete, c) remoção do solo do molde.....	31
Figura 13 - Processo de produção dos tijolos: a) Peneira rotativa, b) Prensagem dos tijolos.	32
Figura 14 - Análise dimensional: a) largura, b) comprimento, c) altura.	34
Figura 15 - Etapas do ensaio de absorção de água: a) Massa do tijolo seco, b) Tijolos imersos em água.....	34
Figura 16 - Etapas do ensaio de resistência à compressão: a) Tijolos capeados, b) Tijolos imersos na água, c) Ruptura do corpo de prova.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limite das frações de solos pelo tamanho dos grãos.....	16
Tabela 2 - Traços dos solos “A” e “B”.....	33
Tabela 3 - Quantidade de amostras.....	33
Tabela 4 - Limites de Consistência e Índice de Plasticidade.....	37
Tabela 5 - Massa específica dos grãos.....	38
Tabela 6 - Resultados dos ensaios de compactação.....	38
Tabela 7 - Classificação dos solos.....	39
Tabela 8 - Resultados do ensaio de absorção de água.....	41
Tabela 9 - Resultados do ensaio de resistência à compressão simples.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	SOLO	15
3.1.1	<i>Conceitos e generalidades</i>	<i>15</i>
3.1.2	<i>Propriedades do solo</i>	<i>16</i>
3.2	O SOLO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	19
3.2.1	<i>Solo-cimento.....</i>	<i>20</i>
3.3	CIMENTO PORTLAND	20
3.4	TIJOLO SOLO-CIMENTO	21
3.4.1	<i>Conceitos e generalidades</i>	<i>21</i>
3.4.2	<i>Propriedades do tijolo solo-cimento.....</i>	<i>23</i>
3.5	SUSTENTABILIDADE	23
4	METODOLOGIA	25
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.....	27
4.2.1	<i>Análise granulométrica.....</i>	<i>28</i>
4.2.2	<i>Limites de consistência – Liquidez e Plasticidade.....</i>	<i>29</i>
4.2.3	<i>Determinação da massa específica</i>	<i>30</i>
4.2.4	<i>Compactação dos solos.....</i>	<i>31</i>
4.2.5	<i>Classificação.....</i>	<i>31</i>
4.3	CIMENTO PORTLAND	32

4.4	PRODUÇÃO DOS TIJOLOS	32
4.5	DETERMINAÇÃO DO TRAÇO	32
4.6	CARACTERIZAÇÃO DOS TIJOLOS.....	33
5	RESULTADOS E ANÁLISES	36
5.3	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	36
5.3.1	<i>Análise granulométrica</i>	36
5.3.2	<i>Limites de consistência</i>	37
5.3.3	<i>Massa específica</i>	38
5.3.4	<i>Compactação</i>	38
5.3.5	<i>Classificação</i>	39
5.4	CARACTERIZAÇÃO DOS TIJOLOS.....	40
5.4.1	<i>Análise dimensional</i>	40
5.4.2	<i>Absorção de água</i>	41
5.4.3	<i>Resistência à compressão</i>	41
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

É amplamente reconhecido que o crescimento da construção civil causa diversos impactos ambientais, dentre eles podem-se destacar, segundo o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT (2014), as mudanças climáticas, a destruição da camada estratosférica de ozônio, acidificação das águas e do solo e o uso exacerbado de recursos naturais, sejam minerais, energia fóssil e não renovável, água, dentre outros. E, segundo Mattes (2019), a indústria da construção civil consome, internacionalmente, entre 40% e 75% dos recursos naturais.

Além disso, vale destacar que a produção de resíduos sólidos deste setor representa uma grave problemática para muitas cidades brasileiras, pois constituem cerca de 50% a 70% do total dos resíduos sólidos urbanos gerados (MEDEIROS; SILVA, 2016). Pode-se definir resíduos da construção civil, de acordo com a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, como detritos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, os chamados de entulhos de obras. Um importante adendo é o dispositivo normativo na resolução supracitada de que os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos, mas caso aconteça deve-se buscar sua reutilização, reciclagem ou tratamento e disposição final ambientalmente adequada para os rejeitos (CONAMA, 2002).

Diante disso, um exemplo de material da construção civil que contribui para o aumento dos impactos apresentados é o tijolo cerâmico, pois para sua produção é necessária a extração de recursos naturais para serem utilizados como fonte energética. Segundo Manfredini (2003), para o processo de queima de cada tijolo é necessário cerca de 0,20 kg de carvão ou 0,30 kg de madeira, isto traduzido em energia térmica é cerca de 4 MJ (Mega Joule) por tijolo. Outrossim, o uso deste material gera quantidades significativas de resíduos. Silva *et al.* (2019), em pesquisa, mostram que em edificações residenciais de pequeno porte, a média de perdas de tijolos cerâmicos e argamassa são de 6,4% e 20%, respectivamente.

Por conseguinte, o tijolo de solo-cimento ou tijolo ecológico se apresenta como uma alternativa ambientalmente sustentável na construção civil, dado que é produzido por meio da compactação de solo, cimento e água em uma prensa hidráulica ou manual, conseguindo gerar, por via de consequência, menos resíduos, e, conjuntamente, por ser aplicado em forma de alvenaria modular, existe um maior controle de perdas, além de não ser levado ao forno na sua produção o que difere do tijolo cerâmico tradicional que uma das suas etapas produtiva,

consiste, necessariamente, na queima e no cozimento em que são utilizados combustíveis, como lenha ou carvão (LARUCCIA, 2014).

Porém, de acordo com Lôbo *et al.* (2020), o tijolo ecológico ainda é pouco difundido, a título ilustrativo, na Região Metropolitana do Cariri, de 21 profissionais questionados apenas 6 já utilizaram o tijolo ecológico em obras e os outros entrevistados apontaram que as principais dificuldades são encontrar distribuidores, a falta de conhecimento técnico sobre o produto, a não aceitação dos clientes, considerar que aumenta os custos da produção e até mesmo não sabiam da existência do tijolo ecológico

Portanto, analisar as propriedades desses tijolos e compreender o trabalho desse material traz alternativas para uma construção civil ecologicamente sustentável, tendo em vista que contribui para mudar o cenário do possível esgotamento das matérias primas e comprovação de seus benefícios. Além de atender aos objetivos de desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas – ONU, alinhando-se especificamente com os objetivos 9, 11 e 12, da Agenda 2030 que se trata de indústria, inovação e infraestrutura, cidades e comunidades sustentáveis e consumo e produção responsáveis, respectivamente (IPEA, 2018).

Destarte, o presente trabalho propõe analisar as propriedades físicas e mecânicas de tijolos ecológicos de uma fábrica situada na Cidade de Campos Sales-CE, comparando a produção com dois tipos de solos distintos

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido em seis capítulos. O primeiro introduz o tema proposto, apresentando a problemática e, simultaneamente, justificando o objeto de estudo.

Objetivos que norteiam a pesquisa, estão apresentados no segundo capítulo.

Abordando a revisão de literatura do trabalho, o terceiro capítulo abrange os conceitos dos materiais que compõem o tijolo solo-cimento, suas propriedades, bem como as características deste produto e sua importância no quesito sustentabilidade.

A metodologia empregada no trabalho é apresentada no quarto capítulo, apresentando o local, o material de estudo, os ensaios de caracterização dos solos e tijolos, bem como seu processo de produção.

No quinto capítulo os resultados e análises são ponderados, onde os achados da pesquisa são discutidos segundo os experimentos realizados.

Por fim, o sexto capítulo contempla as conclusões do estudo, respondendo as questões norteadoras deste trabalho.

2 OBJETIVOS

No intuito de definir, com clareza, o que o presente estudo se propõe a desenvolver, este capítulo apresenta os objetivos do trabalho.

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as propriedades físicas e mecânicas de tijolos ecológicos produzidos a partir de dois tipos de solos diferentes, em uma fábrica do Município de Campos Sales-CE.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para viabilizar e alcançar o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- caracterização físicas dos solos;
- analisar as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos de acordo com as normas vigentes;
- comparar os resultados obtidos entre os tijolos de solo-cimento com o solo usual da fábrica e outro tipo de solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo apresenta uma breve revisão sobre os conceitos e aspectos técnicos dos materiais utilizados no estudo e registra a evolução das técnicas com o solo-cimento na construção civil.

3.1 SOLO

Para entender as características do tijolo ecológico, torna-se essencial conhecer os materiais que o compõe, logo, neste tópico há considerações sobre o solo, suas propriedades físicas e mecânicas e especificações de quando deve ser utilizado na produção dos tijolos. Pois, como aponta Caneppele (2016), para escolher a técnica adequada de utilização de um determinado tipo de solo, deve-se conhecer sua composição granulométrica, plasticidade, retração, umidade, compactação, entre outras.

3.1.1 *Conceitos e generalidades*

O solo, de forma geral, pode ser definido como o resultado do intemperismo das rochas, através de agentes como água, temperatura, vegetação e vento. A rocha, com o passar do tempo, desintegra-se formando pedregulhos, areias, siltes e, em condições especiais, as argilas. Outra forma de transformar rocha em solo é através da decomposição química, que pode ser por: oxidação, hidratação e carbonatação (CAPUTO, 1988).

Segundo França (2017), é importante o estudo dos perfis do solo, pois através deste consegue-se determinar características relevantes dos tipos de solo para utilização prática desse material, como em solo-cimento.

As camadas do solo são denominadas de horizontes A, B, C e R, um perfil completo do intemperismo nas camadas da crosta terrestre (SILVA; INO, 2001).

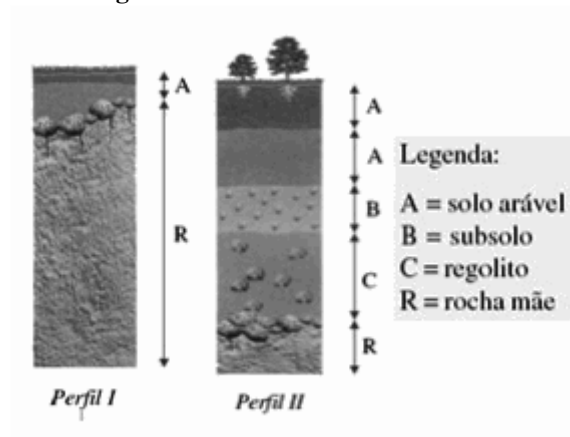
Geralmente de pequena espessura, o horizonte A, é formado por matéria orgânica e rocha alterada. Esta camada pode conter alta porcentagem de húmus, uma matéria orgânica que possui afinidade com a cal livre (CaO) liberada na hidratação do cimento, podendo, assim, influenciar a resistência do material (SILVA; INO, 2001).

O horizonte B é constituído por pouca quantidade de matéria orgânica, predominantemente composto por argila, é um solo com dificuldade de destorroamento (pulverização), podendo ser um grande empecilho na homogeneização da mistura do solo-cimento (MACÊDO, 2004).

Os solos do horizonte C, para Grande (2003) são arenosos e de fácil pulverização, logo, são indicados para aplicação do solo-cimento, mas isso não torna desnecessário a realização de estudos de dosagens antes da utilização, pois, devido a composição mineralógica do solo, pode conter fragmentos frágeis e quebradiços.

E, finalmente, o horizonte R, conforme Silva e Ino (2001), é a “rocha mãe”.

Figura 1- Horizontes do solo



Fonte: Adas, M; Adas, S, 2004

3.1.2 Propriedades do solo

Conforme Pinto (2006), o solo pode ser diferenciado, inicialmente, pelo tamanho de suas partículas, porém, em um solo, geralmente, convivem partículas de diversos tamanhos que não são fáceis de serem identificadas com o seu manuseio quando secas. Quando as argilas estão úmidas, a aglomeração forma uma pasta úmida e assim surge a facilidade de identificar areias e argilas.

A NBR 6502 (ABNT, 1995), que aborda as definições técnicas relativas as rochas e solos, divide suas partículas de acordo com suas dimensões, adotando frações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Limite das frações de solos pelo tamanho dos grãos.

Fração	Limites
Matacão	200 mm a 1 m
Pedra	60 mm a 200 mm
Pedregulho	2 mm a 60 mm
Areia grossa	0,6 mm a 2 mm
Areia média	0,2 mm a 0,6 mm

Fração	Limites
Areia fina	0,06 mm a 0,2 mm
Silte	0,002 mm a 0,06 mm
Argila	Inferiores a 0,002 mm

Fonte: Adaptado da NBR 6502 (ABNT,1995).

Contudo, frequentemente, usa-se a Classificação Unificada (SUCS), elaborada inicialmente pelo Prof. Casagrande, onde ocorre a separação do solo pelo diâmetro de 0,075mm, correspondente à peneira ABNT de nº 200, a peneira mais fina usada nos laboratórios, onde o solo retido nesta peneira é denominado de fração grossa do solo (areia e pedregulho), e o material passante como fração fina, silte e argila (PINTO, 2006).

Para os solos granulares, que ficam retidos na peneira de 0,075 mm, a classificação em areia ou pedregulho dependerá de qual fração for a predominante. Esse tipo de solo pode conter informações secundárias de acordo com sua graduação, podendo ser “bem graduado” com grãos de vários tamanhos e “mal graduado” com predominância de só um diâmetro. No primeiro, as partículas menores preenchem os vazios entre as maiores o que acarreta o seu empacotamento, resultando em uma melhor compressibilidade e maior resistência (PINTO, 2006).

O Coeficiente de Não Uniformidade (CNU) expressa características dos solos granulares, e é a razão entre o diâmetro abaixo do qual se situa 60% em peso das partículas e o diâmetro que corresponde a 10 % na curva granulométrica, então, pode-se considerar que este coeficiente indica a amplitude dos tamanhos dos grãos (CAPUTO, 1988).

De acordo com Pinto (2006), para um pedregulho ser bem graduado precisa ter o CNU maior que 4, já no caso das areias, o CNU tem que ser maior que 6. Além disso, ambos necessitam ter o Coeficiente de Curvatura (CC) entre 1 e 3, este coeficiente consegue identificar descontinuidade ou elevada concentração dos grãos mais grossos no conjunto.

De posse dessas informações, o sistema de classificação SUCS identifica os solos pelo conjunto de duas letras, onde a primeira letra indica o tipo principal do solo e a segunda uma característica complementar. As possibilidades de identificação estão apresentadas na Figura 1, onde as 5 primeiras letras correspondem aos tipos de solo e demais seus complementos.

Figura 2 - Terminologia do Sistema de Classificação Unificada.

G	pedregulho
S	areia
M	silte
C	argila
O	solo orgânico
W	bem graduado
P	mal graduado
H	alta compressibilidade
L	baixa compressibilidade
Pt	turfas

Fonte: Pinto, 2006.

As propriedades mecânicas do solo, de modo geral, se tornam melhores quando os solos são misturados com o cimento e submetidos a processos de compactação. A areia, assim como pedregulhos, é constituída por minerais resistentes ao intemperismo, apresentando um bom comportamento mecânico, logo necessita de poucos teores de cimento para sua estabilização. Já solos mais finos, como a argila, possuem características distintas como maior plasticidade, coesão e lenta absorção de água (GRANDE, 2003).

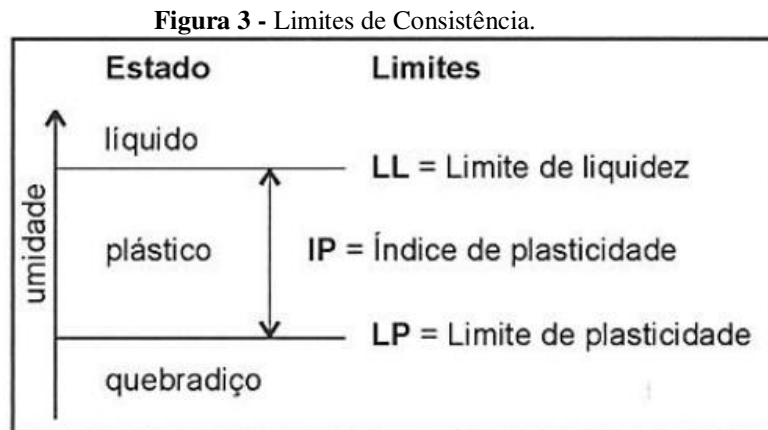
Apesar da areia apresentar um bom comportamento no que tange à mistura de solo-cimento para fabricação de tijolos, é necessário o uso de argila nesta mistura para dar coesão suficiente que permita a conformação e o manuseio dos tijolos após a prensagem.

Com isso, de acordo com estudos realizados pela Fundação de Tecnologia do Estado do Acre – FUNTAC (1999) e a NBR 10833(ABNT, 2012a), que relata os procedimentos da fabricação dos tijolos, o solo mais adequado para produção de tijolos deve possuir as seguintes características:

- passar 100% pela peneira ABNT de n° 4 de abertura 4,2 mm;
- passar, entre 10% e 50% pela peneira ABNT n° 200 de abertura 0,075 mm;
- possuir limite de liquidez menor do que 45% e índice de plasticidade menor que 18%.

Os dois últimos fatores servem para descrever os estados físicos do solo, podendo explicar as variações de volume por absorção de água ligados a consistência do solo. Caputo (1988) explica que quando a umidade do solo é elevada ele pode se apresentar como um fluido denso, no estado líquido, se ele perde umidade até uma certa porcentagem (limite de liquidez), desapoderando-se da capacidade de fluir, sendo moldável e conservar sua forma, entra no

estado plástico. À medida que a água evapora e o solo se desmancha ao ser trabalhado, o solo perde sua plasticidade, ele entra no estado semissólido (limite de plasticidade). Já o índice de plasticidade é o intervalo de umidade que torna o solo plástico, obtido pela diferença entre os dois limites apresentados acima. A Figura 2 apresenta esses estados.



Fonte: Pinto, 2006.

Uma das formas de se encontrar a umidade ótima do solo, é por meio do ensaio de compactação, um processo que aumenta a massa específica do solo através da redução do seu volume, fazendo com que o solo ganhe mais resistência e trabalhabilidade (CANEPPELE, 2016).

3.2 O SOLO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção com terra é apontada como uma das primeiras formas de construção reconhecidas pela humanidade, um avanço nas construções de abrigo, antes só eram utilizados, basicamente, pedras e madeiras. Ainda hoje, são várias as técnicas construtivas em terra usadas em todo o mundo, como por exemplo: taipa de pilão, taipa de mão (ou pau-a-pique), terra ensacada, adobe ou BTC, bloco de terra comprimida, (COSTA *et al.*, 2014).

Além disso, consoante Dantas (2020), o solo pode ser usado de maneira natural, mas também passado por procedimentos, como a queima que gera produtos cerâmicos na qual devem ser usados como matéria-prima, preferencialmente, argila arenosa rica em componentes sílico-aluminosos que serão transformados na alta temperatura.

No entanto, como exposto, as propriedades do solo são complexas e heterogêneas, logo se faz necessário uma análise criteriosa para o emprego deste como material de construção.

3.2.1 Solo-cimento

No intuito de melhorar as propriedades dos solos, existem técnicas de estabilização que, dependendo do material, podem promover, segundo Grande (2003), a redução e preenchimento dos vazios que não podem ser eliminados, influenciando, dessa forma, as características de permeabilidade do solo, podem também melhorar a aderência entre os grãos, deixando-o com maior compacidade ou densidade, influenciando, assim, a sua resistência mecânica.

Nessa esteira, Caneppele (2016) apresenta que o cimento é um estabilizador do solo que, juntamente com a água, provoca alterações nele gerando um novo produto com características e propriedades necessárias para utilização na construção civil. Essa mistura pode formar dois materiais: solo melhorado por cimento (material menos sensível à expansão por presença de água) e o material denominado solo-cimento (além de ser menos susceptível à expansão, possui alta rigidez). Esses materiais se diferenciam pela quantidade de cimento e água adicionados (SANBONSUGE *et al* 2017).

Com efeito, o solo-cimento pode ser utilizado de diversas maneiras na construção civil, as formas mais comuns são em fundações, pisos e contrapisos, em paredes maciças e em tijolos ou blocos. Mas para um bom desempenho, a mistura deve conter um solo adequado com características já mencionadas no texto. Campos (2012), apresenta como solo ideal para o solo-cimento, a areia argilosa, com maior quantidade de areia do que de argila, pois uma grande quantidade de argila requer maior quantidade de cimento, e, no caso de tijolos, podem causar muitas fissuras, entretanto, para solos muito argilosos pode haver correções adicionando areia.

Contudo, a argila se faz necessária na mistura devido suas propriedades aglomerantes, também é o componente que traz a resistência inicial do tijolo, a trabalhabilidade da mistura antes da prensagem e a coesão para retirada do tijolo da forma (BETSUYAKU, 2015).

3.3 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é definido pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP como “Um pó fino (mistura de clínquer com gesso), com propriedades ligantes e aglomerantes que endurecem sob ação da água” (ABCP,2004). O clínquer é o resultado da queima de calcário, argilas e minério de ferro. A adição de gipsita (gesso) tem função de retardar o início do endurecimento do cimento, tornando viável sua trabalhabilidade.

O clínquer é composto por uma variedade de substâncias onde as principais são: silicato tricálcico, ou alita (C_3S), silicato dicálcico, ou belita (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A), ferro

aluminato tetracálcico, ou ferrita(C_4AF). A quantidade de cada um destes componentes interfere no comportamento do cimento em concretos, argamassas e também na mistura solo-cimento, que, como afirma Grande (2003), quanto maior for a porcentagem de alita no cimento, menor a retração do solo-cimento, já se houver uma maior quantidade de aluminato tricálcico a retração aumenta, ela também aumenta com o crescimento da área específica do cimento.

Segundo Makusa (2013), o processo de hidratação do cimento é a mistura com água e outros elementos resultando em fenômenos de endurecimento, depois de hidratado o cimento envolve os grãos de solo como uma cola, sem mudar sua estrutura. A autora relata que a reação do cimento não depende dos minerais do solo, o que torna o cimento um estabilizador de diversos tipos de solo.

Segundo a NBR 10833 (ABNT, 2012a), pode-se utilizar qualquer tipo de cimento desde que atendam aos requisitos das suas respectivas normas técnicas. Sobre a quantidade de cimento, o Boletim Técnico - BT n° 111 (ABCP, 2000), define um limite de 10% na mistura, desde que o solo atenda às exigências normativas, entre 7% e 8% dependendo da quantidade de tijolos produzidos.

3.4 TIJOLO SOLO-CIMENTO

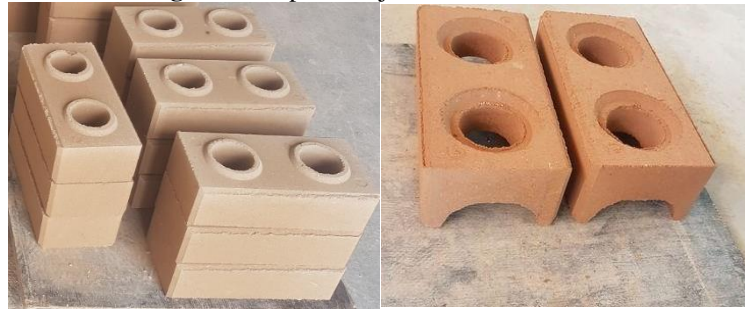
Esta seção é dedicada à exposição do objeto de estudo, sua atuação na construção civil e sua importância perante a esse mercado, bem como suas propriedades e características que precisam ser analisadas para que possa ser utilizado com segurança e atendendo as normas vigentes.

3.4.1 *Conceitos e generalidades*

O tijolo solo-cimento é um material cimentício composto por uma mistura compactada e endurecida de solo, cimento e água, em proporções adequadas. O resultado desse produto deve respeitar os requisitos técnicos apresentados nas NBR's 8491 (ABNT, 2012b) e 10834 (ABNT, 2012c) em que esta apresenta os requisitos para blocos e aqueles requisitos de ensaio para tijolos.

Esse tipo de tijolo faz parte do sistema de alvenaria modular, de encaixe, que dispensa revestimento e diminui o uso de argamassa de assentamento, pois pode ser fabricado ele inteiro, meio tijolo ou canaleta, como mostrado na Figura 3. E, também, por não precisar da queima de óleo combustível ou madeira para sua produção, barateia tanto seu processo construtivo como seu uso na construção civil (PIRES, 2004).

Figura 4 - Tipos de tijolos de solo-cimento.



Autor: Autoria própria, 2022.

Quanto ao seu uso, Alves (2016), comenta que devido esse tipo de tijolo possuir dois furos internos, apresenta vantagens em comparação a outros tipos de alvenaria, pois se torna possível embutir a rede elétrica e hidráulica sem cortes na parede depois de pronta, também promove mais segurança estrutural podendo passar aço pelos furos, servindo até como pilares de baixa resistência, o que tira a necessidade da produção de fôrmas de madeira para estes elementos e para vergas, contravergas e cintas, visto que suas canaletas foram projetadas para esta função. Ademais, esses furos proporcionam maior isolamento térmico e acústico.

Contrapondo este tijolo modular com outros tipos de alvenaria, pode-se considerá-lo como um aperfeiçoamento dos tijolos que são, basicamente, de solo e água, como o adobe e o Bloco de Terra Comprimida - BTC, o primeiro é composto por solo argiloso, fibras vegetais e águas, e o segundo é prensado, mas sem aglomerantes. Em relação ao adobe, o tijolo de solo-cimento utiliza uma menor quantidade de água na sua produção, o que promove um baixo índice de retração e, diferente dos dois tipos citados, permite a estocagem imediata, além de ter maior resistência físico-mecânica (ALVES 2016).

Já no que tange ao aspecto econômico, o uso deste tijolo traz uma economia de 20% a 40% para obra em comparação a alvenaria convencional, visto que 1/3 do material utilizado em alvenaria convencional vai para o lixo (GUIMARÃES, 2017).

Outro grande salto em relação aos tijolos ou blocos cerâmicos é sua não necessidade de queima, somente da prensagem, evitando a geração de poluentes na atmosfera e, sem contar que a extração desordenada de madeira também gera impactos ambientais negativos, como a escassez de recursos naturais (FRANÇA, 2016).

Todavia, existem desvantagem no uso do tijolo modular de solo-cimento em relação a alvenaria convencional, devido a cultura de utilização do bloco cerâmico no Brasil, ainda não se tem uma boa comercialização, encarecendo este tipo de alvenarias. Ademais, vale destacar que o bloco cerâmico possui uma densidade bem menor, de acordo com experimentos

realizados por Alves (2016) o tijolo solo-cimento apresentou densidade três vezes maior que o tijolo cerâmico, dificultando seu uso em edificações de muitos pavimentos.

3.4.2 Propriedades do tijolo solo-cimento

Os tijolos de solo-cimento se diferenciam dos blocos de solo-cimento, pois sua altura deve ser menor que sua largura. De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012b), a média dos valores de resistência à compressão não deve ser menor que 2 MPa (20 kgf/cm²), nem valor individual menor que 1,7 MPa (17 kgf/cm²). No caso de absorção de água a média, os valores não devem ultrapassar os 20%, e os valores individuais devem ser menores que 22%. Para os dois testes a idade mínima dos tijolos deve ser de 7 dias.

A resistência à compressão do produto é usada como parâmetro para detalhar a dosagem dos materiais, a pega relativa e a velocidade de hidratação do cimento (LOPES, 2002). Os vazios entre as partículas de solo que são preenchidos pelo agente aglomerante (cimento) têm função direta na resistência final do produto, isso comprova que os solos arenosos são os mais indicados para a mistura, pois são materiais inertes e possuem grãos de areia grossa e pedregulhos, fazendo com que o cimento possa aglomerar nos grãos menores em quantidade maiores. Ademais, utilizando os mesmos teores de cimento de solos arenosos para solos argilosos, encontram-se valores baixos de resistência à compressão (PEDRAL, 2020).

No que concerne aos fatores que condicionam a qualidade do produto, pode-se citar: o tipo de solo, teor de cimento, a compactação, além da metodologia usada para produzir os tijolos como a preparação do solo (destorroamento e peneiramento), a preparação da mistura entre solo, cimento e a água com intenção de homogeneizar e atingir a umidade desejada e por fim, a moldagem, cura e armazenamento (ABCP, 2004).

3.5 SUSTENTABILIDADE

O tijolo solo-cimento também é conhecido como tijolo ecológico, pois segundo Silva *et al.* (2021) um de seus objetivos é amenizar a degradação do meio ambiente através da extração de matéria prima sem alterar suas as propriedades. Conforme Dantas (2020), esta técnica representa uma alternativa de desenvolvimento sustentável devido ao baixo consumo de energia para extração de matéria-prima e produção e a não necessidade de queima em fornalhas, e, assim, não liberando CO₂ na atmosfera.

Outro aspecto é a possibilidade de racionalizar o processo construtivo, pois se houver quebra de tijolos, eles podem ser reaproveitados, moídos e prensados novamente. Os

equipamentos para a fabricação são simples, ou seja, não necessita de mão de obra especializada, o que também torna possível a produção no local da obra reduzindo gastos com transporte e o tornando ainda mais sustentável (SEGANTINI; WADA, 2011).

Existem vários estudos para viabilizar a adição de materiais reciclados na mistura do solo-cimento, com intuito de reduzir o custo dos tijolos, desprover dos recursos naturais e preservar o meio ambiente. É possível substituir ou diminuir a porcentagem do solo com intuito de corrigir sua granulometria, e, também, do cimento, com materiais que contenham atividades pozolânicas (DANTAS, 2020).

4 METODOLOGIA

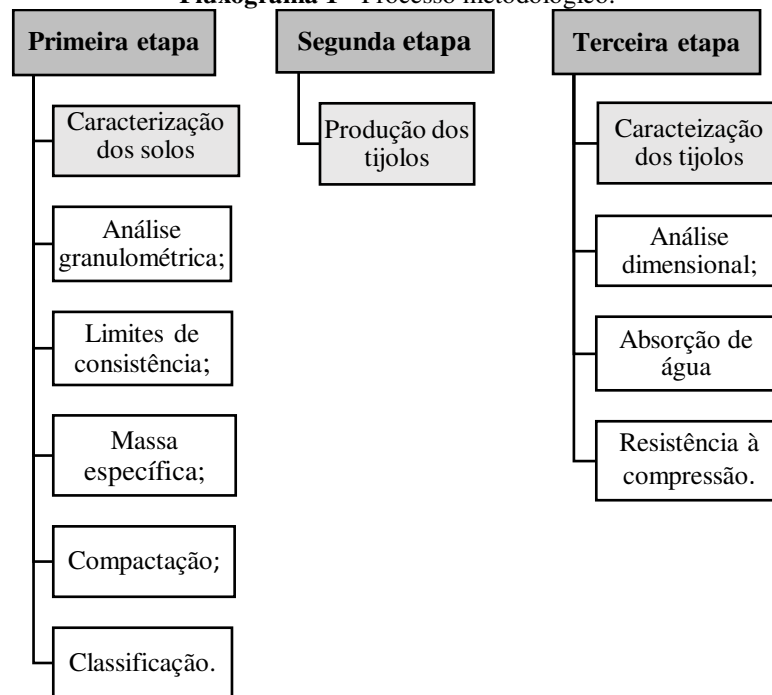
Com o propósito de alcançar os resultados da pesquisa é necessário definir e seguir um percurso metodológico. O presente capítulo busca apresentar detalhadamente esta sistematização.

Quanto a abordagem o estudo proposto é de caráter quantitativo, pois em conformidade com Santos *et al.* (2014) enfatiza os indicadores numéricos e os percentuais sobre o objeto estudado. Neste caso, será por intermédio de procedimentos como análises laboratoriais, tabelas, dentre outros. No que concerne à natureza, o estudo é de cunho aplicado, pois busca produzir conhecimentos que possam, de fato, serem aplicados (OLIVEIRA, 2019).

É uma pesquisa exploratória, segundo os objetivos, visando um acesso mais próximo com o problema investigado e oferecendo mais informações sobre este tipo de objeto estudado (PIOVESAN; TEMPORINI, 1995).

De acordo com os procedimentos trata-se de um estudo de caso e uma pesquisa experimental. Em concordância com Branski *et al.* (2010), o primeiro, coleta informações de eventos reais, com objetivo de explicar, explorar e descrever fenômenos. Neste caso, serão examinadas variáveis que influenciam o comportamento dos tijolos de modo intensivo e sistemático. O segundo, determina um objeto de estudo e analisa variáveis que possam causar efeitos no objeto (JUNIOR, 2018).

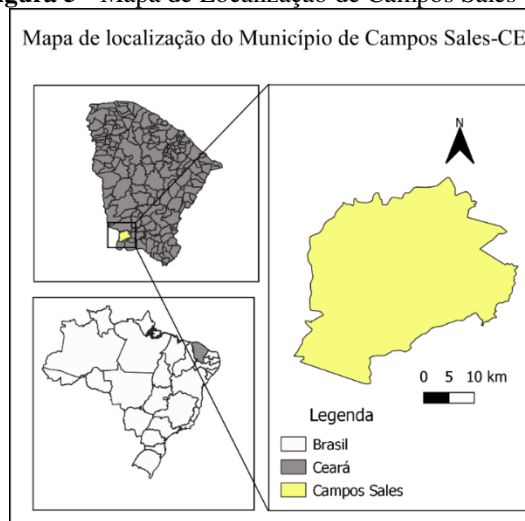
Os experimentos deste trabalho foram realizados nos laboratórios de Geotecnia e Materiais de Construção e Técnicas Construtivas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB *Campus* Cajazeiras, segundo as normas vigentes. As etapas metodológicas estão apresentadas no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Processo metodológico.

Fonte: Autoria Própria, 2022.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A fábrica de tijolo ecológico é localizada no Município de Campos Sales-CE que fica a 510 km da capital do estado. O município faz parte da região de planejamento do Cariri, localizada na microrregião da Chapada do Araripe e na mesorregião do Sul Cearense como retrata a Figura 4. Sua população estimada em 2021 foi de 27.513 habitantes (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021).

Figura 5 - Mapa de Localização de Campos Sales-CE.

Fonte: Autoria Própria, 2022.

No que tange à economia, a referida cidade possui comércio varejista, sendo polo para as cidades adjacentes, destacando-se, nesse meio, as empresas voltadas para a construção civil como indústrias de blocos cerâmicos, madeireiras, metalúrgicas, etc. O município conta também com uma fábrica de tijolo ecológico, objeto de estudo, que produz entre 800 e 1000 tijolos por dia.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Os solos, utilizados na fabricação dos tijolos, foram extraídos em jazidas do Município de Campos Sales-CE. Onde o Solo “A” (Figura 5a) é o utilizado pela empresa e o solo “B”, (Figura 5b) é o usado para comparação neste trabalho. As amostras utilizadas nos ensaios foram preparadas de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016a) que trata da preparação de amostras de solos para ensaios de compactação e caracterização.

Figura 6 - Jazidas: a) Solo “A” b) Solo “B”.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Os ensaios apresentados no Quadro 1, são utilizados para a caracterização física do solo, uma vez que, por meio deles se conhece a sua natureza e propriedades mecânicas, sendo possível assim, avaliar se eles atendem aos requisitos da NBR 8491 (ABNT, 2012b).

Quadro 1 - Normas para caracterização do solo.

Propriedades	Norma
Análise granulométrica	ABNT NBR 7181/2018
Limite de liquidez	ABNT NBR 6459/2016
Limite de plasticidade	ABNT NBR 7180/2016
Massa específica	ABNT NBR 6458/2016
Compactação	ABNT NBR 7182/2016

Fonte: Autoria própria, 2022.

Vale destacar que, todas as amostras dos ensaios mencionados foram preparadas de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016a) que aborda a quantidade e modo de preparação do solo para cada ensaio.

4.2.1 *Análise granulométrica*

O ensaio para caracterização granulométrica iniciou-se passando a amostra de solo pela peneira de 2,0 mm, o material retido foi lavado e seco em estufa para realização do peneiramento grosso e, com o material passante, foi realizada a sedimentação e peneiramento fino.

O peneiramento grosso foi realizado passando o material nas peneiras de 50 mm, 8 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm e 4,8 mm com auxílio de um agitador mecânico (Figura 6), sendo anotadas as massas retidas em cada peneira.

Figura 7 - Agitação mecânica da amostra.

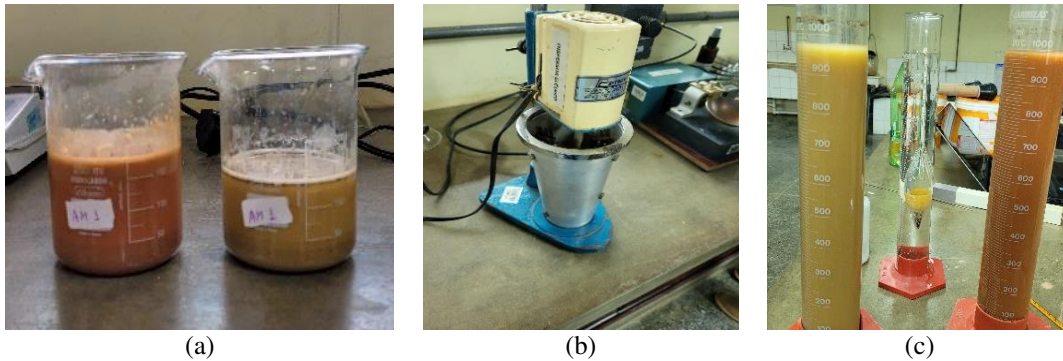


Fonte: Autoria própria, 2022.

Já no ensaio de sedimentação, o material ficou em repouso por 24 h numa solução de hexametáfosfato de sódio (Figura 7a). A mistura foi submetida à ação de um aparelho dispersor durante 15 min (Figura 7b), logo após, transferida para uma proveta com auxílio de água destilada até atingir a marca de 1 000 cm³. A proveta foi agitada para manter as partículas em suspensão e assim foi realizada as leituras do densímetro e termômetro aos tempos de 0,5 min, 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min e 30 min e 1 h, 2 h, 4 h, 8 h e 24 h (Figuras 7c). Com a conclusão das leituras, o material foi lavado na peneira de 0,075 mm seca em estufa e tomada

para o peneiramento fino, no qual passou pelas peneiras de aberturas de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0,075 mm, anotando-se o material retido em cada peneira.

Figura 8 - Etapas do ensaio de sedimentação: a) Repouso dos solos, b) Agitação no dispersor, c) Provetas com as misturas e com o densímetro

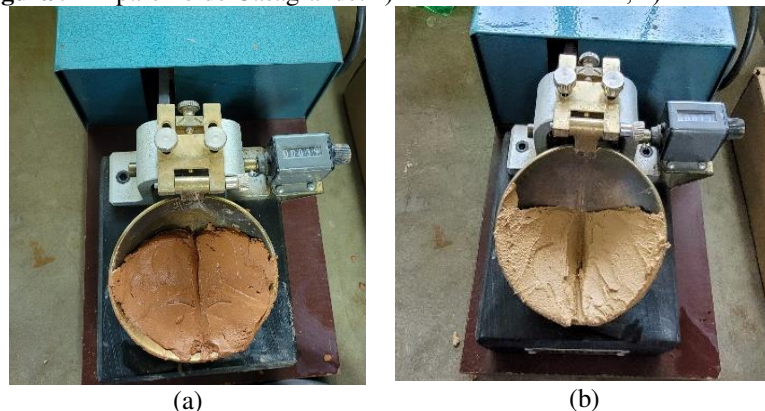


Fonte: Autoria própria, 2022.

4.2.2 Limites de consistência – Liquidez e Plasticidade

Para a realização do ensaio de limite de liquidez, foi utilizado uma amostra com secagem prévia e, com auxílio de água destilada, foi formada uma pasta homogênea para ser colocada no aparelho de Casagrande, na Figura 8a é o solo “A” e na Figura 8b é o solo “B”, na qual foram determinados 5 pontos, e, em cada determinação, transferiu-se uma pequena parte para determinação da umidade. O limite de liquidez foi encontrado por meio de um gráfico contendo o número de golpes e os teores de umidade, onde seu resultado é o teor de umidade que corresponde ao total de 25 golpes.

Figura 9 - Aparelho de Casagrande: a) Amostra do solo “A”, b) Amostra do solo “B”.



Fonte: Autoria própria, 2022.

O limite de plasticidade foi efetuado formando uma pasta homogênea na qual 10 g foram retiradas para moldagem de um cilindro em uma placa de vidro, onde este só deve fissurar quando atingir a espessura de 3 mm e comprimento na ordem de 100 mm do gabarito, na Figura

9a é o solo “A” e na Figura 9b é o solo “B”. Depois que este resultado foi atingido, colocou-se um fragmento desse cilindro em uma cápsula para encontrar seu teor de umidade. O ensaio foi realizado em 3 determinações.

Figura 10 - Cilindros do limite de plasticidade a) Solo “A”, b) Solo “B”

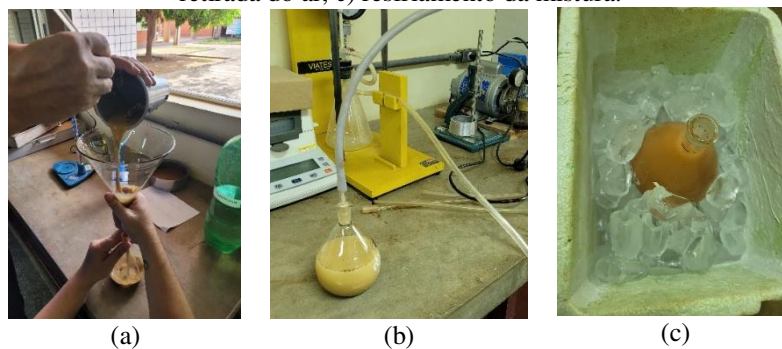


Fonte: Autoria própria, 2022.

4.2.3 Determinação da massa específica

Esta propriedade foi caracterizada utilizando-se 250 g de cada solo, passante na peneira de 4,8 mm, na qual cerca de 60 g (M_1) dessa amostra foi pesada e deixada em repouso por 24h com água destilada. Posteriormente, o conteúdo foi vertido no copo dispersor, sendo agitado por 15 min. Com auxílio do funil, a mistura foi passada para o picnômetro e retirado o ar existente na suspensão com uma bomba de vácuo, Figuras 10a e 10b. O conjunto foi resfriado, e assim obtidas 5 determinações de massa (M_2) para 5 temperaturas diferentes, Figura 10c.

Figura 11 - Etapas do ensaio de massa específica: a) Passagem da mistura para o picnômetro, b) processo de retirada do ar, c) resfriamento da mistura.



Fonte: Autoria própria, 2022.

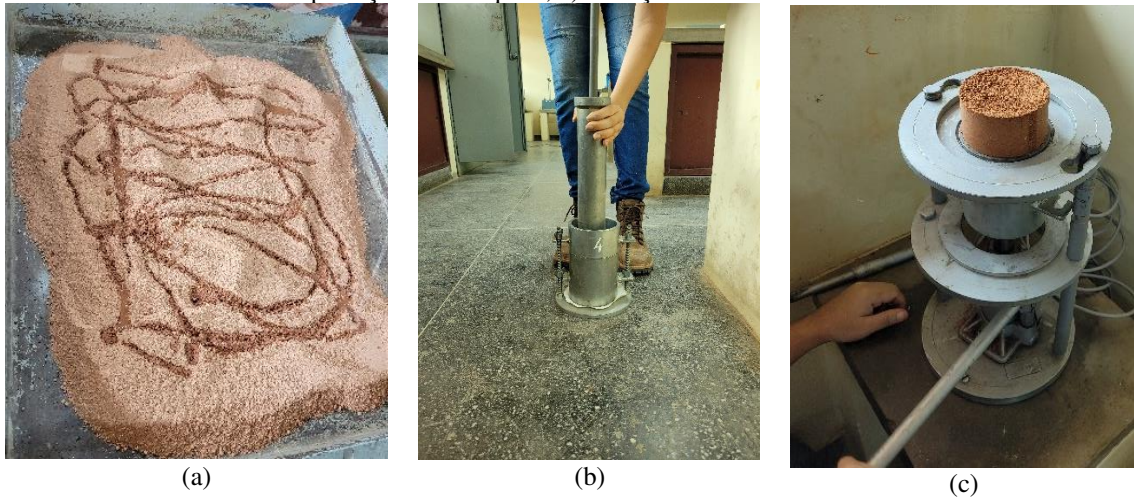
Após estes processos, calcula-se a massa específica usando a Equação 1.

$$\rho_s = \frac{M_1 \times 100 / (100 + w)}{\left[M_1 \times \frac{100}{100 + w} \right] + M_3 - M_2} \times \rho_w \quad (1)$$

4.2.4 Compactação dos solos

O experimento foi executado colocando a amostra numa bandeja metálica, adicionando água destilada e revolvendo para obtenção de uma umidade uniforme na mistura, Figura 11a, com isso o solo foi compactado num molde cilíndrico, de diâmetro 10 cm x 187,3cm de altura, com ajuda de um soquete, com 3 camadas iguais e 26 de golpes, Figura 11b. O conjunto foi pesado e, com auxílio do extrator, retirado o solo do molde, tomando-se uma parte para determinação do teor de umidade, Figura 11c. Este processo se repetiu por mais 4 vezes para obtenção dos resultados.

Figura 12 - Etapas do ensaio de compactação do solo: a) uniformização da umidade do solo, b) processo de compactação com soquete, c) remoção do solo do molde.



Fonte: Autoria própria, 2022.

4.2.5 Classificação

A Classificação do solo foi realizada pelo Sistema Unificado (SUCS), elaborado originalmente pelo professor Arthur Casagrande, baseado na distribuição granulométrica dos solos (PINTO, 2006).

Inicialmente, foi analisado se a maioria da amostra ficou retida ou passou na peneira de abertura de 0,075 mm. Caso o teor de material retido seja maior que 50% o solo é considerado granular (grosso). Nesse caso, para analisar se sua granulação é variada, foi realizado o cálculo para encontrar o Coeficiente de Não Uniformidade - CNU, através da Equação 2.

$$CNU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

E para entender a curva granulométrica e mostrar se existem descontinuidades ou concentrações de grãos com diâmetros próximos, foi calculado o Coeficiente de Curvatura –

CC, pela Equação 3.

$$CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (3)$$

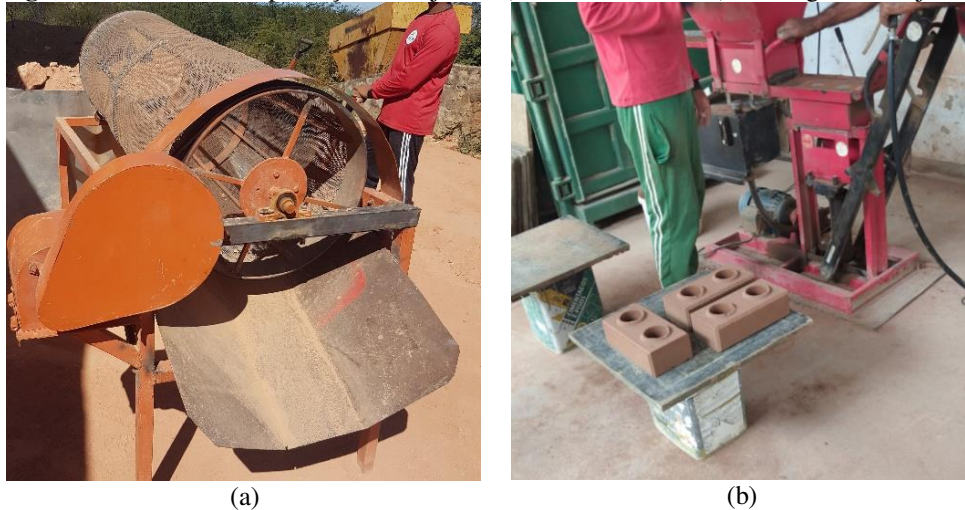
4.3 CIMENTO PORTLAND

Foi utilizado o cimento Portland composto com material carbonático (CP II F - 32), as propriedades e os limites da composição do cimento atendem as exigências da norma NBR 16697 (ABNT, 2018), que trata dos requisitos de cada tipo de cimento e, assim, estando apto para produção de tijolos ecológicos.

4.4 PRODUÇÃO DOS TIJOLOS

O processo produtivo dos tijolos solo-cimento começa com a chegada dos solos na fábrica por meio de caminhões e segue para um galpão, a etapa seguinte é o peneiramento deste material em uma peneira rotativa mecânica com abertura de 4,8 mm (Figura 12a). Os materiais que o compõe são medidos, por um recipiente de 5 litros, e misturados de forma manual (Figura 12b), logo após colocado na prensa semimanual, passando pelo processo de cura por 7 dias e armazenados em paletes.

Figura 13 - Processo de produção dos tijolos: a) Peneira rotativa, b) Prensagem dos tijolos.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

4.5 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO

O traço do solo “A” já definido pela empresa é de 1:1,5:6 (cimento, areia e solo), onde a quantidade de cimento é fixada em 10 kg e a partir dele é determinada a proporção dos demais materiais. Para o solo “B” buscou-se obter a mesma dosagem de materiais, uma vez que se trata

de um estudo comparativo, e devem estar sob as mesmas condições. As proporções dos materiais estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Traços dos solos “A” e “B”.

Solo A	Quantidade	Solo B	Quantidade
Cimento	10 kg	Cimento	10 kg
Areia	15,2 kg	Areia	15,2 kg
Solo	59 kg	Solo	60,5 kg
Água	3,5 L	Água	3,5 L

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os teores de umidade em relação às massas das misturas dos solos A e B, ficaram, respectivamente, 4,2% e 4,1%.

4.6 CARACTERIZAÇÃO DOS TIJOLOS

Os experimentos para estudo dos tijolos foram realizados nas idades de 7 e 14 dias, já que estas referem-se à idade mínima para seu uso e a idade mínima para realização de ensaios, respectivamente, conforme os requisitos da NBR 8491 (ABNT, 2012b). A quantidade das amostras está representada no Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de amostras.

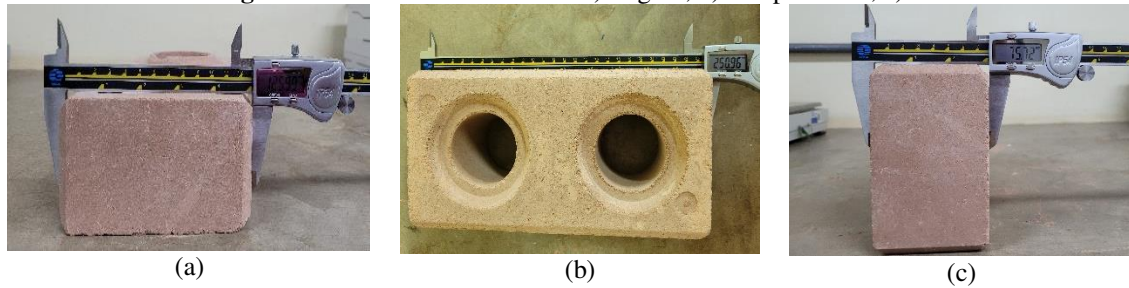
Propriedade	Quantidade de amostra
Análise dimensional	10
Absorção de água	3
Resistência à compressão	7

Fonte: Autoria própria, 2022.

As propriedades físicas e mecânicas mencionadas são caracterizadas seguindo a NBR 8492 (ABNT, 2012d) que preconiza os respectivos métodos de ensaio.

A análise dimensional foi realizada com auxílio de um paquímetro realizando 3 determinações em cada dimensão, onde o resultado é a média aritmética de tais. A Figura 13 exemplifica as 3 determinações da largura do tijolo, sendo realizado o mesmo procedimento para as demais dimensões, comprimento e altura.

Figura 14 - Análise dimensional: a) largura, b) comprimento, c) altura.

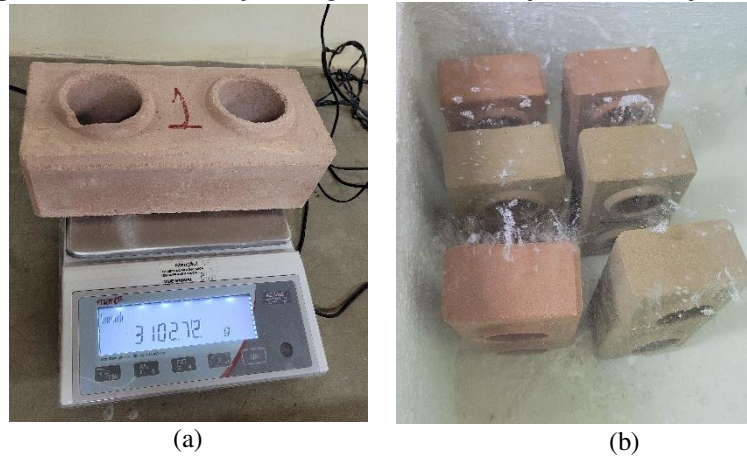


Fonte: Autoria própria, 2022.

O ensaio de absorção de água foi executado utilizando 3 tijolos de cada tipo, o procedimento inicia-se colocando-os em estufa por 24h e, assim, para obter a massa seca das amostras (m_1), Figura 14a. O próximo passo seguiu-se com imersão dos tijolos em tanque por mais 24h, para em seguida serem pesados novamente (Figura 14b), para encontrar a massa do corpo de prova saturado (m_2). Com estes dados, calcula-se a absorção de água (A) conforme Equação 4.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (4)$$

Figura 15 - Etapas do ensaio de absorção de água: a) Massa do tijolo seco, b) Tijolos imersos em água.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Com os restantes dos 7 tijolos, realizou-se o ensaio de resistência à compressão simples. Para isso, eles foram cortados ao meio, onde suas metades foram coladas e regularizadas (capeadas) por uma pasta de cimento com traço de 1:2,67 (cimento e água), deixada em repouso 30 min antes de sua aplicação, Figura 15a. Em seguida, os corpos de prova ficaram por um período de 12 horas para endurecimento da pasta. Passado esse prazo, as amostras foram mergulhadas em um tanque por aproximadamente 6 h, para posterior rompimento, Figuras 15b e 15c. A tensão foi obtida dividindo a carga de ruptura (F) pela área da seção transversal do

corpo de prova (S), de acordo com a Equação 5, onde o resultado registrado foi obtido pela média aritmética das sete amostras.

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (5)$$

Figura 16 - Etapas do ensaio de resistência à compressão: a) Tijolos capeados, b) Tijolos imersos na água, c) Ruptura do corpo de prova.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria própria, 2022.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

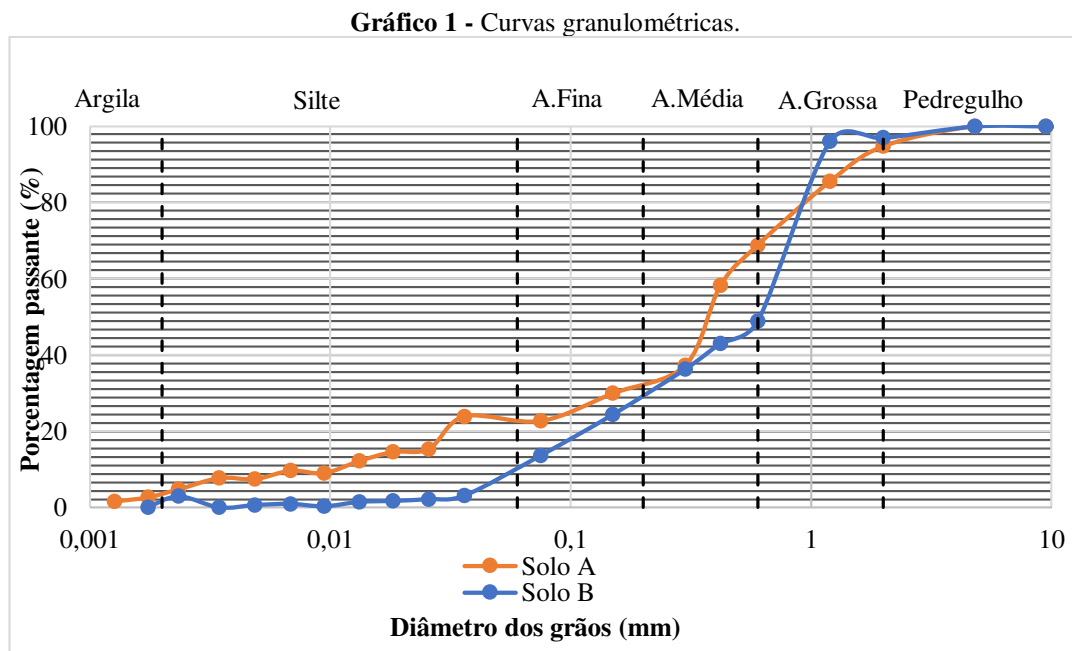
Contendo os resultados dos processos experimentais realizados, este capítulo detém-se as suas respectivas análises e discussões referentes às características de cada solo estudado, bem como os desempenhos físico-mecânicos dos tijolos solo-cimento.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Nesta seção estão apresentados e discutidos os valores dos ensaios realizados em relação as propriedades físicas de cada solo, bem como os parâmetros de classificação.

5.3.1 Análise granulométrica

A partir do ensaio granulométrico por peneiramento e sedimentação, foi determinada a distribuição dos diâmetros de grãos e suas respectivas porcentagens de solo em cada faixa específica de tamanho. O Gráfico 1, apresenta a curva granulométrica dos solos analisados.



Fonte: Autoria própria, 2022.

O solo “A” possui 22,7% das amostras passando na peneira de abertura 0,075 mm, e o solo “B” 13,4%, com isso os dois solos atendem a NBR 10833 (ABNT, 2012a), que especifica que para a fabricação dos tijolos ecológicos o solo deve conter uma porcentagem de 10% a 50% de amostragem passante na referida peneira. Observa-se também que, o solo “A” possui

aproximadamente o dobro de solos finos do que o solo “B”, e isto já os diferencia bastante no que tange a sua resistência e absorção de água.

As amostras passantes na peneira mencionada acima são classificadas como solos finos (argila e silte) (PINTO, 2006). O solo A possui 22,7% de silte e 0,7% de argila, já o solo B possui 13,6% e 1,1% de argila. Mostrando o déficit de argila nestes solos, visto que segundo a Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento as quantidades, aproximadamente, devem ser de 25% de argila, 25% de silte e de 50% de areia. (IEP, 2016)

As amostras retidas na peneira de 0,075 mm, em concordância com Pinto (2006), são classificadas como solos granulares (areia e pedregulho). Com esse ensaio, temos que o solo A possui 35% de areia fina, 36,3% de areia média e 5,3% de areia grossa. E o solo B, contém 24,9% de areia fina, 52,8% de areia média e 3% de areia grossa.

5.3.2 Limites de consistência

Os dados obtidos nos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Limites de Consistência e Índice de Plasticidade.

Parâmetro	Solo A	Solo B	ABNT NBR 10833/2012
Limite de Liquidez (LL)	30%	18%	Máximo 45%
Limite de Plasticidade (LP)	28%	16%	-
Índice de Plasticidade (IP)	2%	2%	Máximo 18%

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os resultados comprovam que os solos “A” e “B” possuem o mesmo Índice de Plasticidade – IP, 2%, atendendo às especificações da NBR 10833 (ABNT, 2012a). Porém é um valor muito baixo para esse parâmetro, mostrando que as duas amostras são fracamente plásticas, possuindo assim, pouca concentração de argilas, já que de acordo com Caputo (1988) a plasticidade é uma característica intrínseca de solos argilosos.

Esse fato é comprovado com a análise granulométrica realizada, onde mostra que os dois tipos de solos possuem menos de 1% de argila.

5.3.3 *Massa específica*

Mais um dos índices físicos determinados sobre os solos estudados foi a massa específica dos grãos, que estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Massa específica dos grãos.

Tipo	Massa específica dos grãos (g/cm³)
Solo A	2,45
Solo B	2,46

Fonte: Autoria própria, 2022.

Respectivamente, os solos “A” e solo “B” possuem massa específica de 2,45 g/cm³ e 2,46 g/cm³. Este índice físico varia entre 2,4 g/cm³ e 3,0 g/cm³ e, conforme Pinto (2006), os valores mais próximos do último dado mencionado, são encontrados nas argilas, o que fortalece o indício de que os solos estudados são pouco plásticos, já que não se aproximam do parâmetro citado pelo autor. Os resultados encontrados neste ensaio servem para calcular outros parâmetros como, por exemplo, o ensaio de sedimentação para encontrar a granulometria dos solos finos.

5.3.4 *Compactação*

No intuito de analisar o comportamento dos solos com relação às ações de compactação com e o teor de umidade acrescido a eles, realizou-se tal ensaio, podendo mensurar a umidade ótima e a densidade máxima seca dos mesmos. A Tabela 6 apresenta estes valores.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de compactação.

Parâmetro	Solo A	Solo B
Massa específica seca máxima (g/cm ³)	1,73	2,04
Teor de Umidade Ótimo (%)	15,0	6,30

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os valores apresentados mostram, assim como o ensaio de granulometria, que o solo “A” possui uma maior quantidade de solos finos em comparação com o solo “B”, aproximadamente o dobro, já que possuem teores de umidade ótima de 15% e 6,30%, respectivamente, na mesma proporção. O que está em conformidade com o que diz Grande (2003), que relata que quanto maior a quantidade de solos finos em uma amostra, mais elevados serão os teores de água para atingir a umidade ótima, devido à maior área superficial do solo. Isso se torna importante no que concerna à produção de tijolos ecológicos, pois quanto maior a

área de superfície dos grãos, maior será a capacidade das partículas se manterem unidas (BRAIDA *et al*, 2006).

5.3.5 Classificação

Baseado na análise granulométrica, foi realizada a classificação do solo pelo método da Classificação Unificada, a Tabela 7, mostra os parâmetros e seus valores correspondentes necessários para esta determinação.

Tabela 7 - Classificação dos solos.

Parâmetros Classificatórios	Solo A	Solo B	Especificações
% Retida #0,075mm	77,3	86,4	%Retida >50
%Passante #0,075mm	22,7	13,4	%Passante >12
CNU	40,9	5,4	CNU > 15 5 < CNU < 15
CC	10,6	0,7	CC < 1 ou CC >3

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os dois solos possuem mais de 50% da amostra retida na peneira ABNT de nº 200 com abertura de 0,075 cm, e assim, de acordo com a classificação unificada, o solo é considerado de granulação grosseira, e como não há porcentagem de pedregulho, o solo é classificado como areia (**S**). Como os solos possuem mais de 12% de solos finos sua nomenclatura precisa vir com a especificação desta porcentagem considerável para característica do solo, de acordo com a análise granulométrica a porcentagem de silte é maior que a de argila para os dois casos, logo, sua classificação secundária é como silte (**M**).

Neste caso, os dois materiais são classificados como areias siltosas (mistura de areia e silte), o solo “A” é desuniforme e mal graduado (P) por possuir, respectivamente, CNU maior que 15 e CC é maior que 3. Já o Solo “B” tem uniformidade média, com CNU entre 5 e 15, e é mal graduado (P) com CC menor que 1. O Quadro 2 apresenta a classificação dos solos segundo suas características.

Quadro 2 - Terminologia dos solos de acordo com a Classificação Unificada.

Tipo	Terminologia	Sigla
Solo A	Areia siltosa, mal graduada	SM-P
Solo B	Areia siltosa, mal graduada	SM-P

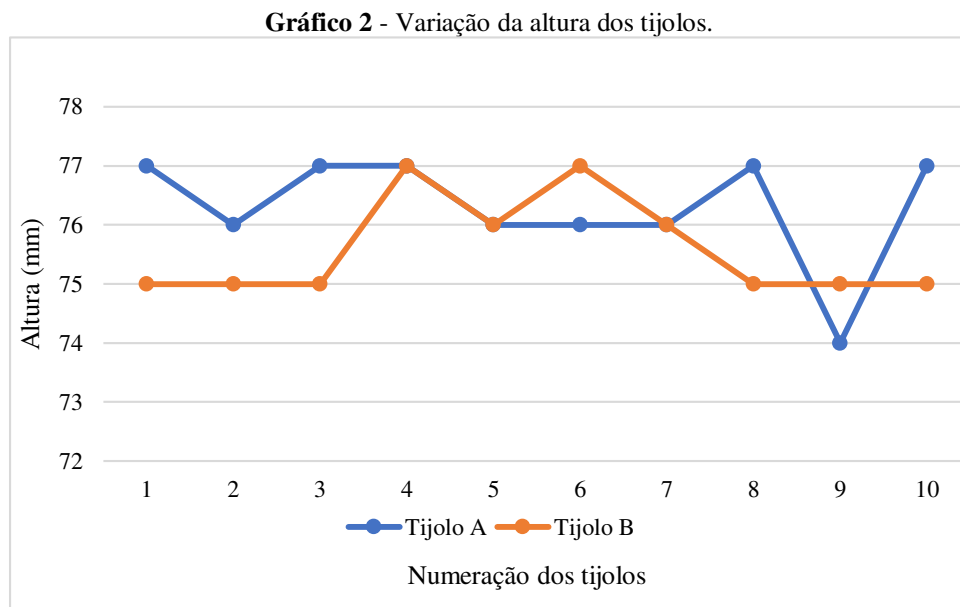
Fonte: Autoria própria, 2022.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DOS TIJOLOS

A fim de analisar as propriedades dos tijolos e verificar se estes atendem aos parâmetros preconizados pela norma vigente, esta seção dedica-se a apresentar os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais.

5.4.1 Análise dimensional

Foram escolhidas 10 amostras para realização da análise dimensional, a largura e comprimento dos tijolos não variaram, devido a fôrma onde os tijolos são prensados. Já na altura houve modificações, como detalhado no Gráfico 2.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A máquina de prensagem utilizada produz tijolos com altura de 75 mm, permitindo variação de altura de 0,5 mm. Todavia, segundo a NBR 8491 (ABNT, 2012b), a variação máxima é 1 mm e através do referido gráfico, pode-se perceber que todas as mostras, 100%, do tijolo “A” tiveram variação, em alguns casos chegando a 2 mm, 1 mm a mais que o permitido pela normatização. Em relação ao tijolo “B”, 40% dos corpos de prova apresentaram variação, também de até 2 mm, destoando-se dos limites especificados pela norma citada.

O tijolo “A” apresentou uma ocorrência maior de variação, esse fenômeno pode ter ocorrido devido a vários fatores, um deles é a composição do solo utilizado na mistura, que como já descrito possui uma maior quantidade de finos, que permite uma maior variação de compressibilidade. De acordo com Gurgel (2018) os solos finos são menos permeáveis, mais

coesivos, isso faz com que o processo de compressão seja mais lento, até que o solo chegue em um estado de equilíbrio novamente, para isso uma carga maior deve ser aplicada.

5.4.2 Absorção de água

Esta característica é muito relevante quando se trata de tijolos, de uma maneira geral. Os testes para caracterização da absorção de água foram realizados nas idades de 7 e 14 dias e os resultados estão expostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de absorção de água.

Tipo	Média (%)	Maior valor individual (%)	Idade
Tijolo A	19,7%	20,1%	7 dias
Tijolo B	18,3%	18,9%	7 dias
Tijolo A	19,0%	18,8%	14 dias
Tijolo B	15,1%	14,6%	14 dias

Fonte: Autoria própria, 2022.

A média da porcentagem de absorção de água de cada tipo de tijolo foi inferior a 20%, limite máximo determinado pela NBR 8491 (ABNT, 2012b) para aceitação dos tijolos. O tijolo “A” o resultado foi 19,7% para idade de 7 dias e 19,8% para 14 dias. Para o tijolo “B” os valores obtidos foram de 18,3% e 15,1%, respectivamente, para as idades de 7 e 14 dias. Apesar de atenderem aos requisitos da norma supracitada, em ambos os casos, os resultados estão próximos aos limites aceitáveis pela mesma, indicando um dado negativo, pois comprova que o tijolo é poroso, isto se deve aos tipos de solos utilizados, e a má graduação destes, além disso, de acordo com Cotta e Rodrigues (2014) a presença de vazios reduzem o valor da resistência mecânica à compressão, pois as fraturas iniciam nestas falhas.

5.4.3 Resistência à compressão

A Tabela 9 foi produzida com os resultados do ensaio de resistência à compressão simples, característica muito importante, uma vez que está diretamente ligada a durabilidade e desempenho do tijolo solo-cimento.

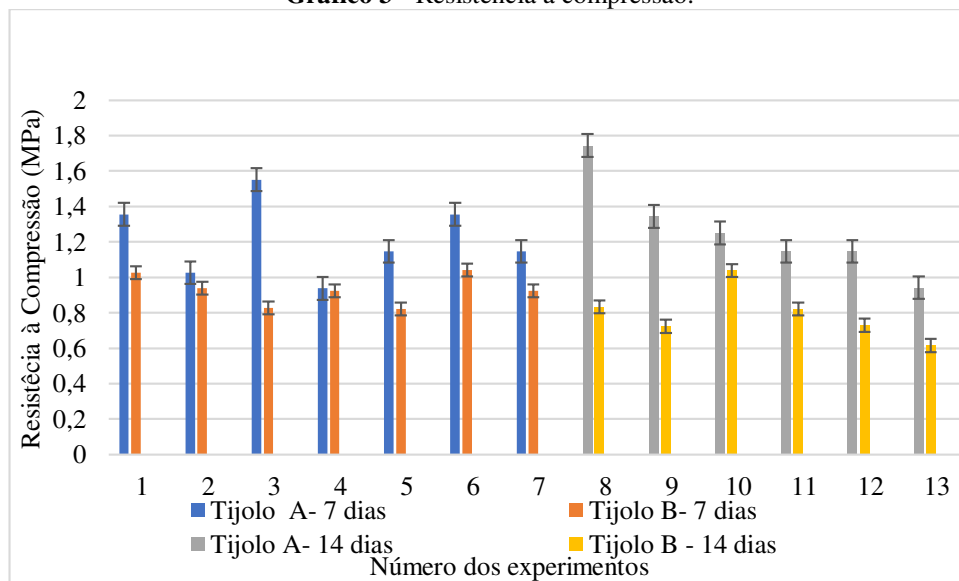
Tabela 9 - Resultados do ensaio de resistência à compressão simples.

Tipo	Tensão Média (MPa)	Menor valor individual (MPa)	Idade
Tijolo A	1,20 MPa	0,90 MPa	7 dias
Tijolo B	0,90 MPa	0,80 MPa	7 dias
Tijolo A	1,30 MPa	0,90 MPa	14 dias
Tijolo B	0,80 MPa	0,70 MPa	14 dias

Fonte: Autoria própria, 2022.

As tensões médias de ruptura foram menores que 2 MPa, valor mínimo estipulado pela NBR 8491 (ABNT, 2012b). O tijolo “A”, obteve resultados de 1,20 MPa e 1,30 MPa para as idades de 7 e 14 dias, respectivamente, e o tijolo “B”, valores de 0,90 MPa e 0,80 MPa, equivalentes as idades de 7 e 14 dias. Portanto, não atendem o referido requisito.

O Gráfico 3 exibe os resultados de todos os resultados e permite uma melhor comparação entre os tijolos.

Gráfico 3 - Resistência à compressão.

Fonte: Autoria própria, 2022.

Como observado, em todos os cenários os tijolos “A” obtiveram melhor desempenho do que os tijolos “B”, chegando a diferir em média 0,30 MPa para 7 dias quando comparados, e 0,50 MPa quando para 14 dias, isto aconteceu, de acordo com as características do solo, devido o maior teor de solos finos, contribuindo para uma quantidade de vazios menores que a do solo “B”.

Todavia, vale destacar que o teor de cimento nas misturas é de 13,5%, sendo que o valor usual já referenciado neste trabalho é de 10%, porém, o teor de umidade pode ter prejudicado

o trabalho do cimento na mistura, pois o teor de água na mistura é bem menor que o valor de umidade ótima dos solos apresentados no ensaio de compactação destes. E a pouca quantidade de água na mistura, dificulta a hidratação do cimento, além de tornar o solo menos compressivo. Isto pode justificar o fato de que os resultados das duas idades não terem diferenças significativas.

Foi apresentado também que a resistência do tijolo com solo “B” foi menor com 14 dias, diminuiu cerca de 11%, um dos fatores que levam a essa diminuição é o processo de fabricação, ou seja, uma deficiência no quesito padronização das amostras, visto que com o passar do tempo a resistência de materiais compostos por cimento tende a aumentar.

6 CONCLUSÃO

Com base nos processos comparativos entre o comportamento dos tijolos com os dois tipos de solo, pode-se perceber que o solo “A” atua melhor na mistura de solo-cimento que o solo “B”.

No que concerne às propriedades dos solos, eles atenderam as exigências normativas para fabricação de tijolos ecológicos, entretanto, os dois são mal graduados, possuem ausências de faixas granulométricas, com pouca quantidade de fino, em especial, a fração argilosa que é quase inexistente. O que proporcionou misturas não plásticas, comprovada pelo baixo índice de plasticidade, e sem coesão, acarretando vazios e, conseqüentemente, uma maior resistência à compactação.

Para atingir as características coesivas e melhorar seu estado compressivo, houve a necessidade da utilização de um elevado teor de água, conforme apresentando no ensaio de compactação.

Esse consumo exacerbado de água, juntamente com a presença de vazios e a pouca quantidade de argila dos solos potencializam o consumo de cimento utilizado na fabricação dos tijolos, uma vez que há a necessidade de uma maior pasta de ligante, como observado no traço utilizado neste estudo.

Além das características físicas dos solos não contribuírem para a resistência à compressão dos tijolos solos-cimento, o acréscimo de areia só potencializou tal fenômeno, fazendo com que eles não atingissem o valor mínimo preconizado pela norma. Esse fato pode ser verificado no ensaio de absorção de água que, para ambos os blocos, tiveram valores muito próximos aos limites normativos, o que comprova a elevada porosidade de tais.

Contudo, pode-se concluir que para os tipos de solo-cimento utilizados não há a necessidade de correção do traço com areia, pelo contrário, um acréscimo de argila poderia trazer resultados mais positivos, visto que os tijolos com o solo “A” que possuem uma quantidade de finos maior, trouxeram resistências mais elevadas. O que seria até mesmo econômico, uma vez que necessitaria de menos cimento.

Sugere-se para a empresa um maior controle tecnológico dos seus produtos. Um estudo de traços mais eficientes, com um maior teor de umidade e sem o acréscimo da areia, bem como uma possível correção do solo com argila, acarretará diversos benefícios como a redução de custos com insumos uma vez que, o uso de cimento poderá ser reduzido, além de potencializar o desempenho e durabilidade dos tijolos.

Levando em consideração todos os relatos, é perceptível que o objetivo do trabalho foi atingido, proporcionando a comunidade acadêmica mais uma literatura acerca do assunto.

REFERÊNCIAS

ADAS, Melhem e ADAS, Sergio. **Panorama Geográfico do Brasil**. 4 ed. São Paulo: Moderna. 2004

ALVES, José Cleiton Feitoza. **Análise do comportamento de tijolos solo-cimento com adição de resíduo de pó de mármore-granito e cinza de bagaço de cana-de-açúcar**. 2016. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2016. Cap. 2. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/bitstream/riufal.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2022.

ANEPPELE, Jeferson William. **Estabilização de um solo residual com adição de cimento portland**. 2016. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1279/1/2016JefersonWilliamCaneppele.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND-ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento: Normas de dosagem e métodos de ensaio**. Estudo técnico. São Paulo, 2004. Disponível em: <https://abcp.org.br/dosagem-das-misturas-de-solo-cimento-et-35/>. Acesso em: 09 jan. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND-ABCP. **Boletim Técnico: Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais – BT-111**. São Paulo, 2000. Disponível em: https://www.alroma.com.br/uploads/arquivos_documentos/2000IPT_BT-111_solo_cimento_tijolo.pdf. Acesso em: 02 fev. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6457**: Amostras de solo -Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016a. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7180**: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7181**: Solo - Análise Granulométrica. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7182**: Solo- Ensaio de Compactação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 9 P.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012d. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco solo-cimento com prensa manual ou hidráulica - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10834**: Bloco solo-cimento sem função estrutural - Requisitos 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012c. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 5 p.

BETSUYAKU, Renato Yochio. **Construção de eco tijolos com adição de areia diatomácea**. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Fundação Oswaldo Aranha Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2015. Cap. 3. Disponível em: https://sites.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos. Acesso em: 05 mar. 2022.

BRAIDA, João Alfredo *et al.* Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.605-614, 2006

BRANSKI, Regina Meyer *et al.* **Metodologia de estudo de casos aplicada à Logística**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 24. 2010, Salvador. **ANAIS [...]**: Disponível em: <http://lalt.fec.unicamp.br/index.php/artigos-apresentados-em-congressos/>. Acesso em: 07 nov. 2021.

CAMPOS, Iberê M.. **Solo-cimento, solução para economia e sustentabilidade**. 2012. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23&Cod=124>. Acesso em: 09 dez. 2021.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Copyright, 1988. 244 p. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Resolução nº 307**: estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília-DF: Diário Oficial da União: seção 1, n. 136, p. 95-96. Disponível em http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305. Acesso em: 26 nov. 2021

COSTA, Heloina Nogueira *et al.* **Avaliação de tijolos de adobe com adição de cinzas e fibras do coco. in: encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, 15., 2014, Maceió. **ANAIS [...]**. Maceió: Entac, 2014. v. 1, p. 3033-3042. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_55.pdf. Acesso em: 02 dez. 2021.

COTTA, Luiza Santos; RODRIGUES, Christianne Garcia. Avaliação de Revestimento Refratário no Processo Siderúrgico. **Revista E-xacta**, Belo Horizonte: Editora UniBH, v. 7, n. 1, p.185-203, 2014. Disponível em: <https://www.unibh.br/revistas/exacta>. Acesso em: 10 mar. 2022.

DANTAS, Nájela Kamilla Paula. **Estudo do comportamento de tijolos de solo-cimento com substituição de solo por resíduos da construção civil**. 2020. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, 2020. Cap. 2. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1286/7/dissertao.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2022.

FRANÇA, Bruno Rangel. **Avaliação dos efeitos da incorporação de resíduos calcário do beneficiamento do mármore em blocos de encaixe de solo-cimento**. 2017. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro- Uenf, Campos dos Goytacazes, 2017. Cap. 2. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads>. Acesso em: 01 dez. 2021.

FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE DEPARTAMENTO TÉCNICO E DE PRODUÇÃO. (org.). **Cartilha para produção de tijolo solo-cimento**. Rio Branco: Funtac, 1999. 25 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/3107168/CARTILHA-PARA-PRODUCAO-DE-TIJOLO-SOLO-CIMENTO>. Acesso em: 03 dez. 2021.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 165 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Cap. 8. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/352333161/Fabricacao-de-Tijolos-Modulares-de-Solo-cimento-Par-Prensagem-Manual-Com-e-Sem-Adicao-de-Silica-Ativa>. Acesso em: 01 dez. 2021.

GUIMARÃES, Ricardo José. **Avaliação do uso de bambu como estrutura em alvenaria de blocos de solo-cimento**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Cap. 2. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream>. Acesso em: 07 jan. 2022.

GURGEL, John. **Compressibilidade e adensamento dos solos**. 2018. Disponível em: <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2013/06/Marangon-Cap%203%20aditulo-03-Compressibilidade-e-Adensamento-2018-at%20a9-pag-90.pdf> Acesso em: 11 mar. 22

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2021**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=31451&t=resultados>. Acesso em: 01 nov. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Manual do Sistema ILCD - Sistema internacional de referência de dados do ciclo de produtos e processos**: Guia geral para avaliações do ciclo de vida: orientações detalhadas. Brasília, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **AGENDA 2030: ODS – Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2018. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180801_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf. Acesso em 13/11/2021.

INSTITUTO EDUCACIONAL PIRACICABANO DA IGREJA METODISTA-IEP. **Cartilha produção de tijolos de solo-cimento**. Piracicaba: Editora Unimep, 2016.

JUNIOR, Jose. Escrita Científica. *In: Pesquisa Experimental*. São Paulo: USP, 2018. Disponível em: http://www.escritacientifica.sc.usp.br/wp-content/uploads/MPCC_5_DataAnalysis06-PesquisaExperimental. Acesso em: 10 mar. 2022.

LARUCCIA, Mauro Maia. Sustentabilidade e Impactos Ambientais da Construção Civil. **REVISTA ENIAC PESQUISA**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 69. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22567/rep.v3i1.124>. Acesso em: 07 nov. 2021

LÔBO, Josefa Missiliene Cordeiro *et al.* Análise mercadológica do tijolo ecológico solo-cimento na Região Metropolitana do Cariri. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e180984966, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.4966. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4966>. Acesso em: 10 nov. 2021.

LOPES, Wilza Gomes Reis. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. 2002. 158p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257285>. Acesso em: 27 Jan. 2021

MACÊDO, Mirtes Maria. **Solos modificados com cimento – efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2004. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5694/1/arquivo6354_1.pdf. Acesso em: 10 dez. 2021.

MANFREDINI, Constance. **Impactos Ambientais Causados pelas Indústrias de Cerâmica Vermelha no Rio Grande do Sul**. 2003. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/117391/000375935.pdf?sequence>. Acesso em: 23 fev. 2022.

MASUKA, Gregory Paul. **Soil stabilization methods and materials: in engineering practice**. State Of The Art Review:, Luleå, Sweden, p. 35, 2003. Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A997144&dswid=9640>. Acesso em: 04 jan. 2022.

MATTES, Wilmar. **A construção civil e o desenvolvimento sustentável**. 2019. Documento eletrônico. Disponível em: <https://vivagreen.com.br/greenarq/construcao-civil-e-o-desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 03 nov. 2021.

MEDEIROS, Caroline Ramos; SILVA, José Augusto Ferreira da. Gestão dos resíduos da construção civil: estudo de caso no município de macaé, rj. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 225, 30 dez. 2016. Essentia Editora. <http://dx.doi.org/10.19180/2177-4560.v10n12016p225-251>.

OLIVEIRA, Antonella. CLASSIFICAÇÕES DE FINALIDADE EM PESQUISA ACADÊMICA. **Atena Editora**, [s. l.], 15 jul. 2019. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/blog/classificacoes-de-finalidade-em-pesquisa-academica/>. Acesso em: 10 mar. 2022

PEDRAL, Vitor Uudson Souza. **Estudo do tijolo ecológico: aspectos gerais e utilização na construção civil**. 2020. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Desenvolvimento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe Campus Aracaju, Aracaju, 2020. Cap. 3.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 363 p.

PIOVESAN, Armando; TEMPORINI, Edméa. Pesquisa exploratória: procedimento metodológico para o estudo de fatores humanos no campo da saúde pública. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, ano 1995, v. 29, ed. 4, p. 318-325, 30 maio 1995.

PIRES, Ilma Bernadete Aquino. **A utilização do tijolo ecológico como solução para construção de habitações populares**. 2004. Disponível em: <https://fdocumentos.tips/document/2004-ilma-bernadette-a-pires-tijolos-ecologicos.html>. Acesso em: 06 jan. 2022.

SANBONSUGE, Kendi *et al.* Efeito da umidade inicial e do tempo de cura nas propriedades mecânicas de misturas solo-cimento. **Transportes**, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 68–82, 2017. DOI: 10.14295/transportes.v25i4.1257. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1257>. Acesso em: 6 dez. 2021.

SANTOS, Angela Sikorski *et al.* **Manual de orientações metodológicas**. Brusque, 2014. 48 p. Disponível em: <https://www.unifebe.edu.br/site/wp-content/uploads/docs/arquivos/biblioteca/manualdemetodologia2014.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2021.

SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva; WADA, Patrycia Hanna. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 179-183, 20 abr. 2011. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i2.9377>. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/42594>. Acesso em: 03 jan. 2022.

SILVA, Andressa Soares da. *et al.* Análise das perdas de materiais no serviço de alvenaria: estudo de caso realizado em obras de edificações residenciais de pequeno port. **Revista**

Principia: Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa, v. 35, p. 90-102, 2019. Trimestral. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/615>. Acesso em: 23 fev. 2022.

SILVA, Maristela Siolari; INO, Akemi. **A terra crua como alternativa sustentável para a produção de habitação social**. 2001. Dissertação(Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SILVA, Paulysendra Felipe *et al.* Use of disposable plastic cups in the composition of the mix for the production of ecological brick. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 14, p. e525101422302, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i14.22302. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22302>. Acesso em: 9 jan. 2022.

Documento Digitalizado Restrito

TCC

Assunto: TCC
Assinado por: Deise Moura
Tipo do Documento: Anexo
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Restrito
Hipótese Legal: Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Deise Leite Moura, ALUNO (201712200034) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 28/04/2022 18:43:47.

Este documento foi armazenado no SUAP em 28/04/2022. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 501505
Código de Autenticação: aecce22b21

