



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

JAQUELINE ARICE GAUDENCIO DA SILVA

Avaliação da viabilidade do aproveitamento de termiteiros na produção de tijolos ecológicos

Guaratinguetá-SP
2024

Jaqueline Arice Gaudencio da Silva

Avaliação da viabilidade do aproveitamento de termiteiros na produção de tijolos ecológicos

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Área de Materiais - Desenvolvimento e Processamento de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza.

Coorientadora: Profa. Dra. Isabel Cristina de Barros Trannin.

Guaratinguetá-SP

2024

S586a	Silva, Jaqueline Arice Gaudencio da Avaliação da viabilidade do aproveitamento de termiteiros na produção de tijolos ecológicos / Jaqueline Arice Gaudencio da Silva – Guaratinguetá, 2024. 74 : il. Bibliografia: f. 63-74 Dissertação – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024. Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza. Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Isabel Cristina de Barros Trannin. 1. Térmitas. 2. Solo-cimento. 3. Construção sustentável. 4. Tijolos. 5. Sustentabilidade. I. Título.
-------	---

CDU 69(043)

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A seguinte pesquisa sobre a utilização de termiteiros na fabricação de tijolos ecológicos apresenta potenciais impactos significativos. Ao substituir materiais tradicionais por recursos naturalmente renováveis, como os termiteiros, reduz-se a pressão sobre os ecossistemas locais e evita-se a degradação ambiental associada à extração de matéria-prima. Além disso, a produção de tijolos ecológicos contribui para a mitigação das emissões de carbono, pois requer menos energia durante o processo de fabricação. Essa abordagem alinha-se diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 11, ao promover o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis por meio da adoção de práticas construtivas mais ecológicas. Além disso, está alinhado com o ODS 12, ao fomentar o consumo e a produção responsáveis, incentivando a transição para uma economia circular e de baixo impacto ambiental.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The following research about the use of termite mounds in the production of ecological bricks presents significant potential impacts. By substituting traditional materials with naturally renewable resources like termite mounds, pressure on local ecosystems is reduced, avoiding environmental degradation associated with raw material extraction. Additionally, ecological brick production contributes to carbon emissions mitigation as it requires less energy during manufacturing. This approach directly aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 11, by promoting the development of more sustainable cities through the adoption of eco-friendly construction practices. Furthermore, it aligns with SDG 12 by fostering responsible consumption and production, encouraging the transition to a circular economy with low environmental impact.

JAQUELINE ARICE GAUDENCIO DA SILVA

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA
CURSO: MESTRADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Documento assinado digitalmente
gov.br MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES
Data: 09/02/2024 09:46:32-0300
Verifique em <https://validar.j6.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
gov.br TEOFILO MIGUEL DE SOUZA
Data: 17/01/2024 16:15:35-0300
Verifique em <https://validar.j6.gov.br>

Prof. Dr. TEOFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador - UNESP

Miguel Angel Firmado digitalmente por
Ramirez Gil Miguel Angel Ramirez Gil
Fecha: 2024.01.19 21:37:13
-02'00'

Prof. Dr. MIGUEL ANGEL RAMIREZ GIL
UNESP



Prof.^ª Dr.^a. VIVIAN SILVEIRA DOS SANTOS BARDINI
UNICAMP

JANEIRO de 2024

DADOS CURRICULARES

JAQUELINE ARICE GAUDENCIO DA SILVA

NASCIMENTO	04/01/1995 – Jacaré / SP
FILIAÇÃO	Nelson Gaudencio da Silva Filho Eliaana Maria Arice Gaudencio da Silva
2014/2019	Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família e principalmente aos meus pais, que sempre me deram todo o suporte necessário.

Agradeço também ao meu orientador, prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza e minha coorientadora, Profa. Dra. Isabel Cristina de Barros Trannin, já que grande parte deste estudo foi possível graças aos seus auxílios.

À instituição UNESP de Guaratinguetá e todos os professores que contribuíram para formação de meu conhecimento durante minha vida acadêmica.

Ao Flávio, técnico do Departamento de Engenharia Civil UNESP – Guaratinguetá, pela ajuda nos ensaios e pelo companheirismo e bom humor de sempre.

Ao Armando Barbosa Guimarães, do Sítio Boa Esperança, de Cisneiros - MG, e colaboradores por fornecerem e transportarem os termiteiros utilizados na fabricação dos tijolos.

Ao ITANACIONAL, de Cisneiros - MG, através de seus colaboradores por prepararem os termiteiros e demais materiais para a fabricação dos tijolos.

À empresa ECO BLOCOS BARCARO, de Cataguases – MG, Josimar e esposa, também seus profissionais que nos cederam os equipamentos, materiais e a atenção necessária durante o processo da pesquisa.

Ao Prof. Paulo Suzuki, Sávio e Bento Ferreira, da EEL-USP, por fazerem as caracterizações de DRX, FRX, MEV e EDS.

E por fim, a todos amigos e companheiros que contribuíram de alguma forma para que este trabalho fosse possível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

“A mais importante de todas as obras é o
exemplo da própria vida.”

Helena Blavatsky

RESUMO

O tijolo solo-cimento, também conhecido comercialmente por tijolo ecológico, surgiu como uma alternativa ao tradicional tijolo queimado, embora utilize cimento em sua composição, cuja produção gera impactos ambientais. O uso de termiteiros como matéria-prima apresenta potencial como alternativa de material para construção, sendo renovável, disponível localmente sem custo e mais ecológico que os materiais convencionais. Assim, este estudo teve como objetivo principal a avaliação da viabilidade da utilização de termiteiros para a produção de tijolos ecológicos, por meio da análise de tijolos com diferentes proporções das matérias-primas bases: solo natural, solo de termiteiro e areia da região da Zona da Mata Mineira. As matérias-primas foram caracterizadas fisicamente por meio de ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade, e química e mineralogicamente por análises de difratometria de raios X (DRX), de Fluorescência de raios X (FRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) associada à Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS) e teor de matéria orgânica. Os tijolos produzidos foram analisados quanto à absorção de água e à resistência à compressão simples, visando o atendimento das normas vigentes. O emprego do solo de termiteiro em substituição parcial do cimento (em 20% e 50%), resultou em diminuição da resistência dos tijolos e aumento de absorção de água. Por sua vez, seu emprego em substituição total do solo natural, resultou em aumento da resistência à compressão e redução da absorção de água, tendo o tijolo apresentado as melhores propriedades físico-mecânicas de 2,62 MPa para resistência à compressão e de 8,9 % para absorção de água.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-cimento; cupinzeiros; construção sustentável; recursos naturais; matéria orgânica.

ABSTRACT

The soil-cement brick, also commercially known as ecological brick, emerged as an alternative to traditional fired bricks, although it uses cement in its composition, which has environmental impacts during production. The use of termite mounds as raw material has the potential to serve as an alternative construction material, being renewable, locally available at no cost, and more environmentally friendly than conventional materials. Thus, this study aimed to assess the feasibility of using termite mounds for the production of ecological bricks, through the analysis of bricks with different proportions of base raw materials: natural soil, termite mound soil, and sand from the Zona da Mata Mineira region. The raw materials were physically characterized through tests of particle size distribution, liquid limit, and plastic limit, and chemically and mineralogically through X-ray Diffraction (DRX), X-ray Fluorescence (FRX), Scanning Electron Microscope (SEM), Energy Dispersive X-Ray (EDX) and organic matter content analysis. The produced bricks were analyzed for water absorption and simple compression strength, aiming to meet current standards. The use of termite mound soil in partial replacement of cement (at 20% and 50%) resulted in a decrease in the strength of the bricks and an increase in water absorption. On the other hand, its use in total replacement of natural soil resulted in an increase in compressive strength and a reduction in water absorption, with the brick exhibiting the best physical-mechanical properties of 2.62 MPa for compressive strength and 8.9% for water absorption.

KEYWORDS: Soil-cement; termite mounds; sustainable construction; natural resources; organic matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ninhos das espécies de cupim mais comuns em pastagens no Brasil	18
Figura 2 - Estado do solo em função de seu teor de umidade.....	21
Figura 3 - Ilustração do conceito de empacotamento de partículas.....	23
Figura 4 - Termiteiro retirado in situ no Distrito de Cisneiros – MG.....	33
Figura 5 - Peneiramento do solo em agitador mecânico.....	35
Figura 6 - Etapas da produção dos tijolos ecológicos.....	41
Figura 7 - Tijolos produzidos com diferentes proporções solo:termiteiro:cimento.....	42
Figura 8 - Tijolos ecológicos em imersão para ensaio de absorção.....	43
Figura 9 - Tijolos regularizados em imersão para ensaio de compressão simples.....	44
Figura 10 - Tijolos submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples.....	44
Figura 11 - Resumo do planejamento experimental.....	45
Figura 12 - Curva granulométrica do solo natural.....	48
Figura 13 - Curva granulométrica do solo de termiteiro.....	49
Figura 14 - Difrátogramas de raios-X do Argissolo em seu estado natural e sob ação de térmitas.....	52
Figura 15 - Micrografias e respectivos difratogramas da amostra de solo natural (à esquerda) e de solo de termiteiro (à direita), com aumento mínimo de 150x.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação granulométrica dos componentes do solo	21
Tabela 2 - Classes de consistência do solo relacionadas ao índice de plasticidade.....	22
Tabela 3 - Requisitos do solo para composição de tijolos ecológicos.....	28
Tabela 4 - Parâmetros estabelecidos para o tijolo solo-cimento.....	28
Tabela 5 - Composição, traços e proporções das misturas dos tijolos elaborados.....	40
Tabela 6 - Resultados da análise prévia do solo natural e do material de termiteiro	46
Tabela 7 - Valores de pH da areia, do Argissolo natural e do solo de termiteiro.....	46
Tabela 8 – Teores de matéria orgânica obtidos para o Argissolo e o solo de termiteiro.	47
Tabela 9 – Peneiramento fino da areia utilizada para correção do solo.....	49
Tabela 10 - Resultados para os limites de consistência do solo natural e de termiteiro...	50
Tabela 11 - Caracterização química por fluorescência de raios X do Argissolo natural e do solo de termiteiro, valores expressos em percentual em massa de compostos, normalizados a 100%.....	51
Tabela 12 – Índices K_i e K_r e relação molecular Al_2O_3/Fe_2O_3 do Argissolo em condições naturais e sob ação de térmitas	55
Tabela 13 - Dimensões nominais dos corpos de prova com diferentes composições	56
Tabela 14 - Absorção de água dos tijolos ecológicos em diferentes traços	57
Tabela 15 - Resistência à compressão simples para os diferentes traços de tijolos ecológicos.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CP	Cimento Portland
CTM	Montículo de Cupim Calcinado
IP	Índice de Plasticidade
LC	Limite de Contração
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MO	Teor de Matéria Orgânica
NBR	Norma Brasileira Registrada
PTM	Montículo De Cupim Pulverizado
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
UNEP	United Nations Environment Programme

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivos específicos.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 CONCEITOS BÁSICOS.....	17
2.1.1 Termiteiro ou Montículo de Cupim	17
2.1.2 A importância da atuação das térmitas no solo.....	19
2.1.3 Solo	20
2.1.4 Estabilização do solo e Cimento Portland	22
2.1.5 Índices Ki e Kr e Relação Molecular Al_2O_3/Fe_2O_3	25
2.1.6 Tijolo solo-cimento	26
2.2 APLICAÇÕES DE TERMITEIRO COMO MATÉRIA-PRIMA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	28
2.3 POZOLANICIDADE DO SOLO E AÇÃO DAS TÉRMITAS.....	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	33
3.1.1 Solos: Argissolo natural; solo de termiteiro e areia.....	33
3.1.2 Cimento	34
3.2 MÉTODOS.....	34
3.2.1 Análise prévia dos solos.....	34
3.2.1.1 Porcentagem de areia.....	34
3.2.1.2 Determinação do pH.....	34
3.2.2 Caracterização das matérias-primas	35
3.2.2.1 Análise granulométrica	35
3.2.2.2 Limites de consistência do solo.....	36
3.2.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) associada à Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS).....	36
3.2.2.4 Fluorescência de raios X	36
3.2.2.5 Difratometria de raios X	37
3.2.2.6 Cálculo de Ki e Kr e relação molecular Al_2O_3/Fe_2O_3	37
3.2.2.7 Teor de matéria orgânica	38
3.2.3 Produção dos tijolos.....	39

3.2.3.1	Determinação dos traços e proporções dos componentes.....	39
3.2.3.2	Preparação das matérias-primas, produção e cura dos tijolos	40
3.2.4	Caracterização físico-mecânica dos tijolos	42
3.2.4.1	Análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão simples	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	ANÁLISE PRÉVIA DOS SOLOS	46
4.1.1	Porcentagem de areia	46
4.1.2	Determinação do pH e do teor de matéria orgânica dos solos.....	46
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	48
4.2.1	Análise granulométrica	48
4.2.2	Limites de consistência.....	50
4.2.3	Análises Morfológicas, Químicas e Mineralógicas dos solos.....	50
4.2.4	Cálculo de K_i e K_r e relação molecular Al_2O_3/Fe_2O_3	55
4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DOS TIJOLOS	55
4.3.1	Análise dimensional dos corpos de prova	55
4.3.2	Ensaio de absorção d'água	57
4.3.3	Ensaio de resistência à compressão simples	58
5	CONCLUSÕES	61
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Relatório do United Nations Environment Programme (UNEP, 2022a), é crucial para o setor da construção civil, alcançar a redução das emissões de carbono até 2050 para enfrentar a tripla crise planetária de mudanças climáticas, de perda de biodiversidade, de poluição e geração de resíduos. A produção dos materiais convencionalmente utilizados na construção civil, envolvem processos industriais que consomem grandes quantidades de energia e geram emissões de CO₂, principal gás do efeito estufa.

Neste aspecto, as emissões da fabricação de concreto, aço e o alumínio utilizados na construção civil representam mais de 6 % (cerca de 2,3 Gt CO₂) das emissões globais no ano de 2021. A indústria de edifícios e construção em sua totalidade representa cerca de 37% da energia operacional global e das emissões de CO₂ relacionadas com o processo no mesmo ano (UNEP, 2022a). Ainda de acordo com o esse relatório, prevê-se que o uso de recursos naturais duplique até 2060.

Além das altas emissões de CO₂ e do elevado consumo de energia e recursos naturais, em 2021 foram coletadas 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) no território brasileiro, cerca de 64% de todo o resíduo sólido urbano coletado no país, com uma coleta per capta de 227 kg hab⁻¹ ano⁻¹ , ou seja, cerca de 0,622 kg hab⁻¹ dia⁻¹ de RCD (ABRELPE, 2022).

Esses dados enfatizam a importância de minimizar o volume de materiais utilizados e descartados no setor de construção civil e a necessidade de procurar substituir materiais de construção convencionais por materiais alternativos que minimizem a demanda de energia e de emissões durante as várias fases de sua cadeia produtiva (UNEP, 2022b).

Diante desse cenário, destaca-se o uso do tijolo solo-cimento, também conhecido como tijolo ecológico. Este material é produzido por meio de uma técnica moderna que foi desenvolvida em meados do século XIX, que consiste em compactar a mistura de solo e cimento, em seu teor ótimo de umidade, dentro de uma forma, usando uma prensa manual, hidráulica ou mecânica, surgindo então como uma alternativa ao tradicional tijolo queimado (VYNCKE *et al.*, 2018; MOREL *et al.*, 2021).

Esse material pode ser uma alternativa mais sustentável quando comparado aos blocos de concreto ou aos tijolos de cerâmica queimados, não só pelo seu processo de produção, mas também pela possibilidade de utilização de diversos resíduos e materiais recicláveis como matéria-prima para sua confecção. Estudos demonstram a eficácia da utilização de

materiais como borracha, fibras vegetais, resíduos industriais e de construção civil visando a melhoria das propriedades mecânicas dos tijolos solo-cimento (MALKANTHI *et al.*, 2021).

Os termiteiros são construídos a partir de partículas de solo, que são agrupadas para formar blocos sólidos de material natural, reconhecidos por sua resistência às intempéries e a impactos mecânicos (IFETAYO *et al.*, 2018). Porém, a intensa proliferação de termiteiros nas pastagens vem despertando preocupações de pecuaristas, agricultores, técnicos e pesquisadores (OLIVEIRA, 2017).

Nesse contexto, o estudo do potencial de aplicação deste material como matéria-prima na produção de tijolos ecológicos e como possível aglomerante em substituição parcial do cimento, pode trazer benefícios ambientais e socioeconômicos, pela transformação de um agente de degradação de pastagens em recurso para produção de material de construção civil.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação foi avaliar a viabilidade técnica do aproveitamento de termiteiros na produção de tijolos ecológicos, com potencial utilização em substituição parcial do cimento Portland e em substituição total do solo natural.

1.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar fisicamente o solo natural e de termiteiro para determinação das proporções empregadas na produção dos tijolos ecológicos;
- Caracterizar e avaliar comparativamente as propriedades químicas e físicas do solo natural e do solo de termiteiro;
- Planejar, executar e avaliar o procedimento de preparação das misturas e de prensagem mecânica das matérias-primas misturadas, assim como o processo de cura e estocagem dos tijolos;
- Caracterizar e atestar a qualidade dos tijolos produzidos com diferentes proporções de matérias-primas, adotando como referência, os parâmetros das normas técnicas brasileiras;
- Analisar os resultados obtidos e avaliar a viabilidade técnica de produção de tijolos ecológicos, utilizando termiteiros como matéria-prima.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS BÁSICOS

2.1.1 Termiteiro ou Montículo de Cupim

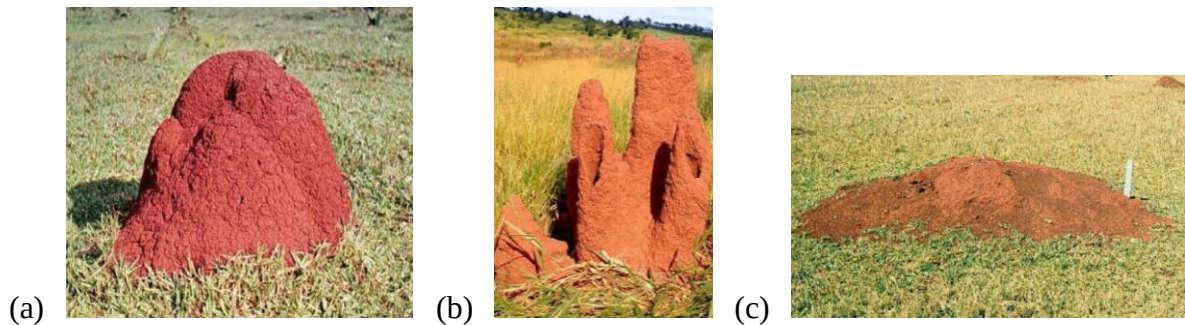
Térmitas, também conhecidas como cupins, são insetos amplamente encontrados em regiões tropicais e subtropicais do mundo. Embora sejam conhecidas por causarem danos econômicos em áreas urbanas, devido a ataques a construções e madeiras, algumas espécies também são consideradas pragas agrícolas e florestais. No entanto, do ponto de vista ecológico, esses insetos são essenciais na constituição química e física do solo, desempenhando um papel importante na reciclagem de materiais ricos em celulose e suas construções, túneis e caminhos dentro do solo e dos ninhos, podem servir de abrigo para outras espécies animais (DE LA CRUZ *et al.*, 2014)

Existem algumas espécies mais recorrentes de cupim, responsáveis pela construção dos ninhos em locais de pastagem. O número de montículos de cupins (também chamados de termiteiros) tende a aumentar em áreas com menor influência de mecanização e no Brasil, o termo "cupim-de-montículo" está praticamente associado à espécie *Cornitermes cumulans*, que é predominante nas pastagens das regiões Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste (VALÉRIO, 2006).

Outras formas de ninhos de cupins, que afloram à superfície do solo, também são encontradas e estão relacionadas a diversas outras espécies de cupins. Alguns desses montículos não possuem a característica endoécio (núcleo ou câmara celulósica) típica dos ninhos de *Cornitermes cumulans*. Outras espécies de cupins que também constroem termiteiros em pastagens e são conhecidas pelos produtores, são: *Cornitermes bequaerti*, que constrói montículos com aberturas semelhantes a chaminés, e *Syntermes sp.*, cujos ninhos, quando expostos à superfície, são mais espalhados, baixos e moles em comparação com os ninhos de *Cornitermes* (VALÉRIO, 2006).

De acordo com Araujo (1970) apud Redford, (1984), a espécie de cupim *Cornitermes cumulans* é a mais comum e bem-sucedida em seu grupo, sendo responsável pelos montículos de cupins mais notáveis e encontrada principalmente em pastagens, áreas cultivadas e cerrados do centro e sul do Brasil, além do Paraguai e Argentina. Na Figura 1 podem ser observados, exemplares das espécies de termiteiros mais comuns em pastagens no Brasil.

Figura 1 - Ninhos das espécies de cupim mais comuns em pastagens no Brasil.



(a) Ninho da espécie *C. cumulans*; (b) Ninho da espécie *C. bequaerti*; (c) Ninho da espécie *Syntermes* sp.

Fonte: Valério (2006).

Redford (1984), descreveu os montes de cupins construídos pela espécie *Cornitermes cumulans*, ressaltando que são compostos por duas partes distintas: uma casca externa, ou "parede", feita de solo extremamente duro, e um núcleo interno, ou "colmeia", composto principalmente de material fecal, solo e material lenhoso. A casca do monte serve para regular a umidade e temperatura dentro da colônia, além de funcionar como uma forma de defesa para os cupins. No entanto, ela geralmente abriga poucos indivíduos de *C. cumulans* e a colônia vive no núcleo macio e esfarelável do monte.

Ainda segundo Redford (1984), durante as diferentes fases de construção do termiteiro, a proporção entre a casca e o núcleo varia. Inicialmente, o monte fica abaixo do solo, mas, à medida que cresce, ele se torna parcialmente subterrâneo até alcançar a fase final de desenvolvimento, onde o monte possui uma sólida parede de solo e um grande centro onde está a colmeia, presente tanto acima quanto abaixo do solo.

Cosarinsky (2011), verificou em seu estudo a ocorrência de uma sequência gradual e cronológica de micromorfologia na construção de montículos de *C. cumulans*. O Autor observou que à medida que a colônia amadurece e o monte aumenta, essas microestruturas intergrãos são transformadas em novos tipos estruturais. As construções finais observadas nos montículos grandes apresentam uma microestrutura porosa nas paredes e uma microestrutura maciça no piso. Ambas as regiões são compostas por areias cimentadas com abundante argila e matéria orgânica fina, exibindo uma frequência menor de componentes grosseiros em comparação com estágios anteriores do monte. A adição de matéria orgânica fina e argila proporcionam coesão e estabilização da construção em cada estágio.

2.1.2 A importância da atuação das térmitas no solo

Durante muito tempo, as térmitas, insetos geralmente pertencentes ao gênero *Cornitermes*, que constroem seus ninhos acima do solo, foram apontados como organismos nocivos aos agroecossistemas, tendo em vista que sua presença sempre esteve associada aos elevados níveis de degradação de pastagens. No entanto, de acordo com Valério (2006), a presença expressiva de cupinzeiros numa área de pastagem é consequência de um ambiente profundamente alterado e não a causa da degradação dessas áreas.

Em complemento, Vargas Niño (2015) verificou que as propriedades do solo que mais contribuíram para o aumento da incidência de cupins foram a acidez, com pH variando entre 3,8 a 4,6; saturação por alumínio acima de 78% e baixa altitude do terreno. Esta autora também observou que as propriedades químicas bem como a liberação de CO₂ e CH₄ pelos cupinzeiros de campos de altitude, sugerem que estes insetos colaboram para a maior estabilidade da matéria orgânica, contribuindo assim para o estoque de carbono dentro dos campos de altitude estudados.

Mais recentemente, a importância da atuação das térmitas na estruturação do solo vem sendo reconhecida (FERREIRA *et al.*, 2011). Neste sentido, Lavelle *et al.* (2016) destacaram o papel das térmitas no processo denominado de bioturbação, que resulta na construção de bioporos, com a provisão de importantes serviços ecossistêmicos, como a aeração e a infiltração de água no solo.

Correa (2023) também destacou o reconhecimento, por parte de agricultores familiares do interior de Minas Gerais, das funções relacionadas à bioturbação realizada pelas térmitas, sendo apontados como responsáveis pela decomposição de restos de madeira e pela aeração do solo, ocasionada pelo deslocamento dos insetos. Estes agricultores esclareceram que, embora a construção dos montículos represente perda de espaço para as forrageiras, não são os cupins que causam a degradação das pastagens, eles apenas são indicadores do estágio avançado da degradação, que cria um ambiente favorável ao desenvolvimento destes insetos e desfavorável a outros organismos. Alertaram, por fim, para a necessidade de acompanhamento e vigilância da distribuição destes organismos na paisagem, para que não tomem conta das áreas destinadas às pastagens.

2.1.3 Solo

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) define o solo como:

O solo classificado é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas. (SANTOS *et al.*, 2018).

As principais classes de solos encontradas na região do Zona da Mata Mineira são: Argissolos e Latossolos, (FEAM, 2010) descritos a seguir conforme Santos *et al.* (2018):

Argissolos: São solos bem desenvolvidos que se distinguem dos Latossolos por apresentarem uma variação de textura em profundidade, devido ao acúmulo de argila nos horizontes superiores. Possuem um horizonte B textural com argila de baixa atividade. Esses solos são geralmente profundos, mas na região Semiárida podem ser rasos. O gradiente de textura influencia a drenagem interna, tornando-os suscetíveis à erosão hídrica. A coloração do horizonte B depende das condições de drenagem interna, bem como da quantidade e tipo de óxidos de ferro e alumínio presentes.

Os Argissolos são de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e mais raramente brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte B. São de forte a moderadamente ácidos, predominantemente caulíníticos e com relação molecular K_i , em geral, variando de 1,0 a 3,3.

Latossolos: São solos profundos, altamente intemperizados e com um horizonte B latossólico. Apresentam coloração avermelhada, alaranjada ou amarelada, são muito profundos, friáveis e porosos, com textura variável e baixa atividade de argila. Os minerais primários pouco resistentes ao intemperismo e a fração silte estão ausentes ou em pequenas proporções. A cor desses solos varia de acordo com a quantidade e o tipo de óxidos de ferro presentes. Latossolos são bastante intemperizados e exibem uma morfologia uniforme ao longo do perfil, com uma transição difusa entre os horizontes, havendo um escurecimento leve no horizonte superficial devido à presença de matéria orgânica.

De forma geral, os solos são compostos por diferentes frações, sendo a matéria orgânica proveniente de plantas e animais em decomposição e as fases resultantes da desagregação

das rochas, como resultado da ação de agentes físicos, químicos e biológicos. No entanto, quando se trata da utilização do solo como matéria-prima de materiais de construção civil, é importante conhecer sua fração mineral (TORGAL; JALALI, 2009).

A fração mineral dos solos é composta por partículas que podem ser categorizadas com base em suas dimensões e cada grupo ou faixa de dimensões possui características específicas que determinam seu comportamento como material de construção (NEVES *et al.*, 2009).

Conforme a NBR 6502 (ABNT, 2022), solo pode ser classificado de acordo com suas frações granulométricas, ou seja, agrupado segundo as dimensões das suas partículas, como pode ser observado na Tabela 1.

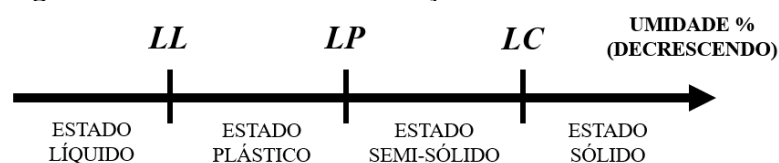
Tabela 1 – Classificação granulométrica dos componentes do solo.

Fração Granulométrica	Diâmetro das partículas (mm)
Bloco de rocha	$\varnothing > 1000$
Matacão	$200 < \varnothing < 1000$
Pedra de mão	$60 < \varnothing < 200$
Pedregulho	$2 < \varnothing < 60$
Areia grossa	$0,6 < \varnothing < 2$
Areia média	$0,2 < \varnothing < 0,6$
Areia fina	$0,06 < \varnothing < 0,2$
Silte	$0,002 < \varnothing < 0,06$
Argila	$\varnothing < 0,002$

Fonte: NBR 6502 (ABNT, 2022).

De acordo com Caputo (2015), o solo pode ser classificado em quatro estados de consistência a depender do seu teor de umidade: líquido, plástico, semi-sólido e sólido. Atterberg (1911) e Haines (apud Caputo, 2015) desenvolveram os limites de consistência, que marcam as fronteiras entre os estados de consistência do solo, são eles: Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Limite de Contração (LC). A relação entre os estados e o teor de umidade dos solos é apresentado na Figura 2, indicando também os respectivos limites de consistência.

Figura 2 - Estado do solo em função de seu teor de umidade.



Fonte: Adaptada de Caputo (2015).

Caputo (2015), define o índice de plasticidade como a diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade. Essa medida determina a faixa na qual o solo se encontra em estado plástico. A Tabela 2 apresenta os parâmetros de Jenkins (1993) citado por Caputo (2015), para a sua classificação quanto ao índice de plasticidade.

Tabela 2 – Classes de consistência do solo relacionadas ao índice de plasticidade.

Índice de Plasticidade	Classificação
1 – 7	Fracamente Plástico
7 – 15	Medianamente Plástico
>15	Altamente Plástico

Fonte: Caputo (2015).

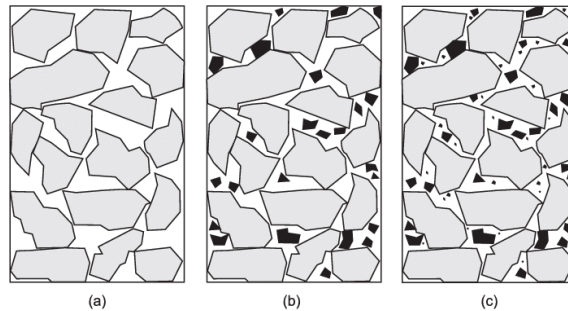
2.1.4 Estabilização do solo e Cimento Portland

Segundo Cruz e Jalali (2010), é possível reduzir as limitações associadas ao solo como material de construção, especialmente em relação ao seu desempenho mecânico e sua suscetibilidade à presença de água, por meio da aplicação de técnicas de estabilização de solos.

Houben e Guillaud (1994) categorizam os métodos de estabilização do solo em três grupos: mecânico, físico e químico. A estabilização mecânica envolve compactação para alterar a densidade, resistência mecânica, compressibilidade, permeabilidade e porosidade do material. A estabilização física refere-se à modificação da textura dos materiais, por meio de mistura controlada de diferentes frações das partículas ou incorporação de fibras. A estabilização química envolve a adição de materiais e produtos químicos que modificam as propriedades do solo por meio de reações físico-químicas ou criação de uma matriz de ligação.

A estabilização física do solo implica na incorporação de frações de partículas com diferentes granulometrias. Este processo visa otimizar as proporções entre areia, silte e argila, resultando em um empacotamento mais eficiente das partículas. Este empacotamento, conforme descrito por McGeary (1961), consiste na seleção cuidadosa da proporção e dos tamanhos dos materiais, de modo a preencher vazios grandes com partículas médias, vazios médios com partículas pequenas e assim por diante. A Figura 3 ilustra esse conceito de redução dos vazios e aumento da densidade de empacotamento através da introdução de partículas de tamanho menor.

Figura 3 – Ilustração do conceito de empacotamento de partículas.



(a) Partículas grandes e de tamanho único com vazios; (b) Vazios preenchidos por partículas menores; (c) Introdução de um terceiro componente de tamanho ainda menor.

Fonte: Kumar e Santhanam (2003).

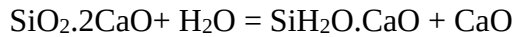
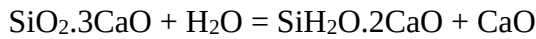
A variação desta propriedade, conforme indicado por Kumar e Santhanam (2003), pode estar relacionada ao grau de empacotamento das partículas ou ao efeito microfíler resultante do refinamento dos poros na microestrutura formada. Além disso, de acordo com José e Kasthurba (2020), a resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento está intrinsecamente ligada à coesão das partículas do solo e ao preenchimento dos vazios no tijolo. Em outras palavras, trata-se de um empacotamento das partículas do solo, cuja eficácia é diretamente influenciada pela estabilização mecânica da compactação aplicada.

A técnica de estabilização por meio da adição de cimento envolve a preparação de uma mistura uniforme de solo pulverizado, cimento e água em proporções específicas. A ação estabilizadora do cimento pode ocorrer de duas maneiras: quando há teores mais altos de cimento, formando núcleos interligados distribuídos em toda a massa do solo e resultando no aumento da resistência mecânica devido à capacidade aglutinante do cimento, que une as partículas do solo. Quando utilizando teores mais baixos de cimento, ocorre principalmente uma modificação na fração argilosa, reduzindo sua plasticidade. Nesses casos, a presença do cimento forma núcleos independentes na massa do solo, podendo ou não resultar em um aumento da resistência mecânica (CRUZ; JALALI, 2007).

Cimento Portland é a denominação convencionada mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento, que apresenta propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, formado por um pó inorgânico finamente moído, não metálico, obtido a partir da calcinação de rochas naturais, que endurece na presença de água (ABCP, 2002; ESPUELAS *et al.*, 2018).

Conforme Cristelo (2001), o cimento Portland comum é composto por aproximadamente 45% de silicato tricálcico ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) e 27% de silicato bicálcico

($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$). Durante o processo de hidratação com o solo, ocorre a formação de um gel de silicato hidratado de bicálcio e monocálcio ($\text{SiH}_2\text{O} \cdot 2\text{OCa}$ e $\text{SiH}_2\text{O} \cdot \text{OCa}$), que se cristaliza de maneira lenta, formando uma matriz circundante. Durante a reação de hidratação, é liberada uma certa quantidade de cal e a reação pode ser expressa da seguinte forma:



De acordo com Associação Brasileira de Cimento Portland (2002; 2018), existem no Brasil vários tipos de cimento Portland, diferentes entre si, principalmente em função de sua composição, sendo os principais:

- CP-I ou Cimento Portland Comum: Contém apenas adição de gesso para retardar o tempo de pega.
- CP-II ou Cimento Portland Composto: tem a adição de outros materiais na sua mistura, que confere menor calor de hidratação, ou seja, o cimento libera menos calor quando entra em contato com a água. Tendo três opções: CP-II E – cimento Portland com adição de escória de alto-forno; CP-II Z – cimento Portland com adição de material pozzolânico; e CP-II F – cimento portland com adição de material carbonático – fíler.
- CP-III ou Cimento Portland de Alto-forno: possui escória de alto-forno em sua composição, conferindo maior durabilidade e impermeabilidade, resistência a sulfatos e baixo calor de hidratação.
- CP-IV ou Cimento Portland Pozzolânico: com adição de material pozzolânico e comparado ao cimento comum, apresenta maior durabilidade, impermeabilidade e resistência à compressão a longo prazo, sendo utilizado em grandes volumes de concreto e obras em contato com água.
- CP-V-ARI ou Cimento Portland de Alta Resistência Inicial: com alta porcentagem de clínquer e gesso, o que proporciona alta resistência logo no primeiro dia de produção do concreto. É recomendado para obras que exigem desmolde rápido.
- CP-RS ou Cimento Portland Resistente a Sulfatos: utilizado em concretos expostos a meios agressivos como água marítima e ambientes industriais.
- CP-B ou Cimento Portland Branco (CPB): substitui a argila por baixos teores de manganês, ferro e caulim, resultando em uma coloração branca. Pode ser utilizado para fins estruturais e não estruturais, como rejuntamento de cerâmica.

2.1.5 Índices Ki e Kr e relação molecular $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$

De acordo com Kämpf *et al.* (2012), os argilominerais apresentam estreita correlação com os atributos físicos do solo, como textura, estrutura, consistência, permeabilidade, expansão e contração, cor, entre outros, bem como com os atributos químicos, devido ao reduzido tamanho ($< 0,002$ mm), e suas propriedades coloidais, quando menores que 0,001 mm, conferindo-lhes elevada superfície específica e reatividade.

Baptista *et al.* (1998) indicam que a caracterização da mineralogia da fração argila é de extrema importância para estudos pedogenéticos, por serem indicativos dos processos e das condições de formação dos solos, sendo utilizada no agrupamento das diferentes classes de solo, em que as argilas apresentam comportamentos semelhantes.

Resende e Santana (1988) esclarecem que a composição mineralógica de um determinado solo, é influenciada pela mineralogia da rocha originária e pelos fatores e processos de formação do solo. Em ambientes tropicais e subtropicais úmidos, devido ao processo de intemperismo, ocorre a lixiviação de elementos considerados mais solúveis (Na_2O , K_2O , CaO , MgO e SiO_2) e a concentração daqueles considerados pouco solúveis, como no caso dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Com base neste processo, são calculados diferentes índices químicos e mineralógicos que são utilizados para diferenciar o grau de alteração do solo.

Neste sentido, o índice Ki indica a relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, refletindo a remoção de sílica e permanência do alumínio, devido seu acúmulo relativo no solo (MONIZ *et al.*, 1982). Em regiões de clima quente e úmido a estabilidade do argilomineral caulinita é favorecida em decorrência da monossilicização, processo de dessilicação parcial, sendo este mineral o mais abundante e comum nos solos brasileiros e predominante nos Latossolos, Nitossolos, Argissolos, Plintossolos e Cambissolos (KER, 1995). Por esta razão o Ki da caulinita pode ser tomado como referência para este índice de intemperismo, variando de 2,0 a 2,1, a relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ da caulinita (GRIM, 1968) serve como base para a distinção de solos tropicais muito ou pouco intemperizados (KEHRIG, 1949; LUNARDI NETO; ALMEIDA, 2013).

Solos muito intemperizados apresentam mineralogia composta por argilominerais e por minerais primários residuais, quartzo principalmente. Por outro lado, solos pouco intemperizados apresentam predominantemente em sua composição, argilominerais neoformados e minerais em processo de alteração química para argilominerais. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) o índice Ki é utilizado para caracterizar solos

onde a atuação do intemperismo e lixiviação foram intensos, promovendo a perda de bases e sílica, como no conceito do horizonte diagnóstico B Latossólico (SANTOS *et al.*, 2018).

Segundo o manual de métodos de análise do solo (TEIXEIRA *et al.*, 2017), a determinação das relações moleculares K_i e K_r é feita por meio da solubilização de amostras de solo aplicando o ataque sulfúrico (H_2SO_4 na proporção 1:1). A dissolução pelo H_2SO_4 pressupõe que somente os argilominerais são dissolvidos, refletindo a composição percentual de Si e Al próximos aos da fração coloidal do solo.

O índice K_r , separa solos oxídicos ($K_r \leq 0,75$) de caulíníticos ($K_r > 0,75$) (RESENDE; SANTANA, 1988). Com base nos índices K_i e K_r , Resende e Santana (1988) classificam os solos segundo a sua mineralogia como: caulíníticos - com predominância de argilominerais do grupo da caulinita (K_i e $K_r > 0,75$); caulínítico-oxídicos ($K_i > 0,75$ e $K_r \leq 0,75$), oxídicos - com predominância de óxidos de ferro e alumínio, que podem ser subdivididos em hematíticos e goetíticos ($K_r \leq 0,75$) e gibbsíticos - com predominância de gibbsita (K_i e $K_r \leq 0,75$). Portanto, quanto menor o K_i , mais intemperizados é o solo. Como o K_i encontrado para a caulinita é 2,0; solos que apresentem valores de $K_i > 2,0$ são considerados pouco intemperizados e os que apresentaram valores de $K_i < 2,0$ são muito intemperizados (FARIAS, 2012).

Assim, a constituição mineralógica dos solos, influenciada pelo seu grau de intemperismo, determina o comportamento físico (CAMPOS, *et al.*, 2012; PEREZ FILHO; RUBIRA, 2017; SANTOS *et al.*, 2018) e químico (SILVA *et al.*, 2008; ITURRI; BUSCHIAZZO; 2014; BARBOSA *et al.*, 2018; UTAMI *et al.*, 2019), e mineralógico (MONIZ *et al.*, 1982; COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003; ARAUJO *et al.*, 2014) dos solos.

2.1.6 Tijolo solo-cimento

Comercialmente os tijolos solo-cimento são designados como tijolos ecológicos, e destacam-se em relação aos tijolos de cerâmica por apresentar, entre outras vantagens, a ausência do processo de queima, que consome consideráveis quantidades de madeira ou outros combustíveis, prática comum na produção dos tijolos convencionais em olarias. Ademais, o material utilizado, o solo, pode ser encontrado em grande abundância. (FRAGA *et al.*, 2016).

De acordo com a norma NBR 8491 (ABNT, 2012), o tijolo de solo-cimento é caracterizado como um elemento de alvenaria composto por uma mistura uniforme de solo,

cimento Portland e água. Esse material é compactado utilizando uma prensa hidráulica ou mecânica e endurecido sem a necessidade de queima, podendo ser produzido em formato maciço ou vazado.

A técnica do tijolo solo-cimento utiliza da estabilização por meio do método solo-cimento, a qual envolve a união das partículas do solo através da hidratação do cimento, formando cristais capazes de se interligar e resultando em uma alta resistência à compressão. Conforme o cimento penetra no solo, os espaços vazios entre as partículas são preenchidos, reduzindo o índice de vazios. Assim, após o endurecimento do cimento, proporciona-se maior resistência ao cisalhamento e à capacidade de carga ao solo estabilizado (HABIBA, 2017).

A quantidade de cimento na mistura deve ser suficiente para alcançar os padrões de desempenho desejados em termos de resistência mecânica e durabilidade, mas não há uma fórmula rígida para essa proporção, permitindo flexibilidade na adequação do cimento às características do solo (VITALI, 2008), variando de 8 a 12%.

Conforme a Norma Geral de Dosagem do Solo-cimento, fornecida pela ABCP (2004), a dosagem do cimento se faz experimentalmente, a fim de determinar o melhor teor de cimento para a mistura, realizando ensaios com diferentes quantidades de cimento e analisando os resultados, a fim de identificar qual é o menor teor que estabiliza o solo seguindo os requisitos pré-estabelecidos para os testes de compressão e absorção de água. O traço básico, segundo o Boletim Técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2000), para os tijolos que atendam aos requisitos padrões é de 1:10, podendo variar de 1:5 até 1:14 de cimento: solo.

O solo é a matéria-prima empregada em maior quantidade na produção de tijolos solo-cimento e por isso, segundo FRAGA *et al.* (2016), é necessária uma seleção criteriosa do material, uma vez que não é recomendado empregar qualquer tipo de solo na produção dos tijolos.

De acordo com FIAIS e SOUZA (2017), o solo mais adequado é o arenoso, pois geralmente requer menos quantidade de cimento na composição do tijolo e não é recomendado o uso de solo argiloso e siltoso, pois os tijolos podem sofrer alguns danos depois de seco, tais como trincas, fissuras e rachaduras, diminuindo sua resistência.

A norma NBR 10833:2012 (ABNT, 2012), determina os requisitos do solo utilizado para a produção destes tijolos, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos do solo para composição de tijolos ecológicos.

Material passante na peneira de malha 4,75mm	100%
Material passante na peneira de malha 0,075mm	10 a 50%
Limite de Liquidez	$\leq 45\%$
Índice de Plasticidade	$\leq 18\%$

Fonte: NBR 10833 (ABNT, 2012).

Após produção, cura e estocagem, devem ser considerados os critérios e exigências da NBR 8491:2012, apresentados na Tabela 4, para o controle de qualidade dos tijolos produzidos. De acordo com os resultados obtidos em cada ensaio, a norma prevê critérios de aceitação e rejeição.

Tabela 4 – Parâmetros estabelecidos para o tijolo solo-cimento.

Característica	Exigências da NBR 8491/2012
Análise dimensional	Tolerância de ± 1 mm para dimensões nominais
Resistência à compressão	valor médio $\geq 2,0$ MPa valor individual $\geq 1,7$ MPa
Absorção de água	valor médio $\leq 20\%$ valor individual $\leq 22\%$

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012).

2.2 APLICAÇÕES DE TERMITEIRO COMO MATÉRIA-PRIMA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Os cupins são dominantes em ambientes terrestres tropicais e estão espalhados desde as florestas úmidas até as savanas, sendo encontrados até mesmo em regiões áridas (LEE e WOOD, 1971; LA FAGE e NUTTING, 1978; WOOD e SANDS, 1978; WOOD *et al.*, 1982; EGGLETON *et al.*, 1996) (apud LIMA e COSTA, 2007).

O clima africano, em relação à temperatura e umidade relativa, assim como o brasileiro, é propício para a proliferação de cupins. Essa condição contribui significativamente para a alta presença desses insetos em todo o continente africano (KRISHNAN, 2015) e também no Brasil, onde ocorrem aproximadamente 300 espécies desse inseto (CONSTANTINO, 1999). Esse dado é relevante, uma vez que, a maioria dos artigos aqui citados, nesta revisão da literatura, são advindos de estudos de países do continente africano.

Quando debatido materiais de construção civil, substituir parcialmente o cimento por materiais cimentícios alternativos é uma das soluções para reduzir os altos custos de energia

e os desafios ambientais apresentados pela produção de cimento (ANASTASIOU *et al.*, 2018; IKUMAPAYI *et al.*, 2020; OLUSOLA *et al.*, 2006). Um desses materiais ecologicamente corretos são os termiteiros. Pesquisas demonstram o potencial dos termiteiros para serem usados como substitutos parciais do cimento em misturas de concreto e transformados em um material de construção sustentável por meio de tecnologias de estabilização (ELINWA, 2018; MAHAMAT *et al.*, 2021).

Obebe *et al.* (2023), estudaram o uso montículo de cupim calcinado como substituto parcial do cimento. Em seu estudo, diversas misturas de concreto foram formuladas, nas quais o cimento Portland comum foi parcialmente substituído pelo Montículo de Cupim Calcinado (CTM) de 0% a 25% de substituição em intervalos de 5%. A adição de CTM reduziu a resistência à compressão. No entanto, foram encontradas combinações que se adequam aos requisitos quando agregados de concreto reciclado foram combinados à mistura na proporção de 60% agregados de concreto reciclado, 40% agregado comum e 5% de CTM.

Fapohunda *et al.* (2022) também estudou o concreto com agregado miúdo parcialmente substituído por montículo de cupim pulverizado, demonstrando que a durabilidade e o coeficiente de absorção de água melhoraram progressivamente com o teor de montículo adicionado, mas que esta substituição deve ser limitada a 70%.

O uso alternativo dos solos de montículos de cupim como substituição total dos solos na produção de tijolos também é uma aplicação estudada, porém com poucas referências. Legese *et al.* (2021) demonstraram que essa substituição oferece melhores resultados do que a argila comum e Albuquerque *et al.* (2008), relataram a menor absorção de água e aumento da resistência à compressão.

A aplicação e viabilidade da utilização de termiteiros como matéria-prima para tijolos ecológicos, em substituição parcial do cimento e em substituição total do solo comparativamente, ainda não foi bem explorada, principalmente no Brasil, embora a evidência de seu potencial seja reforçada pelas referências citadas.

2.3 POZOLANICIDADE DO SOLO E AÇÃO DAS TÉRMITAS

De acordo com a norma NBR 5736 (ABNT, 1991), materiais pozolânicos são silicosos ou silicoaluminosos que, quando finamente pulverizados e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio, resultando na precipitação do silicato de cálcio hidratado à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades cimentícias. Portanto, para o desenvolvimento da atividade pozolânica, os componentes ativos (óxido de silício e alumina)

presentes no material precisam reagir com o hidróxido de cálcio produzido na hidratação do cimento. O processo dessa reação é conhecido pelo consumo do hidróxido de cálcio para formação de novos compostos como os silicatos de cálcio hidratados.

A norma NBR 12653 (ABNT, 2014), classifica o material pozolânico, considerando sua origem e propriedades químicas e físicas. A classe N - como pozolanas naturais e artificiais, C - cinzas volantes, e a classe E - qualquer pozolanas diferentes das classes N e C. A respeito da exigência química para o material ser classificado como pozolânico, o somatório dos óxidos ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) devem estar com a porcentagem mínima de 70% para as classes N e C e 50% para a classe E. Com relação às exigências físicas, as pozolanas precisam ter porcentagem máxima de 20% de material retido na peneira de 45 μm .

Ganesan *et al.* (2007), verificaram que o cimento Portland pode ser substituído em até 20% por material pozolânico na confecção de concreto, sem prejudicar as propriedades de resistência mecânica, permeabilidade e durabilidade deste material. Neville (2015) também destacou que a reatividade pozolânica em concreto depende de fatores como, teor de óxido de silício, conteúdo e proporção de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e material pozolânico na mistura, área superficial e temperatura.

Mehta e Monteiro (2014) ao comparar o comportamento do cimento Portland comum com o cimento pozolânico, verificaram que a reação pozolânica eliminou os vazios capilares, e os cristais do hidróxido de cálcio foram substituídos pelos silicatos de cálcio hidratados de baixa densidade, garantindo a impermeabilidade e a resistência do sistema, além de diminuir o tamanho dos poros e aumentar a resistência mecânica do concreto.

Neville (2015) destacou que a adição de escória de alto-forno como material pozolânico, pode melhorar a trabalhabilidade do concreto fresco; tornar a taxa de liberação de calor mais lenta, resultando em menor temperatura de pico e promover uma microestrutura mais densa da pasta de cimento hidratada, melhorando assim, a resistência em longo prazo e, em especial, a durabilidade e eliminação do risco da reação álcali-sílica, independentemente do teor de álcalis do cimento Portland ou da reatividade do agregado, justificando sua adição ao cimento.

Soares (2017) pontuou que a adição de materiais pozolânicos alternativos ao cimento, como a cinza de capim elefante, pode proporcionar algumas vantagens, como a lenta hidratação e a baixa velocidade de liberação de calor, mas destacou que estes materiais alternativos devem ser cuidadosamente analisados para satisfazer as exigências quanto a sua composição como material pozolânico. A autora esclareceu que a reação pozolânica normalmente tem início entre 7 e 15 dias após a mistura e que, quando a hidratação do cimento é lenta, consequentemente, a taxa de liberação de calor e o desenvolvimento da

resistência também serão lentos. Também ponderou que não existe consenso entre os pesquisadores sobre o método mais indicado para determinar a atividade pozolânica, devido à heterogeneidade na composição dos materiais e ao comportamento perante as reações de hidratação do cimento. Neste aspecto, alguns métodos têm sido utilizados para determinar a atividade pozolânica dos materiais, como ensaios de variação de condutividade elétrica, método Chapelle modificado, índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), análises termogravimétricas (TG) e térmica diferencial (DTA) e difratometria de raios X (DRX).

De acordo com Sivrikaya *et al.* (2017) solos argilosos apresentam boas propriedades pozolânicas, considerando que são ricos em óxidos de silício (SiO_2) e de alumínio (Al_2O_3). Neste aspecto, o solo argiloso faz parte dos materiais de construção à base de terra, apresentando-se como uma alternativa para reduzir a dependência excessiva do uso de cimento na construção civil.

Banjo e Micheal (2016) apontam que o solo argiloso é mais ecológico, consome menos energia e possui melhor desempenho térmico do que os materiais de construção tradicionais. Neste contexto, tijolos de argila cru são comuns na maioria dos países em desenvolvimento, especialmente na África, onde são usados para produzir tijolos de baixo custo devido à sua resistência. No entanto, os materiais de argila usados para a produção de tijolos crus são propensos a falhas devido à sua baixa capacidade de carga e tendências de elevada absorção de umidade (Nagaraj *et al.*, 2014).

Por outro lado, a argila proveniente de montículos de cupins apresenta excelentes propriedades térmicas, resistência compressiva comparável aos tijolos de terra estabilizada com cimento e uma melhor resistência à penetração de umidade quando usada na produção de tijolos (Akinyemi *et al.*, 2019). Isso ocorre porque a composição química da saliva e a secreção das térmitas modificam a argila, proporcionando assim um revestimento de filme hidrofóbico que oferece uma resistência superior à entrada de umidade em comparação com o material de argila convencional (Millogo *et al.*, 2011).

Deve-se observar que os estudos sobre o uso de montículos de cupins como material de construção, especialmente sobre sua capacidade de estabilização e pozolanicidade em misturas solo-cimento são limitados. Um dos primeiros estudos foi desenvolvido por Olusola *et al.* (2006) para avaliar as perspectivas de utilizar o montículo de cupins como material de revestimento com cimento e cal usados como ligantes em duas proporções de mistura de 1:4 e 1:6. Estes autores observaram aumento na resistência à compressão com a idade crescente

das misturas solo-cimento, mas uma redução nesta propriedade com o aumento nos níveis de substituição de cimento por cal e pelo montículo do cupinzeiro.

Ikponmwosa *et al.* (2011) utilizaram o montículo de cupinzeiro não calcinado como material pozzolânico na produção de vigas de concreto. O cimento foi substituído pelo montículo de cupinzeiro não calcinado em intervalos de 5%, variando de 5 a 30%. Em seguida, foram realizados alguns testes físicos e mecânicos. Os valores relatados mostraram que uma densidade menor, juntamente com maior trabalhabilidade, tempos iniciais e finais de pega, foram observados com a inclusão do montículo de cupinzeiro nas vigas de concreto em comparação com o controle. Os autores também verificaram uma diminuição na resistência à flexão das vigas de concreto com o aumento do teor de montículo de cupinzeiro.

Akinyemi *et al.* (2019) concluíram que os montículos de cupins apresentaram excelentes propriedades térmicas, resistência compressiva comparável aos tijolos de terra estabilizada com cimento e uma melhor resistência à penetração de umidade quando usados na produção de tijolos devido ao seu caráter pozzolânico. Akinyemi *et al.* (2021) avaliaram o potencial de aplicação de resíduo de carvão de cálcio como ligante em mistura com montículo de cupinzeiro visando a produção de tijolos de argila crus. Os autores verificaram que a incorporação de carvão de cálcio (10%), cimento (20%) e um aditivo químico (0,1) em montículo de cupinzeiro auxiliaram no desenvolvimento de melhores tijolos de barro crus.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Solos: Argissolo natural; solo de termiteiro e areia

Neste estudo foram utilizados solo natural, sob ação de térmitas (Figura 4) e areia provenientes do distrito de Cisneiros, no município de Palma – MG, localizado na região da Zona da Mata Mineira. Estas matérias-primas utilizadas como matriz na produção dos tijolos ecológicos foram retiradas de áreas próximas, o solo natural coletado em um talude a uma profundidade maior que 50 cm para evitar a presença de matéria orgânica em teor elevado, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) (SANTOS *et al.*, 2018) e o solo proveniente de termiteiro, cujas térmitas residentes no montículo foram identificadas como sendo da espécie *Cornitermes cumulans* (VALÉRIO, 2006).

A partir da constatação de que o solo apresentava textura argilosa, sendo inclusive identificado como Argissolo, foram realizadas correções granulométricas com areia classificada como areia média, para atender os requisitos da norma NBR 10833:2012 de confecção de tijolos de solo-cimento e garantir o melhor empacotamento das partículas e desmoldagem dos tijolos no processo de conformação por prensagem. Vale destacar que a maioria dos solos inorgânicos pode ser utilizada na confecção de tijolos solo-cimento, tendo em vista, a possibilidade de correção da granulometria.

Figura 4 - Termiteiro retirado no Distrito de Cisneiros, no município de Palma – MG.



Fonte: Autora.

3.1.2 Cimento

O Cimento Portland Composto, utilizado neste trabalho, foi o CP II - E - 32 RS, da marca Cimento Tupi, adquirido comercialmente em uma quantidade de 50 kg. Este material foi acrescentado diretamente na mistura para produção dos tijolos e homogeneizado em multiprocessador, sendo utilizado com finalidade aglomerante.

O CP II - E - 32 RS foi selecionado para este estudo, por se tratar de uma variedade de cimento que contém materiais pozolânicos como a escória granulada de alto-forno (E) e por ser resistente a sulfatos (RS), melhorando assim a resistência em longo prazo e, em especial, a durabilidade e eliminação do risco da reação álcali-sílica. Bell (1993) citado por Azevedo *et al.* (2019) indica que o tipo de CP resistente a sulfatos é mais adequado para solos ácidos.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Análises prévias dos solos

3.2.1.1 Porcentagem de areia

Antes de realizar as misturas das matérias-primas, foi realizada a caracterização prévia dos solos natural e de termiteiro. Para isso, além de serem consideradas as características intrínsecas, como o local de ocorrência, a cor e a textura, foi feita a determinação da porcentagem de areia. Para esta determinação, a amostra seca foi pesada e submetida à lavagem sob água corrente na peneira #200 (0,075 mm) para a verificação da porcentagem retida, que corresponde à fração areia do solo. Após a lavagem do solo, o material retido foi reservado e levado para a estufa até secagem, sendo posteriormente pesado.

3.2.1.2 Determinação do pH

A determinação do pH do solo foi realizada em triplicada, em suspensão solo:líquido, na proporção 1:2,5, ou seja, 10g de solo foram misturados a 25 ml de água deionizada, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017). A medição foi realizada utilizando um medidor multiparâmetros da marca HANNA, modelo HI 9811-5, com amostras do Argissolo natural, do solo de termiteiro e da areia utilizada para a correção granulométrica do solo.

3.2.2 Caracterização das matérias-primas

3.2.2.1 Análise granulométrica

As análises granulométricas dos solos foram feitas conforme procedimento descrito pela NBR 7181:2016, realizada por uma combinação de sedimentação e peneiramento (Figura 5) no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da FEG/UNESP.

A areia utilizada para a correção foi caracterizada por meio de peneiramento fino para determinação das proporções de partículas de areia grossa, média e fina, utilizando agitador mecânico e a série de peneiras padrões.

A correção do teor de areia baseou-se no método utilizado para produção de tijolo solo-cimento, que utiliza solos com uma faixa de 50% a 90% de partículas de tamanho superior a 0,075 mm, segundo a norma NBR 10833:2012.

Essas proporções foram empregadas para determinar a correção granulométrica, sendo utilizado a equação (1), adotada por Neves *et al.* (2009) para estimar a quantidade de areia a ser adicionada no solo para correção, com o objetivo de alcançar aproximadamente 60% de proporção total de areia, valor de referência desta norma técnica.

$$P = \frac{S0 - Pi}{Pi - Ac} \quad (1)$$

Onde:

P = Proporção de areia a ser adicionada para correção;

S0 = Porcentagem de areia total no solo a ser corrigido;

Pi = Porcentagem de areia a ser atingido após correção;

Ac = Porcentagem de areia em material utilizado para correção.

Figura 5 – Peneiramento do solo em agitador mecânico.



Fonte: Autora.

3.2.2.2 Limites de consistência do solo

Os ensaios para determinação dos limites de liquidez (LL) dos solos seguiram os procedimentos descritos pela norma NBR 6459:2016 e foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da FEG/Unesp. O LL corresponde ao teor de água, que adicionado ao solo, é capaz de causar perda de coesão de suas partículas (CAPUTO, 2015).

Os ensaios para a determinação do limite de plasticidade (LP) dos solos foram realizados após a secagem das amostras, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 7180:2016. Nestes ensaios são determinados os teores de umidade abaixo dos quais os solos perdem a capacidade de serem moldados e passam a ficar quebradiços (CAPUTO, 2015).

Após a determinação dos LL e LP do solo natural e sob a influência de termiteiro, foi calculado o índice de plasticidade (IP), que corresponde ao intervalo de umidade em que o solo se mantém plástico, obtido pela equação (2):

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Onde:

IP : Índice de Plasticidade;

LL : Limite de Liquidez;

LP : Limite de Plasticidade.

3.2.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) associada à Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS)

As análises morfológicas do Argissolo natural e do sob a ação de termiteiro, foram realizadas por micrografia no Laboratório de Microscopia Eletrônica da Escola de Engenharia de Lorena (EEL) da Universidade de São Paulo (USP).

As amostras foram irradiadas com um feixe de elétrons no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) acoplado com *Energy-Dispersive X-ray spectroscopy* (EDS), da marca OXFORD INSTRUMENTS, modelo LEO 1450VP.

3.2.2.4 Fluorescência de raios X

As análises químicas do Argissolo natural e do sob a ação de termiteiro, foram realizadas por fluorescência de raios X, no Laboratório de Caracterização Química da Escola

de Engenharia de Lorena (EEL) da Universidade de São Paulo (USP), utilizando Espectrômetro de fluorescência de raios X PANalytical, modelo Axios MAX, com todos os acessórios necessários para esta análise.

As amostras foram preparadas por prensagem com ácido bórico, o que permite a realização de análises semiquantitativas, sem padrões, com determinação de elementos químicos que variam de flúor a urânio. Os resultados foram expressos em percentual em massa de compostos, normalizados a 100%.

3.2.2.5 Difratometria de raios X

A difratometria de raios X é a principal técnica utilizada na identificação das fases cristalinas presentes em um material, assim como na determinação das suas estruturas cristalinas. A difração de raios X foi realizada para identificar a composição mineralógica do Argissolo natural e sob ação de termiteiros. O equipamento utilizado foi um difratômetro da marca Panalytical, modelo Empyrean, localizado no Laboratório de Caracterização Química da Escola de Engenharia de Lorena (EEL) da Universidade de São Paulo (USP). As medidas foram realizadas com radiação $\text{CuK}\alpha$ nas seguintes condições: intervalo angular de varredura 2θ de 10° a 90° ; passo angular de $0,02^\circ$ e tempo de contagem de 100 segundos.

3.2.2.6 Cálculo de K_i e K_r e relação molecular $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$

O comportamento químico do solo natural e sob ação do termiteiro, foi avaliado por meio da análise das características mineralógicas associadas ao processo de intemperismo, representado pelos índices K_i e K_r .

O índice K_i foi proposto por Harassovitz (KEHRIG, 1949) para indicar a relação molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ da fração argila do solo. De acordo com Teixeira *et al.* (2017), o K_i é calculado em função dos valores de SiO_2 e Al_2O_3 no solo, obtidos por ataque sulfúrico, divididos pelos seus respectivos pesos moleculares e pode ser obtido pela equação (3):

$$K_i = (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) \times 1,7 \quad (3)$$

Em que:

SiO_2 : concentração de SiO_2 no solo, obtida por ataque sulfúrico, em g kg^{-1}

Al_2O_3 : concentração de Al_2O_3 no solo, obtida por ataque sulfúrico, em g kg^{-1}

Em função do índice K_i da caulinita corresponder a 2, solos muito intemperizados apresentam valores de $K_i \leq 2$, enquanto solos pouco intemperizados possuem valores superiores. Os índices K_i menores ou próximos a 2, indicam tratar-se de solo caulinítico.

O índice K_r separa solos oxídicos ($K_r \leq 0,75$) de cauliníticos ($K_r > 0,75$) (RESENDE; SANTANA, 1988). O K_r é calculado em função dos valores de SiO_2 ; $Al_2O_3 + Fe_2O_3$, divididos pelos seus respectivos pesos moleculares e pode ser obtido pela equação (4):

$$K_r = (SiO_2/0,6)/((Al_2O_3/1,02) + (Fe_2O_3/1,60)) \quad 7 \quad (4)$$

Em que:

SiO_2 : concentração de SiO_2 no solo, obtida por ataque sulfúrico, em $g\ kg^{-1}$

Al_2O_3 : concentração de Al_2O_3 no solo, obtida por ataque sulfúrico, em $g\ kg^{-1}$

A relação molecular Al_2O_3/Fe_2O_3 foi calculada de acordo com a metodologia descrita em Teixeira *et al.* (2017), aplicando-se a equação (5):

$$\text{Relação } Al_2O_3/Fe_2O_3 = (Al_2O_3/Fe_2O_3).1,57 \quad 7 \quad (5)$$

Em que:

Al_2O_3 : concentração de Al_2O_3 no solo, obtida por ataque sulfúrico, em $g\ kg^{-1}$

Fe_2O_3 : concentração de Fe_2O_3 no solo, obtida por ataque sulfúrico, em $g\ kg^{-1}$

No atual estudo, os valores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 no solo foram obtidos por prensagem com ácido bórico.

3.2.2.7 Teor de matéria orgânica dos solos

A determinação do teor de matéria orgânica do solo natural e sob ação de termiteiro, foi realizada nos Laboratórios de Mecânica dos Solos e de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil da FEG/Unesp, seguindo o método quantitativo descrito pela norma NBR 13600 (ABNT, 2022). Esta norma estabelece método para medição desse teor em material previamente seco em estufa, à temperatura de 105 °C a 110 °C, por 24 horas, através da

queima em mufla, à temperatura de $(440 \pm 5) ^\circ\text{C}$, por 12 horas. O teor de matéria orgânica é determinado utilizando a equação (6):

$$MO = \left(1 - \frac{B}{A}\right) \times 100 \quad (6)$$

Onde:

MO: teor de matéria orgânica, expresso em porcentagem (%);

A: massa da amostra seca em estufa à temperatura de 105°C - 110°C expressa em gramas (g);

B: massa da amostra queimada em mufla, à temperatura de $440 \pm 5^\circ\text{C}$ expressa em gramas (g);

De acordo com Grande (2003) o solo com elevado teor de matéria orgânica, sofre ação do meio pela alcalinidade elevada e tem alterada sua estabilização como matéria prima, comprometendo a qualidade do tijolo modular. Desta forma, o Argissolo Vermelho-Amarelo, da região da Zona da Mata Mineira, utilizado como matéria prima para a confecção dos tijolos ecológicos no atual estudo, foi extraído em profundidade superior a 50 cm, buscando obter material livre de matéria orgânica.

O teor de matéria orgânica foi determinado em duas amostras do Argissolo natural e de termiteiro, para obtenção de um valor médio entre as amostras, sendo calculado o desvio padrão para obter o grau de dispersão dos dados.

De acordo com o Sistema Internacional de Unidades, a matéria orgânica e o carbono orgânico do solo, que eram apresentados em %, atualmente são expressos em g dm^{-3} ou g kg^{-1} . Para conversão dessas unidades foi preciso multiplicar por 10 o valor em %.

3.2.3 Produção dos tijolos ecológicos

3.2.3.1 Determinação dos traços e proporções dos componentes

Para a confecção dos tijolos foram determinadas as proporções de cada componente visando identificar o melhor traço da mistura solo:cimento:termiteiro.

A correção do teor de areia baseou-se no método de produção de tijolo solo-cimento, que utiliza solos com uma faixa de 50% a 90% de partículas de tamanho superior a 0,075 mm, segundo a norma NBR 10833:2012. As quantidades de areia média acrescentadas ao solo natural e ao solo de termiteiro tiveram como base a determinação prévia de material

retido na peneira #200 (0,075 mm) e foram diferentes, visando manter a mesma proporção granulométrica, de aproximadamente 60% na proporção total de areia.

O primeiro lote produzido, sem acréscimo de solo de termiteiro, serviu como parâmetro de referência para a comparação com os demais lotes de composições diferentes e com acréscimo de solo de termiteiro. Para facilitar a dosagem os traços foram estabelecidos em relação à proporção em massa dos componentes.

O segundo e terceiro lotes foram confeccionados para avaliar o desempenho do solo de termiteiro como possível substituinte parcial do cimento, com a substituição de 20% e 50% do cimento, respectivamente.

No quarto e quinto lote, procurou-se avaliar o desempenho da utilização do solo de termiteiro em substituição do solo matriz, com a substituição de 100% do solo natural pelo solo de termiteiro em traços com diferentes proporções de constituintes.

O traço base dos tijolos estudados, as proporções em porcentagem de cada material componente e a respectiva sigla representativa são apresentados na Tabela 5. As siglas são acompanhadas pelo número do lote do tijolo (I, II, III, IV e V) e a abreviação de tijolo solo-cimento (TSC).

Tabela 5 - Composição, traços e proporções em massa das misturas dos tijolos elaborados.

Lote	Traços dos tijolos	Argissolo	Termiteiro	Areia	Cimento	Sigla
		----- % -----				
1	4 argissolo: 2 areia: 1 cimento	57,1	0	28,6	14,3	I-TSC
2	4 argissolo: 2 areia: 0,2 termiteiro: 0,8 cimento	57,1	2,9	28,6	11,4	II-TSC
3	4 argissolo: 2 areia: 0,5 termiteiro: 0,5 cimento	57,1	7,15	28,6	7,15	III-TSC
4	5 termiteiro: 1 areia: 1 cimento	0	71,2	14,3	14,3	IV-TSC
5	5 termiteiro: 2 areia: 1 cimento	0	62,5	25,0	12,5	V-TSC

Fonte: Autora.

3.2.3.2 Preparação das matérias-primas, produção e cura dos tijolos

Inicialmente, para a produção dos tijolos, os solos e a areia foram destorroados e peneirados em malha de 4,8 mm, para remoção de partículas e resíduos de tamanho superior. O solo de termiteiro foi coletado de um montículo de cupim selecionado aleatoriamente, próximo do ponto de coleta do Argissolo Vermelho-Amarelo, em volume suficiente para a fabricação do número de tijolos necessários para as avaliações. Os cupins nele residentes foram identificados como sendo da espécie *Cornitermes cumulans*.

Procedeu-se então a homogeneização da mistura no multiprocessador 400l, da marca ALROMA, com suas respectivas correções granulométricas com areia. Os componentes dos tijolos, nas diferentes proporções, foram colocados no misturador, sendo acrescentada água gradativamente até atingir a umidade necessária para a conformação dos tijolos, que correspondeu a cerca de 14% em relação a massa do material seco, sendo realizado ajustes nesse teor, de acordo com a umidade natural dos componentes da mistura.

Em seguida, a mistura foi prensada em uma prensa automática, da marca ALROMA com capacidade de compactação de 12 toneladas, motor de 10 CV e força de compactação de 3,76 MPa. A forma de prensagem dos lotes de tijolos seguiu o padrão 7,0 x 12,5 x 25,0 cm.

Para cada lote foram confeccionados 15 tijolos e, posteriormente, à prensagem, os tijolos foram direcionados para os pallets, onde passaram pelo processo de cura por 7 e 28 dias. Após o tempo de cura, os tijolos foram submetidos aos ensaios de caracterização. A figura 6 apresenta as etapas do método de produção empregado.

Figura 6 - Etapas da produção dos tijolos ecológicos.



Fonte: Autora.

Na Figura 7 podem ser observados alguns tijolos produzidos com diferentes proporções solo:termiteiro:cimento.

Figura 7 - Tijolos ecológicos produzidos com diferentes proporções solo:termiteiro:cimento



Fonte: Autora.

3.2.4 Caracterização físico-mecânica dos tijolos

3.2.4.1 Análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão simples

Os ensaios de análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão simples foram realizados tendo como referência as normas NBR 8491:2012 e NBR 8492:2012. Para a análise comparativa das características dos diferentes traços de tijolos, foram empregadas 10 amostras de cada lote. Dentro desse conjunto de 10 amostras, todas foram submetidas à análise dimensional, sendo que 3 foram selecionadas para o teste de absorção de água, enquanto as outras 7 foram direcionadas ao teste de resistência à compressão simples.

Para análise dimensional, foi utilizado paquímetro com resolução de 0,05 mm, sendo realizadas três medições em pontos distintos de cada face do corpo de prova, com posterior cálculo da média das medidas. O propósito da análise dimensional foi verificar as variações nas dimensões nominais de comprimento, largura e altura entre os tijolos que possuíam a mesma composição, bem como entre tijolos de formulações diferentes.

Para o ensaio de absorção de água, três corpos de prova de cada formulação foram submetidos à secagem em estufa com temperatura entre 105°C e 110°C, e então foram obtidas as massas m_1 de cada corpo de prova seco, em quilogramas (kg). Depois de atingirem a temperatura ambiente, as amostras foram imersas em um tanque com água por um período de 24 horas, como ilustra a Figura 8.

Figura 8 - Tijolos ecológicos em imersão para ensaio de absorção de água.



Fonte: Autora.

Após serem retirados da água, os corpos de prova foram secos superficialmente com um pano levemente umedecido, obtendo-se a massa m_2 do corpo de prova saturado em quilogramas (kg). A absorção de água dos corpos de prova foi determinada utilizando a equação (7):

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

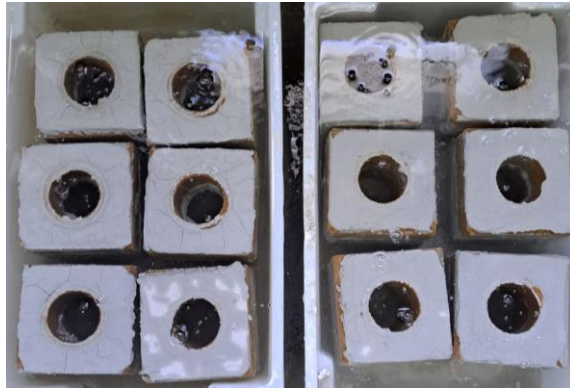
A: absorção de água (%);

m_1 : massa do corpo de prova seco em estufa (kg);

m_2 : massa do corpo de prova saturado (kg).

O ensaio de resistência à compressão consistiu em cortar 7 amostras de cada formulação de tijolo em duas partes iguais, entre as faces cortadas e unidas pelos lados opostos, foi adicionada uma pasta de cimento Portland CPIII pré-contraída de 2 a 3 mm de espessura. Após 24 horas da união das duas metades, realizou-se a regularização de uma das faces, e após mais 24 horas, da outra. Após mais 24 horas para a completa secagem da pasta, as amostras permaneceram imersas em tanque com água durante 6 horas (Figura 9), sendo retiradas e secas superficialmente para a execução do ensaio.

Figura 9 - Tijolos regularizados em imersão para ensaio de compressão simples.



Fonte: Autora.

Após a medição das faces de aplicação de força, em milímetros quadrados (mm²), o ensaio de resistência à compressão foi feito utilizando uma prensa hidráulica, da marca Zeloso, com capacidade de 100 toneladas e aplicação de carga à razão de 500 N s⁻¹ (50 kgf s⁻¹), aumentada de forma gradativa até obter a ruptura do corpo de prova, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Tijolos submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples.



Fonte: Autora.

A resistência à compressão foi obtida pela equação (8):

$$F_t = \frac{F}{S} \quad (8)$$

Onde:

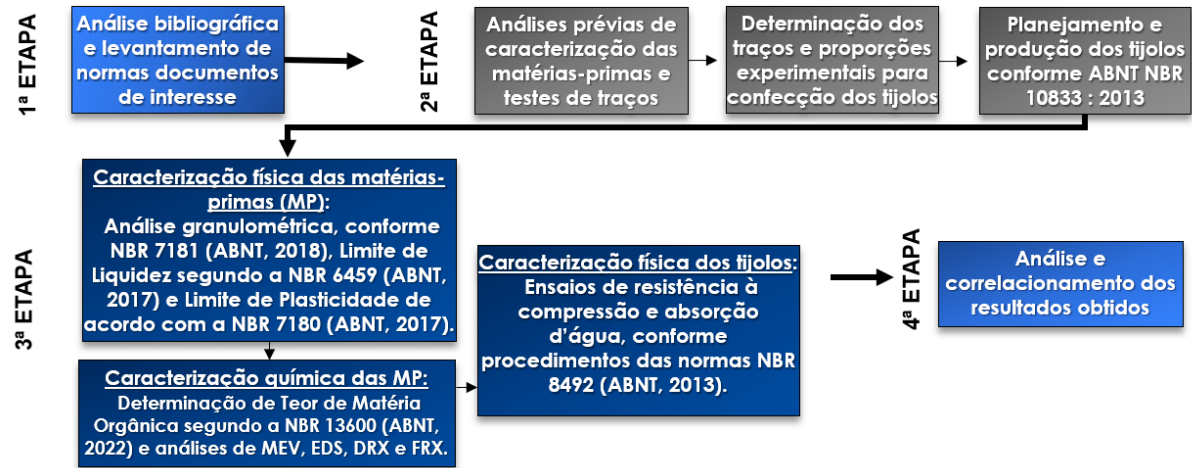
F_t : resistência à compressão simples (MPa);

F : carga de ruptura do corpo de prova (N);

S : área da aplicação da carga (mm²).

A Figura 11 apresenta um resumo esquemático do planejamento experimental deste trabalho.

Figura 11 - Resumo do planejamento experimental.



Fonte: Autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES PRÉVIAS DOS SOLOS

4.1.1 Porcentagem de areia

Na Tabela 6, são apresentados os resultados da análise prévia do solo natural e do material de termiteiro, para a determinação da porcentagem de areia para a correção da granulometria do Argissolo.

Tabela 6 - Resultados da análise prévia do solo natural e do material de termiteiro.

Solo	% retida na peneira #200 (0,075 mm)	Exige correção
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)	35,4%	Sim
Solo de termiteiro	45,5%	Sim

Fonte: Autora.

A norma NBR 10833 (ABNT, 2012) estabelece como requisito para solos destinados à composição dos tijolos de solo-cimento, apresentar uma faixa entre 50% a 90% de material com partículas superiores a 0,0075mm. Dessa forma, foi realizada a correção do solo, ajustando o teor de areia de forma a se enquadrar ao padrão granulométrico estabelecido pela norma NBR 10833:2012.

4.1.2 Determinação do pH e do teor de matéria orgânica dos solos

Na Tabela 7, são apresentados os resultados da determinação do pH da areia, do solo natural (PVA) e do solo de termiteiro.

Tabela 7 - Valores de pH da areia, do Argissolo natural e do solo de termiteiro.

Amostra	Areia	Argissolo Natural	Solo de termiteiro
	pH		
1	6,1	4,9	5,5
2	6,8	4,8	5,5
3	7,1	4,9	5,4
Média	6,7	4,9	5,5

Fonte: Autora.

Como pode ser observado, a areia apresentou pH próximo ao neutro (6,7), enquanto para o Argissolo o pH foi de 4,9, caracterizando-se como solo ácido, que sob ação dos

térmitas teve um pequeno aumento no pH, sendo de 5,5. Mujinya *et al.* (2013) demonstra que os intestinos dos cupins contêm compartimentos com gradientes crescentes de pH e diferentes estados de oxigênio e hidrogênio, o que pode contribuir, em última instância, para a química e estrutura dos solos de montes de cupins. De acordo com Bell (1993), o cimento Portland resistente a sulfatos é mais adequado para solos ácidos, como os utilizados no atual estudo, justificando a aplicação do cimento CP II - E - RS.

Este resultado comprova o que foi relatado por Valério (2006), sobre a presença expressiva de cupinzeiros em áreas de pastagem como consequência de um ambiente profundamente alterado, apresentando solos ácidos e de baixa fertilidade.

Vargas Niño (2015) também destacou entre as propriedades do solo que mais contribuíram para o aumento da incidência de cupins, a acidez, com pH variando entre 3,8 a 4,6 e observou que as propriedades químicas, bem como a liberação de CO₂ e CH₄ realizada pelos térmitas, sugerem que estes insetos colaboram para a maior estabilidade da matéria orgânica, contribuindo assim para o estoque de carbono dentro dos campos de altitude estudados.

De fato, no presente estudo, além da elevação do pH do solo foi verificado aumento do teor de matéria orgânica no montículo de térmitas, sendo de 39 g dm⁻³ (3,9%) para o Argissolo natural e de 66 g dm⁻³ (6,6 %) para o solo de termiteiro (Tabela 8).

Tabela 8 - Teores de matéria orgânica obtidos para o Argissolo e o solo de termiteiro.

Solo	Amostra	MO (%)	Média (%)
Solo de Termiteiro	Amostra 1	6,67	6,6
	Amostra 2	6,45	
	Desvio Padrão	0,16	
Argissolo Natural	Amostra 1	3,75	3,9
	Amostra 2	3,97	
	Desvio Padrão	0,15	

Fonte: Autora.

De acordo com Holt e Coventry (1982), o enriquecimento do solo modificado pelos cupins está associado com aumento no teor de matéria orgânica, provavelmente devido à incorporação de resíduos vegetais e de material fecal e salivar ao solo durante a construção do cupinzeiro e escavações de galerias.

Blücher (1951) também relatou que o teor de matéria orgânica presente no solo deve ser bem baixo quando se pretende confeccionar materiais a base de solo-cimento e indicou que o limite máximo seguro é de 20 g dm⁻³ (2%), apesar de existirem casos bem-sucedidos

de estabilização da mistura solo-cimento com solos contendo até 50 g dm^{-3} (5%) de matéria orgânica e experiências insatisfatórias com solos contendo 5 g dm^{-3} (0,5%). Tais observações levaram alguns autores como Catton (1940) a afirmarem que não existia correlação entre teor de cimento e matéria orgânica.

Posteriormente, Clare (1954), Clare e Farrar (1956) e Ingles e Metcalf (1972) sustentaram que o teor de matéria orgânica exerce influência na qualidade da mistura solo-cimento devido à presença de açúcares e ácido húmico e que íons cálcio provenientes dos tipos de cimento empregados na mistura podem neutralizar os efeitos nocivos da presença de matéria orgânica proporcionando um melhor equilíbrio do pH da mistura. Grande (2003), destacou que o solo com elevado teor de matéria orgânica, sofre ação da alcalinidade elevada e tem alterada sua estabilização como matéria prima em misturas solo-cimento, comprometendo a qualidade do tijolo modular.

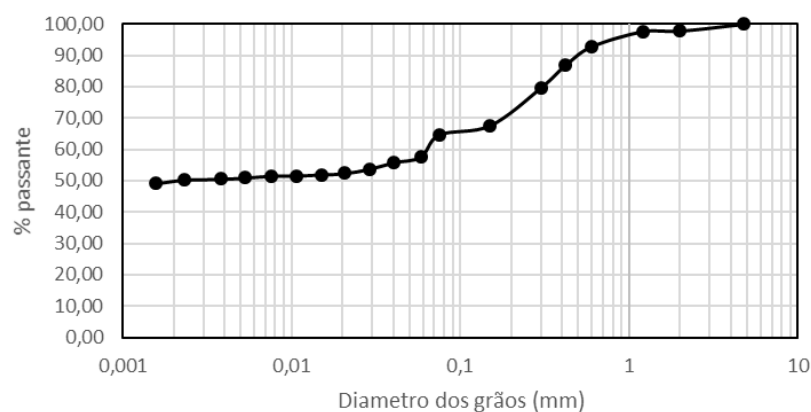
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

4.2.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi feita pela combinação de sedimentação e peneiramento, seguindo a norma NBR 7181:2016. A partir do resultado do ensaio, obteve-se as curvas granulométricas de cada solo, conforme Figura 12 e 13.

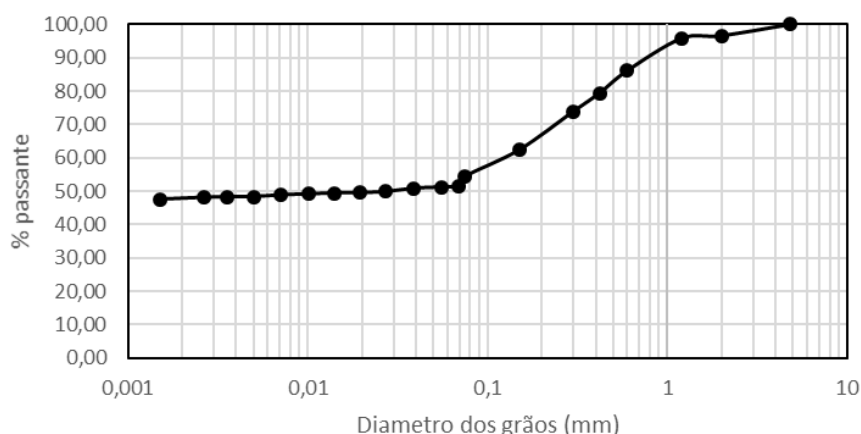
A partir da curva granulométrica pode-se determinar a porcentagem de frações granulométricas dos solos tendo como base a NBR 6502 (ABNT, 2022). Tendo como resultado o solo natural composto por 35,5% de areia, 14,3% de silte e 50,4% de argila e o solo de termiteiro composto por 45,6% de areia, 4,8% de silte e 49,6% de argila.

Figura 12 – Curva granulométrica do solo natural.



Fonte: Autora.

Figura 13 – Curva granulométrica do solo de termiteiro.



Fonte: Autora.

De acordo com os resultados, os solos utilizados para a confecção dos tijolos não atenderam as características recomendadas pela NBR 10833:2012, de 10% a 50% passante na peneira de abertura de malha 0,075 mm, exigindo correção para a utilização na confecção dos tijolos de solo-cimento. Dessa forma, optou-se por realizar a correção do solo, ajustando o teor de areia para valores que se enquadram no padrão granulométrico estabelecido pela norma.

A areia utilizada para correção do solo também foi analisada quanto sua granulometria seguindo a norma NBR 7181:2016. Os resultados do peneiramento fino da areia são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Peneiramento fino da areia utilizada para correção do solo.

Amostra	Diâmetro Médio das Partículas (mm)						
	2,00	1,20	0,60	0,425	0,30	0,15	0,075
	----- % retida -----						
Areia	0	2,43	22,91	43,51	21,31	9,27	0,57

Fonte: Autora.

Com base neste resultado, pode-se classificar a amostra como areia média, visto que a maior proporção de partículas tem o diâmetro entre o intervalo 0,60 – 0,30 mm, somando 64,82% dentro deste intervalo, 25,34% acima e 31,15% abaixo.

A análise granulométrica e posterior correção com adição de areia visa, além de verificar o cumprimento da norma, otimizar as proporções entre areia, silte e argila, para uma

redução dos vazios e um empacotamento mais eficiente das partículas, já que estas são propriedades que interferem diretamente na qualidade dos tijolos (José e Kasthurba, 2020).

4.2.2 Limites de consistência

Na Tabela 10, são apresentados os resultados do limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) dos solos.

Tabela 10 - Resultados para os limites de consistência do solo natural e de termiteiro.

Solo	Limite de liquidez %	Limite de plasticidade %	Índice de plasticidade %
Argissolo	44,5	28,6	15,9
Solo de termiteiro	36,3	24,9	11,5

Fonte: Autora.

Analisando os resultados e tendo como base os parâmetros de Jenkins (1993) citado por Caputo (2015), o argissolo é classificado como altamente plástico, já que apresentou o índice de plasticidade de 15,9%, sendo superior a 15%. O solo de termiteiro por sua vez foi classificado como medianamente plástico, segundo a mesma classificação, já que apresentou o índice de plasticidade de 11,5%, estando entre a faixa de 7 – 15 %.

Com base nestes resultados, o solo natural e o material de termiteiro atenderam as características recomendadas pela norma NBR 10833:2012, com limite de liquidez menor ou igual a 45% e índice de plasticidade menor ou igual a 18%. Destaca-se que o argissolo apresentou índices de consistência superiores ao solo de termiteiro e mais próximos dos limites máximos recomendados pela norma.

4.2.3 Análises Morfológicas, Químicas e Mineralógicas dos solos

Os resultados obtidos da análise por Fluorescência de raios X, para o Argissolo natural e sob ação de térmitas são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Caracterização química por fluorescência de raios X do Argissolo natural e do solo de termiteiro, valores expressos em percentual em massa de compostos, normalizados a 100%.

Parâmetros químicos	Argissolo Natural	Solo de termiteiro
	----- % -----	----- % -----
SiO ₂	43,02	52,98
Al ₂ O ₃	37,98	37,40
Fe ₂ O ₃	16,46	7,46
TiO ₂	1,58	1,20
SO ₃	0,33	0,17
P ₂ O ₅	0,18	0,15
K ₂ O	0,11	0,09
MgO	0,10	0,25
Na ₂ O	0,10	0,05
MnO	0,07	0,07
ZrO ₂	0,04	0,08
CaO	0,03	0,11

Fonte: Autora.

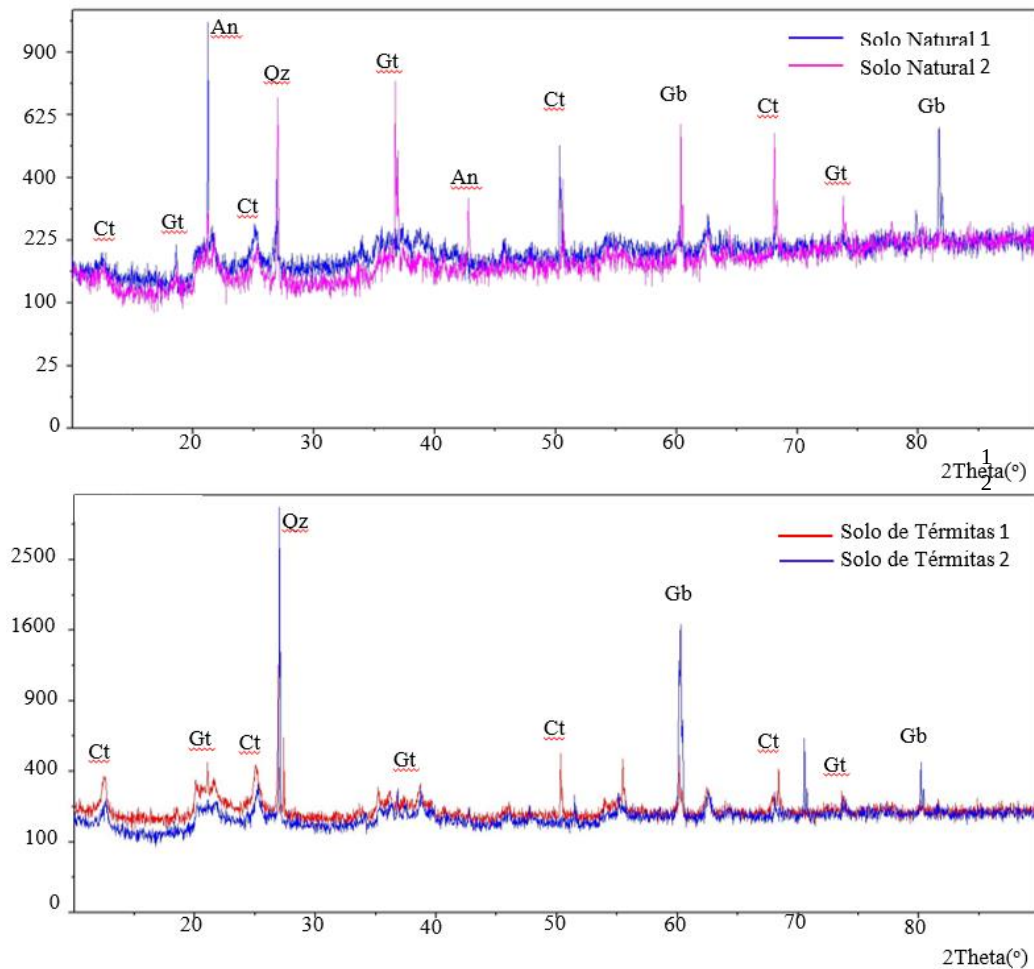
De acordo com os resultados das análises químicas realizadas por fluorescência de raios X, o Argissolo de textura argilosa, em seu estado natural, bem como sob ação de térmitas possui composição química apropriada para ser adicionado à mistura solo-cimento, tendo em vista que possui teores adequados de óxidos (SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃) superior a 50% como preconiza a NBR 12653 (ABNT, 2014) para ser classificado como material pozolânico.

Como pode ser observado, o solo sob ação das térmitas apresentou maiores teores de sílica (SiO₂), óxidos de magnésio (MgO), de zircônio (ZrO₂) e, principalmente, de cálcio (CaO), que aumentou em aproximadamente quatro vezes em relação ao teor do solo natural. Por outro lado, apresentou redução nos teores óxidos de ferro (Fe₂O₃); de enxofre (SO₃) e de sódio (Na₂O).

O teor de Fe₂O₃ no solo de termiteiro foi inferior a 8%, caracterizando-o, portanto, como solo hipoférico, enquanto o solo natural apresentou 16,5% de Fe₂O₃, sendo caracterizado como solo mesoférico (8 a <18%) (SANTOS *et al.*, 2018). Neste aspecto, as alterações mais significativas do solo sob ação de termiteiro foi a redução de óxidos de ferro (Fe₂O₃) e aumento no teor de sílica (SiO₂). O teor de óxido de ferro (Fe₂O₃) pode conferir uma coloração avermelhada ao tijolo após a prensagem e cura. Os óxidos alcalino-terrosos CaO e MgO também podem estar presentes na estrutura de silicatos.

Os elevados teores de SiO₂ e de Al₂O₃ no solo natural e sob ação de termiteiro são indicativos da presença de aluminosilicatos, representados principalmente pela caulinita, como foi confirmado pela análise de difratometria de raios X, cujos espectros para Argissolo natural e sob ação das térmitas são apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Difratogramas de raios-X do Argissolo em seu estado natural e sob ação das térmitas.



*Minerais: Quartzo - Qz (SiO_2); Anatásio - An (TiO_2); Caulinita - Ct ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$); Goethita - Gt ($\text{FeO}(\text{OH})$); Gibbsita - Gb ($\text{Al}(\text{OH})_3$).

Fonte: Autora.

Com base nos difratogramas da análise mineralógica do Argissolo natural e sob ação de térmitas, foi possível identificar a elevada presença de sílica (SiO_2) na forma de quartzo (Qz) e de aluminossilicatos como a caulinita (Ct); óxidos de ferro, representados principalmente por goethita (Gt); e entre os óxidos de alumínio, a gibbsita (Gb). Estes resultados corroboram com a caracterização química realizada por fluorescência de raios X, pois todos os argilominerais identificados pela difratometria são de baixa atividade e indicam o alto grau de intemperismo do Argissolo da Zona da Mata Mineira. Embora, não tenha sido observada alteração nos minerais presentes no solo natural, alguns picos tornaram-se ligeiramente mais intensos no solo sob ação de termiteiro, principalmente de SiO_2 .

O elevado teor de sílica no solo de termiteiro é favorável em misturas solo-cimento, neste sentido, Grande (2003) observou que a adição de sílica ativa foi favorável à mistura

solo-cimento, promovendo aumento das resistências mecânicas e superando, em alguns casos, a resistência dos tijolos compostos apenas por solo e cimento.

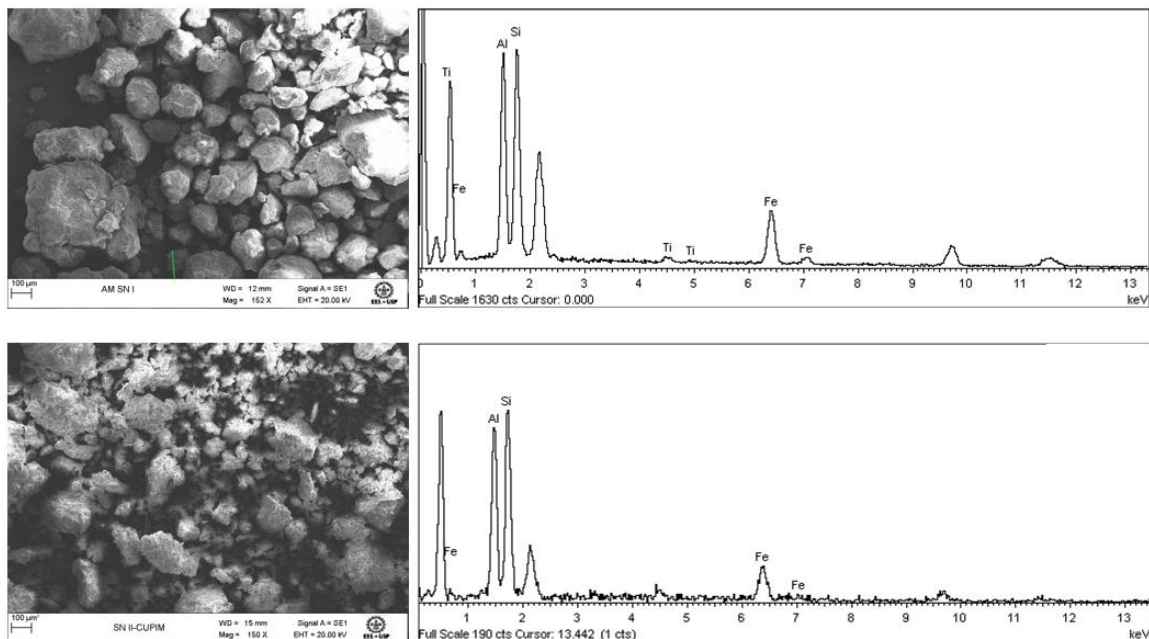
Com base nestes resultados, verifica-se que o Argissolo de textura argilosa, em seu estado natural, bem como sob ação das térmitas possui composição química apropriada para ser adicionado à mistura solo-cimento, tendo em vista que possui teores adequados de óxidos ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) superior a 50% como preconiza a NBR 12653 (ABNT, 2014) para ser classificado como material pozolânico natural. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Fapohunda e Daramola (2020), que também classificaram o solo de cupim como pozolana natural.

Obianyo *et al.* (2020) explicam que o aumento do teor de sílica e de alumina no solo de termiteiro é importante em misturas com cimento, em que o CaO presente no cimento reage com a água para formar hidróxido de cálcio $\text{CaO (s)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(s)}$ pois formação de silicatos dicálcicos e tricálcicos e que, em misturas solo-cimento, conferem maior resistência ao cimento.

Akinyemi *et al.* (2019) verificaram que a alumina fornecida pelo solo de termiteiro atua como um fundente quando misturada ao cimento. Além disso, o óxido de ferro presente no solo de termiteiro forma aluminoferrito tricálcico ao reagir com o cálcio fornecido pelo cimento, resultando em maior resistência e dureza às misturas solo-cimento. Assim, o termiteiro atua como fonte de SiO_2 e Al_2O_3 para uma reação adicional de hidratação com o Ca fornecido pelo cimento para conferir resistência às misturas.

A Figura 15 apresenta as microestruturas do solo natural e sob ação do termiteiro, ambas com elevada heterogeneidade, com vários tamanhos e formatos de partículas. Também é interessante notar a presença de partículas altamente interligadas observadas principalmente nas amostras de solo sob ação de termiteiro, onde o teor de matéria orgânica foi maior.

Figura 15 – Micrografias e respectivos difratogramas da amostra de solo natural (à esquerda) e de solo de termiteiro (à direita), com aumento mínimo de 150x.



Fonte: MEV acoplado com EDS, LEO 1450VP OXFORD INSTRUMENTS.

Quanto aos minerais, ambas as amostras de solo analisadas pelo EDS apresentaram riqueza em aluminossilicatos e óxidos, o que também foi verificado nas análises de fluorescência de raios X (FRX). Entre os óxidos, o TiO_2 que na análise de FRX aparece em maior quantidade nas amostras de Argissolo natural, na análise de EDS não foi identificado no solo sob ação de termiteiro. A literatura relata que o Ti é considerado um elemento imóvel devido à natureza relativamente insolúvel dos minerais em que ele faz parte, como o rutilo e o anatásio (TiO_2). Normalmente a presença de TiO_2 está relacionada com a eluviação ou dissolução das caulinitas, o que minimiza a sobreposição de picos, aumentando sua concentração na fração argila (CORRÊA *et al.*, 2008).

Estes resultados mostram que cada componente mineralógico presente no solo natural e no solo de termiteiro desempenha um papel importante na ligação das partículas em termos de reações químicas e estrutura física das misturas solo-cimento. A maioria dos estudos demonstrou que a substituição parcial do solo de termiteiro por cimento aumentou consideravelmente a quantidade de cálcio na mistura solo-cimento, o que pode explicar o aumento da resistência à medida que o nível de substituição aumentou. No entanto, Mahamat *et al.* (2021) destacaram que esta afirmação é verdade até certo percentual de substituição, pois à medida que o nível de substituição aumenta, a resistência diminui, o que ocorre porque as reações entre os elementos do solo de termiteiro e do cimento não estão mais contribuindo para o comportamento mecânico da mistura.

4.2.4 Cálculo de Ki e Kr e relação molecular $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$

Os resultados obtidos para o cálculo de Ki e Kr e relação molecular $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$, para o Argissolo natural e sob ação de térmitas são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Índices Ki e Kr e relação molecular $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ do Argissolo em condições naturais e sob ação de térmitas.

Solos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	Ki	Kr
	----- g kg ⁻¹ -----					
Argissolo Natural	430,2	379,8	164,6	2,31	1,93	1,51
Solo de termiteiro	529,8	374,0	74,6	5,01	2,41	2,14

Fonte: Autora.

Pela aplicação das técnicas de difratometria de raios X e fluorescência de raios X, foi possível a determinação da composição mineralógica e química do Argissolo natural e sob ação de térmitas. Nas duas amostras os minerais predominantes foram caulinita (Ct), quartzo (Qz), goethita (Gt) e gibbsita (Gb).

De acordo com a classificação de Resende e Santana (1988), os valores de Kr maiores que 0,75 reforçam as análises anteriores, indicando que os solos utilizados neste estudo são cauliniticos e não oxídicos, o que também foi comprovado pelas análises de raios X. Os valores de Ki do solo natural e de termiteiro, próximos a 2, também indicam tratar-se de solo caulinitico, sendo o valor de Ki superior para o solo de termiteiro (2,41), indicando um solo com maior teor de aluminosilicatos e menor presença de óxidos de ferro, que o Argissolo em condições naturais, cujo Ki foi inferior a 2 (1,93).

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DOS TIJOLOS

4.3.1 Análise dimensional dos corpos de prova

A Tabela 13 apresenta o resultado das análises dimensionais dos corpos de prova utilizados posteriormente para ensaio de compressão e absorção. Com esses valores foi obtido o desvio padrão com a finalidade de comparação de estabilidade dimensional de cada lote de tijolos.

Tabela 13 - Dimensões nominais dos corpos de prova com diferentes composições.

(continua)			
Lote de tijolos com traço 4 argissolo : 2 areia : 1 cimento	Altura (mm) Média	Largura (mm) Média	Comprimento(mm) Média
I-TSC1	70,1	125,2	249,7
I-TSC2	70,3	125,4	249,8
I-TSC3	69,9	125,1	249,7
I-TSC4	70,3	125,4	249,9
I-TSC5	69,8	125,3	249,5
I-TSC6	70,7	125,8	249,4
I-TSC7	70,3	125,8	249,8
I-TSC8	70,1	125,6	249,3
I-TSC9	70,6	125,5	249,6
I-TSC10	70,3	125,4	249,5
Desvio Padrão	0,3	0,2	0,2
Lote de tijolos com traço 4 argissolo : 2 areia : 0,2 termiteiro : 0,8 cimento	Altura (mm) Média	Largura (mm) Média	Comprimento(mm) Média
II-TS1	70,3	125,7	249,8
II-TS2	69,8	125,3	249,5
II-TS3	70,1	125,0	249,1
II-TS4	70,8	125,4	249,5
II-TS5	70,0	125,3	249,9
II-TS6	70,5	125,1	249,3
II-TS7	69,9	125,0	249,6
II-TS8	70,1	125,8	249,6
II-TS9	70,7	124,9	249,0
II-TS10	69,9	125,7	249,3
Desvio Padrão	0,4	0,3	0,3
Lote de tijolos com traço 4 argissolo : 2 areia : 0,5 termiteiro : 0,5 cimento	Altura (mm) Média	Largura (mm) Média	Comprimento(mm) Média
III-TS1	69,9	125,8	249,3
III-TS2	70,3	125,5	249,5
III-TS3	69,7	125,4	249,1
III-TS4	70,8	125,3	249,0
III-TS5	70,7	125,1	249,1
III-TS6	68,9	125,0	249,4
III-TS7	70,3	125,8	249,6
III-TS8	69,1	125,3	249,0
III-TS9	70,7	125,5	249,5
III-TS10	69,5	125,9	249,6
Desvio Padrão	0,7	0,3	0,2
Lote de tijolos com traço 5 termiteiro: 1 areia: 1 cimento	Altura (mm) Média	Largura (mm) Média	Comprimento(mm) Média
IV-TS1	70,5	125,9	249,7
IV-TS2	70,7	124,7	249,1
IV-TS3	70,0	125,8	249,8
IV-TS4	69,4	125,1	249,1
IV-TS5	70,1	125,8	249,2
IV-TS6	70,9	125,2	249,5
IV-TS7	69,1	125,2	249,7
IV-TS8	69,5	125,7	249,5
IV-TS9	70,3	125,9	249,0
IV-TS10	70,0	125,1	249,2
Desvio Padrão	0,6	0,4	0,3

Tabela 13 - Dimensões nominais dos corpos de prova com diferentes composições.

Lote de tijolos com traço 5 termiteiro: 2 areia: 1 cimento	Altura (mm)	Largura (mm)	(conclusão) Comprimento(mm)
	Média	Média	Média
V-TS1	68,7	125,3	249,5
V-TS2	69,3	125,9	249,8
V-TS3	70,1	125,6	249,7
V-TS4	70,3	125,1	249,0
V-TS5	69,5	125,0	249,9
V-TS6	70,1	125,3	249,9
V-TS7	69,3	125,7	249,1
V-TS8	70,7	125,4	249,2
V-TS9	70,3	125,4	249,1
V-TS10	69,4	125,0	249,8
Desvio Padrão	0,6	0,3	0,4

Fonte: Autora.

Como pode ser observado na Tabela 13, as dimensões dos corpos de prova apresentaram baixa variação dimensional, sendo observada uma produção padronizada nas dimensões dos tijolos e atendendo os requisitos da norma de ± 1 mm de tolerância para as dimensões nominais. É possível observar uma maior variação do desvio padrão para o parâmetro de altura do tijolo e uma maior constância em relação a largura e comprimento.

4.3.2 Ensaio de absorção d'água

Os resultados do ensaio de absorção dos tijolos com diferentes traços, após 28 dias de cura, são apresentados na Tabela 14. Também foi calculado o desvio padrão para medir o grau de dispersão dos dados referentes a cada lote de tijolos.

Tabela 14 - Absorção de água dos tijolos ecológicos em diferentes traços após 28 dias de cura.

Lote de tijolos com traço 4 argissolo : 2 areia : 1 cimento	Massa seca (g)	Massa Saturada (g)	(continua)	
			Absorção de água (%)	Média (%)
I-TSC1	3280	3610	9,1	11,1
I-TSC2	3205	3625	11,6	
I-TSC3	3130	3585	12,7	
Desvio Padrão			0,5	
Lote de tijolos com traço 4 argissolo : 2 areia : 0,2 termiteiro : 0,8 cimento	Massa seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção de água (%)	Média (%)
II-TSC1	2950	3335	11,5	11,8
II-TSC2	2985	3370	11,4	
II-TSC3	2795	3190	12,4	
Desvio Padrão			0,5	

Tabela 14 - Absorção de água dos tijolos ecológicos em diferentes traços após 28 dias de cura.

(conclusão)				
Lote de tijolos com traço 4 argissolo : 2 areia : 0,5 termiteiro : 0,5 cimento	Massa seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção de água (%)	Média (%)
III-TSC1	2930	3345	12,4	12,2
III-TSC2	2990	3375	11,4	
III-TSC3	2910	3340	12,9	
Desvio Padrão			0,7	
Lote de tijolos com traço 5 termiteiro: 1 areia: 1 cimento	Massa seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção de água (%)	Média (%)
IV-TSC1	2995	3315	9,7	9,2
IV-TSC2	3065	3355	8,6	
IV-TSC3	3040	3350	9,3	
Desvio Padrão			0,5	
Lote de tijolos com traço 5 termiteiro: 2 areia: 1 cimento	Massa seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção de água (%)	Média (%)
V-TSC1	2965	3260	9,0	8,9
V-TSC2	2940	3250	9,5	
V-TSC3	3025	3300	8,3	
Desvio Padrão			0,6	

Fonte: Autora.

Constata-se que todos os tijolos atenderam às especificações quanto à absorção de água da norma NBR 8492:2012, que estabelece que o tijolo não deve apresentar valores individuais superiores a 22% e a média dos valores de absorção de água maior do que 20%.

Os tijolos cuja composição maior foi de solo de termiteiro, apresentaram os menores valores de absorção de água, comparado aos tijolos que sua maior composição era Argissolo.

Essa resistência à penetração de líquidos nos solos de cupim, em comparação com a solo comum, são demonstradas por Minjinyawa *et al.*, (2013) e também por Akinyemi *et al.* (2019) quando usada na produção de tijolos.

Estes resultados podem ser explicados pela composição química da saliva e a secreção das térmitas que modificam o solo, proporcionando assim um revestimento de filme hidrofóbico que oferece uma resistência superior à entrada de umidade em comparação com o material de solo convencional (MILLOGO *et al.*, 2011).

Os tijolos que tiveram substituição parcial da quantidade de cimento, com o acréscimo correspondente em solo de termiteiro, apresentaram aumento da absorção d'água. Estes resultados estão em consonância com Ifetayo *et al.* (2018), cujos resultados revelam que, à medida que os teores de cimento aumentam, há a redução da absorção d'água.

4.3.3 Ensaio de resistência à compressão simples

Os resultados do ensaio de resistência à compressão simples dos tijolos com diferentes composições, após 28 dias de cura, são apresentados na Tabela 15. Também foi calculado o desvio padrão para medir a uniformidade dos dados referentes à resistência dos tijolos com diferentes composições.

Tabela 15 - Resistência à compressão simples para os diferentes traços de tijolos ecológicos após 28 dias de cura.

(continua)

Lote de tijolos com traço 4 argissolo : 2 areia : 1 cimento	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)
I-TSC4	2,36	2,43
I-TSC5	2,42	
I-TSC6	2,45	
I-TSC7	2,74	
I-TSC8	2,33	
I-TSC9	2,40	
I-TSC10	2,34	
Desvio Padrão	0,14	
Lote de tijolos com traço 4 argissolo : 2 areia : 0,2 termiteiro : 0,8 cimento	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)
II-TSC4	2,17	2,14
II-TSC5	2,11	
II-TSC6	2,05	
II-TSC7	2,04	
II-TSC8	2,19	
II-TSC9	2,20	
II-TSC10	2,24	
Desvio Padrão	0,08	
Lote de tijolos com traço 4 argissolo : 2 areia : 0,5 termiteiro : 0,5 cimento	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)
III-TSC4	1,92	1,84
III-TSC5	1,98	
III-TSC6	1,65	
III-TSC7	1,97	
III-TSC8	1,97	
III-TSC9	1,69	
III-TSC10	1,74	
Desvio Padrão	0,15	
Lote de tijolos com traço 5 termiteiro: 1 areia: 1 cimento	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)
IV-TSC4	2,56	2,62
IV-TSC5	2,61	
IV-TSC6	2,59	
IV-TSC7	2,75	
IV-TSC8	2,66	
IV-TSC9	2,69	
IV-TSC10	2,49	
Desvio Padrão	0,6	

Tabela 15 - Resistência à compressão simples para os diferentes traços de tijolos ecológicos após 28 dias de cura.

		(conclusão)
Lote de tijolos com traço 5 termiteiro: 2 areia: 1 cimento	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)
V-TSC4	2,43	2,50
V-TSC5	2,50	
V-TSC6	2,48	
V-TSC7	2,69	
V-TSC8	2,55	
V-TSC9	2,30	
V-TSC10	2,54	
Desvio Padrão	0,12	

Fonte: Autora.

Com base nos resultados do ensaio de resistência à compressão, podemos inferir que, exceto os tijolos com traço 4 argissolo: 2 areia: 0,5 termiteiro: 0,5 cimento, todos os demais atenderam às especificações da norma NBR 8492:2012, que estabelece que os corpos de prova não devem apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 MPa (20 kgf cm⁻²) nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf cm⁻²).

Os tijolos cujo solo matriz foi o solo de termiteiro, apresentaram os maiores valores de resistência que os tijolos confeccionados com solo natural. Esse aumento da resistência à compressão pode ser atribuído à reação cimentante que ocorre entre os componentes silicosos e aluminosos dos termiteiros e o cálcio proveniente do cimento Portland (MAHAMAT *et al.*, 2021). Outros pesquisadores também sugeriram que as propriedades mecânicas aprimoradas do solo de termiteiro (em comparação com aquelas dos solos próximos) podem ser atribuídas aos efeitos das secreções dos cupins (OMOFUNMI e OLADIPO, 2018).

Os tijolos que tiveram substituição parcial do cimento por solo de termiteiro, apresentaram menor resistência à compressão simples. Ifetayo *et al.*, (2018), com seus resultados, relata que à medida que os teores de cimento aumentam na mistura com solo de termiteiro, a resistência à compressão também aumenta, o que explica a diminuição da resistência com os menores teores de cimento.

Esses resultados indicam que o termiteiro pode substituir o solo, inclusive aumentando a resistência mecânica dos tijolos, mas não substitui o cimento diretamente.

5 CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas foram obtidos resultados que possibilitaram algumas conclusões a respeito do aproveitamento de termiteiros na confecção de tijolos ecológicos.

As características do solo de termiteiro, quanto à granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade, se mostrou mais favorável à utilização para a confecção dos tijolos do que o Argissolo natural, embora ambos tenham exigido correção de granulometria para a confecção do tijolo ecológico, por meio da adição de areia.

O Argissolo de textura argilosa, em seu estado natural, bem como sob ação de térmitas possui composição química apropriada para ser adicionado à mistura solo-cimento, tendo em vista que apresentou teores adequados de óxidos ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) superior a 50% como preconiza a NBR 12653:2014 para ser classificado como material pozolânico.

O solo sob ação das térmitas apresentou maiores teores de sílica (SiO_2), óxidos de Mg (MgO), de zircônio (ZrO_2) e, principalmente, de cálcio (CaO), que aumentou em aproximadamente quatro vezes em relação ao teor do solo natural, atendendo aos requisitos de pozolana natural.

A ação das térmitas aumentou o pH e o teor de matéria orgânica do Argissolo, propriedades essas que necessitam de maior embasamento científico e normatização para determinação de valores adequados dessas matérias-primas em misturas solo:cimento.

O emprego do solo de termiteiro em substituição parcial do cimento, em 20% e 50%, resultou em diminuição da resistência à compressão e aumento da absorção de água dos tijolos. No entanto, o emprego do solo de termiteiro em substituição total do solo natural, resultou em aumento da resistência à compressão e redução da absorção de água, sendo indicado como matéria-prima para produção de tijolos ecológicos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os estudos e embasamentos científicos a respeito dos efeitos e propriedades dos solos de termiteiros são escassos, assim, são necessários mais trabalhos de pesquisa, não apenas para confirmar os resultados obtidos neste estudo, mas também em áreas não correlatas a este trabalho, a fim de obter respostas mais completas para uso de solo de termiteiro como matéria-prima.

Sugere-se os seguintes temas para aprofundamento em trabalhos futuros:

- Avaliar a influência das diferentes classes de solos e tipos de termiteiros como matéria-prima, em busca de outros resultados em termos de resistência à compressão, absorção e durabilidade;
- Aprofundar conhecimentos a respeito da composição química da saliva e a secreção das térmitas e sua influência nas alterações das propriedades químicas e pozolânicas do solo;
- Avaliar o efeito da calcinação do solo de termiteiros na pozolanicidade e substituição do cimento;
- Analisar a influência dos outros tipos de cimento Portland na estabilização de solos na mistura solo-cimento;
- Investigar a influência da utilização de termiteiros no ciclo de vida dos tijolos ecológicos e no ecossistema;
- Projetar e testar outros métodos de produção de tijolos que utilizem diferentes termiteiros como matéria-prima;
- Obter mais dados de teste para tijolos com 7, 14 e 21 dias de cura, para validar a relação entre a resistência à compressão e a cura dos tijolos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, L.Q.C.; BISCARO, G.A.; NEGRO, S.R.L.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, L.A.; LEAL, S.T. Resistência a compressão de tijolos de solo-cimento fabricados com o montículo do cupim *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1832). **Revista ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.2, p.553-560, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000200032>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- AKINYEMI, B. A.; OROGBADE, B. O.; OKORO, C. W. The potential of calcium carbide waste and termite mound soil as materials in the production of unfired clay bricks. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 279, p. 123693, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123693>. Acesso em: 13 dez. 2022.
- AKINYEMI, B. A., BAMIDELE, A., OLUWANIFEMI, A. Influence of water repellent chemical additive and different curing regimes on dimensional stability and strength of earth bricks from termite mound-clay. **Heliyon**, [s.l.], v.5, n.1. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01182>. Acesso em: 02 jan. 2023.
- ANASTASIOU, M.; PAPACHRISTOFOROU, D.; ANESIADIS, K.; ZAFEIRIDIS, K.; TSARDAKA, E.C. Investigation of the use of recycled concrete aggregates originating from a single ready-mix concrete plant. **Applied sciences**, [s.l.], v. 8, n. 11, p. 21–49, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app8112149>. Acesso em: 04 jan. 2023.
- ARAÚJO, M. A.; PEDROSO, A. V.; AMARAL, D. C.; ZINN, Y. L. Paragênese mineral de solos desenvolvidos de diferentes litologias na região sul de Minas Gerais. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 11-25. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100002>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- ARAÚJO, R. L. Termites of the neotropical region. In K. Krishna and F. M. Weesner. **Biology of termites**, New York, vol. 2, p. 527-571, 1970.
- ARDUIN, D.; CALDAS, L. R.; PAIVA, R. de L. M.; ROCHA, F. Life cycle assessment (LCA) in earth construction: a systematic literature review considering five construction techniques. **Sustainability**, [s.l.], v. 14, n. 20, p. 13228, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su142013228>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Cimento**: diferentes tipos e aplicações. São Paulo: ABCP, 2018. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/>. Acesso em: 14 nov. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND- ABCP. **Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais**. 3.ed. São Paulo: ABCP, 2000. 16p. Disponível em: <https://abcp.org.br/fabricacao-de-tijolos-de-solo-cimento-com-a-utilizacao-de-prensas-manuais-bt-111/>. Acesso em: 03 abr. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo: ABCP, 2002. 28p. (BT-106). Disponível em: <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/>. Acesso em: 03 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022. 59p. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 11 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 6459:2016**. Solo – Determinação do limite de liquidez. Confirmada em 10.08.2020. 5p. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 6502:2022** – Solos e Rochas – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 7180:2016**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 7181:2016** - Versão corrigida 2:2018. Solo – Análise granulométrica. 12p. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR 8491:2012**. Tijolo maciço de solo-cimento: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR 10833:2012** - Versão corrigida em 2013. Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. 3p. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR 10834:2012** - Versão corrigida em 2013. Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Requisitos. 5p. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT: NBR 12653**. Materiais pozolânicos - Requisitos. 6p. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 5736**. Cimento Portland pozolânico. 6p. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR 13600:2022**. Solo – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440 °C. 2p. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AZEVEDO, C. A.; NOGUEIRA, J. V. DE A.; CARDOSO, L. C.; REBOLLEDO, J. F. R. Melhoramento de Solos com Cimento Portland: uma revisão. In: SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA NA REGIÃO CENTRO OESTE, 5, Brasília, 2019. **Anais...** Brasília, 2019.

BANJO, A., MICHEAL, O. Prospects of coir fibre as reinforcement in termite mound clay bricks. **Acta technologica agriculturae**, Nitra, v.19, n.3, p. 57-62, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/ata-2016-0013>. Acesso em: 21 maio 2023.

BAPTISTA, G. M. M.; MADEIRA NETTO, J. S.; MENESES, P. R. Determinação da relação sílica - Alumina a partir dos dados do sensor AVIRIS (JPL/NASA), para discretização espacial do grau de intemperismo de solos tropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...**, Santos: INPE, 1998. p. 1345-1355. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.08.16.41/doc/673o.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BARBOSA, A. S.; SANTOS, G. B.; SOUZA DIAS, E.; SIQUEIRA, E. S.; SILVA, J. R.; BARBOSA, V. D. Principais fatores condicionantes da formação e implicações para uso de Cambissolos em São Desidério, Oeste da Bahia. **Revista espinhaço**, Diamantina, v. 7, p. 2–10, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3952909>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BELL, F. G. **Engineering treatment of soils**. Taylor and Francis Group, p. 235-260, 1993. *E-book*.

BLÜCHER, E. **Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários**. São Paulo: Blücher, 1951. 182p. (v.1).

BRAGA, A. M. G. S.; ROCHETA, V. L. S. A construção em terra e a sustentabilidade. In: SEMINÁRIO DE ARQUITECTURA EM TERRA EM PORTUGAL, 5., 2007, Faro. **Anais...** Faro: Aveiro, 2008. p. 1 - 8. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.1/80>. Acesso em: 20 abr. 2022.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 232p. (v.1.).

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, S. V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R. R.; ALMEIDA, M. DA C. Relações Solo-Superfície Geomórfica em uma Topossequência Várzea-Terra Firme na Região de Humaitá (AM). **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 325–336, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200002>. Acesso em: 21 maio 2023.

CATTON, M. D. Research on the physical relations of soil-cement mixtures. **Environmental science, engineering, materials science**, 1941. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Research-on-the-Physical-Relations-of-Soil-andCatton/2838fb8f4a79fc351256797046e2e3b9520d6671>. Acesso em: 14 jul. 2022.

CLARE, K. E.; SHERWOOD, P. T. The effect of organic matter on the setting of soil-cement mixtures. **Journal of applied chemistry**, London, v.4, n.11, p.625-630, 1954. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jctb.5010041107>. Acesso em: 05 out. 2023.

CLARE, K. E.; FARRAR, D. M. The use of cement of different fineness on soil- cement mixtures. **Concrete magazine research**, London, v. 8, n.4, p. 137-144, 1956. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/mac.1956.8.24.137>. Acesso em: 06 fev. 2023.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru: II - mineralogia. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 495-507, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000300010>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CONSTANTINO, R. Chave ilustrada para identificação dos gêneros de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil. **Papéis avulsos de zoologia**, São Paulo, v. 40, n.25, p. 387-448, 1999. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paz/article/view/211666/193890>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CORDEIRO, C. C. M.; BRANDÃO, D. Q.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão. **PARC - Pesquisa em arquitetura e construção**, Campinas, SP, v. 10, 2019. ISSN 1980-6809. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8651212>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CORREA, L. R. C. **Redesenho agroecológico de pastagens: efeito na qualidade do solo e na macrofauna edáfica**. 2023. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, Viçosa, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.628>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T. C. P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v.32, p. 297-313. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100028>. Acesso em: 22 jul. 2022.

COSARINSKY, M. I. The nest growth of the neotropical mound-building termite, *Cornitermes cumulans*: a micromorphological analysis. **Journal of insect science**, Oxford, vol. 11, p. 122. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1673/031.011.12201>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CRISTELO, N. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2001. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/150>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CRUZ, M.; JALALI, S. Avaliação do melhoramento de terra estabilizada com cimento e activadores. In: SEMINÁRIO ARQUITECTURA DE TERRA EM PORTUGAL, 5., 2007, Aveiro. **Actas...** Lisboa: Argumentum, 2007. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/7585>. Acesso em: 15 jun. 2022.

CRUZ, M.; JALALI, S. Melhoramento do desempenho de misturas solo-cimento. **Revista luso-brasileira de geotecnia**, Lisboa, v. 120, p. 49-64, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10198/2026>. Acesso em: 15 jun. 2022.

DE LA CRUZ, M. N. S.; DOS SANTOS JÚNIOR, H. M.; REZENDE, C. M.; ALVES, R. J. V.; CANCELLO, E. M.; DA ROCHA, M. M. Terpenos em cupins do gênero *Nasutitermes* (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae). **Química nova**, São Paulo, v.37, n. 1, p. 95-103. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422014000100018>. Acesso em: 10 fev. 2022.

EGGLETON, P.; BIGNELL, D.E.; SANDS, W.A.; MAWDSLEY, N.A.; LAWTON, J.H.; WOOD, T.G.; BIGNELL, N.C. The diversity, abundance, and biomass of termites under differing levels of disturbance in the Mbalmayo Forest Reserve, Southern Cameroon. **The royal society**, London, v. 351, p. 51-68, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0004>. Acesso em: 06 fev. 2023.

ELINWA, A.U. Strength development of termite mound cement paste and concrete. **Construction and building materials**, Guildford, v. 184, p. 143–150, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.220>. Acesso em: 18 mar. 2023.

ESPUELAS, S.; ECHEVERRIA, A.M.; MARCELINO, S.; PRIETO, E.; SECO, A. Technical and environmental characterization of hydraulic and alkaline binders. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 196, p. 1306- 1313, set. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.090>. Acesso em: 18 mar. 2023.

FAPOHUNDA, C. A; DARAMOLA, D. D. Experimental study of some structural properties of concrete with fine aggregates replaced partially by pulverized termite mound (PTM). **Journal of King Saud University – engineering sciences**, [s.l.], v. 32, n. 8, p 484-490, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.05.005>. Acesso em: 18 mar. 2023.

FAPOHUNDA, C. A.; OLADIPUPO, O. E.; AJAYI, L. B. Effects of Using Pulverized Termite Mound (PTM) as Partial Replacement of Fine Aggregate on the Durability Properties and Microstructure of Concrete. **Engineering review**, New York, v. 42, n. 2, p. 26-36, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.30765/er.1665>. Acesso em: 18 mar. 2023.

FARIAS, W. M. **Processos evolutivos de intemperismo químico e sua ação no comportamento hidromecânico de solos do planalto central**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/11902>. Acesso em: 10 fev. 2022.

FERREIRA, E. V. O.; MARTINS, V.; INDA JUNIOR, A. V.; GIASSEN E.; NASCIMENTO, P. C. Ação das térmitas no solo. **Ciência rural**, Santa Maria, v.41, n.5, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000500011. Acesso em: 04 set. 2023.

FIAIS, B. B.; SOUZA, D. S. Construção Sustentável com Tijolo Ecológico. **Revista engenharia em ação UniToledo**, Araçatuba, v. 2, n. 1, p. 94-108, 2017. Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/2559>. Acesso em: 04 set. 2023.

FRAGA, Y. S. B.; BARBOSA, A. Q.; DORTAS, I. S.; SANTOS, L. H. P.; MOTA, W.V. Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. **Cadernos de graduação: ciências exatas e tecnológicas**, Sergipe, v. 3, n.3, p.11-24, 2016. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/2882>. Acesso em: 04 set. 2023.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Mapa de solos de Minas Gerais: legenda expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente/UFV/CETEC/UFLA/FEAM, 2010. 49 p. *E-book*.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. **Cement and concrete composites**, Barking, v. 29, n.6, p. 515-524, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.03.001>. Acesso em: 18 mar. 2023.

GIRALDELLI, M. A.; MELO, F. C. L.; PEREIRA, O. A.; DOMINGUES, M. A.; PINHEIRO, S. K. T.; BRASIL, M. A. Construção com terra: breve histórico e técnicas. **Ensaio e ciências**, Campo Grande, v. 24, n. 4, p. 357–364, 2 dez. 2020. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaiociencia/article/view/8083>. Acesso em: 04 set. 2023.

GONÇALVES, T. D.; GOMES, M. I. Construção de terra crua: potencialidades e questões em aberto. **Jornadas LNEC**, Lisboa, v. 18, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268352912_CONSTRUCAO_DE_TERRA_CRUA_POTENCIALIDADES_E_QUESTOES_EM_ABERTO. Acesso em: 04 set. 2023.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2003.tde-07072003-160408>. Acesso em: 10 fev. 2022.

GRIM, R. E. **Clay mineralogy**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1968. 596 p.

HABIBA, A. A review on different types soil stabilization techniques. **International journal of transportation engineering and technology**, [s.l.], v. 3, n. 2, 2017, p. 19-24. Disponível em: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.ijtet.20170302.12>. Acesso em: 18 mar. 2023.

HANAFI, W. H. H. Compressed stabilized earth block: environmentally sustainable alternative for villages housing. **Journal of engineering and applied science**, Cairo, v. 68, n. 20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00017-9>. Acesso em: 18 mar. 2023.

HOLT, J. A.; COVENTRY, R. J. The effects of mound-building termites on some chemical properties of soils in Northeastern Australia. In: AUSTRALASIAN CONFERENCE GRASSLANDS INVERTEBRATES ECOLOGY, 3., 1982, Adelaide. **Proceedings...** Adelaide: Government Printing Division, 1982. Disponível em:

[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(86\)80007](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(86)80007). Acesso em: 18 mar. 2023.

HOUBEN, H; GUILLAUD, H. **Earth construction**: a comprehensive guide. London: Intermediate Technology Publication, 1994. *E-book*.

IFETAYO, O.; CLINTON, A.; PRETORIUS, J.-H.; JOSHUA, A. A Study of Engineering Properties of Cement Modified Termitarium Soil Found within Ado-Ekiti Metropolis for Bricks Production. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT*, 2., 2018, Washington DC. **Proceedings...** Washington DC: IEOM Society International, 2018. Disponível em: <https://ieomsociety.org/dc2018/papers/175.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2023.

INGLES, O. G.; METCALF, J.B. **Soil stabilization**: principles and practice. London: Butterworths, 1972. 374p. *E-book*.

IKPONMWOSA, E.; SALAU, M.; MUSTAPHA, S. Strength characteristics of concrete beams with cement partially replaced by uncalcined soldier-ant mound clay. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN ENGINEERING AND TECHNOLOGY*, 2., 2011, Entebbe. **Proceedings...** Entebbe: Mark Editor, 2011. Disponível em: <https://news.mak.ac.ug/wpcontent/uploads/2011/06/Ikponmwosa.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2023.

IKUMAPAYI, C.M.; ARUM, C.; ALANEME, K.K. Reactivity and hydration behavior in agro-based pozzolanic concrete. **Materials today**: proceedings, [s.l.], v.38, n.2, p.508-513, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.385>. Acesso em: 18 out. 2022.

ITALI, O. P. M. **Efeito da composição de misturas de solo-cimento nos parâmetros de rigidez e de resistência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/59832/1/000129035.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2022.

ITURRI L. A.; BUSCHIAZZO D. E. Cation exchange capacity and mineralogy of loess soils with different amounts of volcanic ashes. **Catena**, Amsterdam, v. 121, p. 81–87. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.021>. Acesso em: 18 out. 2022.

JOSÉ, A.; KASTHURBA, A. K. Laterite soil-cement blocks modified using natural rubber latex: Assessment of its properties and performance. **Construction and building materials**, Guildford, v. 273, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121991>. Acesso em: 18 out. 2022.

KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia de solos brasileiros. *In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO. Pedologia*: fundamentos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. 145p.

KEHRIG, A. G. As relações Ki e Kr no solo. *In: CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISAS AGRONÔMICAS. Boletim do Instituto de Química Agrícola*, Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, n.13, 1949. 67p.

KER, J. C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 1995. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

KER, J. C.; NOVAIS, R. F. Fundamentos para o desenvolvimento da pedologia e da fertilidade do solo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, RIBEIRÃO PRETO. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/dalmolin/download/textospl/fundame.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2022.

KRISHNAN, K. Termites. **Encyclopaedia britannica**, [s.l.], 2015. Disponível em: <https://www.britannica.com/animal/termite>. Acesso em: 30 mar. 2022.

KUMAR, S. V.; SANTHANAM, M. Particle packing theories and their application in concrete mixture proportioning: A review. **The indian concrete journal**, [s.l.], v. 77, n. 9, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286840879_Particle_packing_theories_and_their_application_in_concrete_mixture_proportioning_A_review. Acesso em: 27 abr. 2022.

LA FAGE, J.P.; NUTTING, W.L. Nutrient dynamics of termites. *In*: PRODUCTION ECOLOGY OF ANTS AND TERMITES. **Cambridge university press**, Cambridge: M.V. Brian, p.165-232, 1978.

LEE, K.E.; WOOD, T.G. **Termites and soils**. London: Academic Press, 1971.

LIMA, J.T.; COSTA-LEONARDO, A.M. Food resources exploited by termites (Insecta: Isoptera). **Biota neotropica**, [s.l.], v.7, n.2, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032007000200027>. Acesso em: 30 mar. 2022.

LEGESE A. M., KENATE T. G., FEYESSA F. F. Termite Mound Soils for Sustainable Production of Bricks. **Studia geotechnica et mechanica**, [s.l.], v. 43, n.2, p.142-154, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/sgem-2021-0006>. Acesso em: 30 mar. 2022.

LUNARDI NETO, A.; ALMEIDA, J. A. Caracterização morfológica e química de Argissolos com horizontes subsuperficiais escurecidos em Santa Catarina. **Revista de ciências agroveterinárias**, Lages, v.12, n.2, p. 294-303, 2013. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5225>. Acesso em: 1 mar. 2023.

MAHAMAT, A. A.; BIH, N. L.; AYENI, O.; ONWUALU, P. A.; SAVASTANO, H., Jr.; SOBOYEJO, W. O. Development of sustainable and eco-friendly materials from termite hill soil stabilized with cement for low-cost housing in chad. **Buildings**, New York, v. 11, p. 86, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings11030086>. Acesso em: 27 abr. 2022.

MALKANTHI, S. N.; WICKRAMASINGHE, W. G. S.; PERERA, A. A. D. A. J. Use of construction waste to modify soil grading for compressed stabilized earth blocks (CSEB) production. **Case studies in construction materials**, [s. l.], v. 15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00717>. Acesso em: 27 abr. 2022.

MARSH, A. T. M.; KULSHRESHTHA, Y. The state of earthen housing worldwide: how development affects attitudes and adoption. **Building research & information**, London, v. 49, n. 8, p. 960-970, 2021. Disponível em: 10.1080/09613218.2021.1953369. Acesso em: 27 abr. 2022.

MCGEARY, RKp. Mechanical packing of spherical particles. **Journal of the american ceramic society**, Westerville, v. 44, n. 10, p. 513-522, 1961. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1961.tb13716.x>. Acesso em: 27 abr. 2022.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Concreto microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 782p., 2014.

MILLOGO, Y., HAJJAJI, M., MOREL, J.C. Physical properties, microstructure and mineralogy of termite mound material considered as construction materials. **Applied clay science**, Amsterdam, v.52, n.1-2, p.160-164, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.02.016>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MONIZ, A. C.; BUOL, S.W.; WEED, S.B. Formation of an oxisol ultisol transition in São Paulo-Brazil. II. lateral flow dynamics of chemical weathering. **Soil science society of america journal**, Madison, v. 46, p. 1234-1239, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600060023x>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MOREL, J. C.; CHAREF, R.; HAMARD, E.; FABBRI, A.; BECKETT, C.; BUI, Q. B. Earth as construction material in the circular economy context: Practitioner perspectives on barriers to overcome. **Royal society publishing**, London, v. 376, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0182>. Acesso em: 27 abr. 2022.

MUJINYA, B.; MEES, F.; ERENS, H.; DUMON, M.; BAERT, G.; BOECKX, P.; NGONGO, M.; VAN RANST, E. Clay composition and properties in termite mounds of the Lubumbashi area, D.R. Congo. **Geoderma**, Amsterdam, v.192, p.304–315, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.010>. Acesso em: 27 abr. 2022.

NAGARAJ, H.B., SRAVAN, M.V., ARUN, T.G., JAGADISH, K.S. Role of lime with cement in long-term strength of compressed stabilized earth blocks. **International journal of sustainable built environment**, Netherlands, v.3, n.1, p.54-61, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.03.001>. Acesso em: 18 out. 2022.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Bookman, 2015. *E-book*.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V. Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo. **Rede ibero-americana PROTERRA**, Madrid, 2009. Disponível em: <http://www.redproterra.org>. Acessado em: 07 mar. 2023.

OBIANYO, I.I.; ONWUALU, A.P.; SOBOYEJO, A.B.O. Mechanical behaviour of lateritic soil stabilized with bone ash and hydrated lime for sustainable building applications. **Case Studies in Construction Materials**, [s. l.], v.12, e00331, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00331>. Acesso em: 17 mar. 2022.

OLIVEIRA, G. G. de. **Valoração econômica**: um estudo de caso sobre o papel dos cupins de montículo, benefício-custo para o produtor pecuário. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Cerrado) – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2017. Disponível em: <http://www.bdt.d.ueg.br/handle/tede/737>. Acessado em: 07 mar. 2023.

OLUSOLA, K.O.; OLANIPEKUN, E.A.; ATA, O.; OLATEJU, O.T. Studies on termite hill and lime as partial replacement for cement in plastering. **Building and environment**, Oxford, v. 41, n. 3, p. 302–306, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.034>. Acesso em: 18 out. 2022.

OBEBE, M. D.; IKUMAPAYI, C. M.; ALANEME, K. K. Structural performance evaluation of concrete mixes containing recycled concrete aggregate and calcined termite mound for low-cost housing. **Alexandria engineering journal**, Alexandria, v. 72, p. 237–246, 1 jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.03.095>. Acesso em: 18 out. 2022.

OMOFUNMI, O.E.; OLADIPO, O.L. Assessment of termite mound additive on soil physical characteristics. **Agricultural engineering international: CIGR journal**, Beijing, v.20, p.40–46, 2018. Disponível em: <http://www.bdt.d.ueg.br/handle/tede/737>. Acesso em: 30 mar. 2022.

PEREZ FILHO, A.; RUBIRA, F. G. Avaliação de Variáveis Pedológicas como Subsídio para Interpretação do Tempo das Superfícies Geomorfológicas em Sistemas Depositionais Marinhos de Clima Tropical Úmido. **Revista do departamento de geografia**, São Paulo, v. 5, p. 85-95, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.132497>. Acessado em: 07 mar. 2023.

REDFORD, K. H. The termitaria of *cornitermes cumulans* (isoptera, termitidae) and their role in determining a potential keystone species. **Biotropica**, Hoboken, v. 16, n. 2, p. 112–119, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2387842>. Acesso em: 30 mar. 2022.

RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação dos latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DOS SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, 1988. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/333968/anais>. Acessado em: 07 mar. 2023.

SANTOS, A. A., RODRIGUES, M. D., & de OLIVEIRA, T. A. Estudo da potencialidade da construção com terra visando a sustentabilidade em Sergipe. **Caderno de graduação - ciências humanas e sociais**, Sergipe, v. 6, p.79, 2020. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernohumanas/article/view/8305>. Acessado em: 02 mar. 2022.

SANTOS, D.P.; BESSA, S.A.L. O uso do adobe no brasil: uma revisão de literatura. **Mix sustentável**, [s. l.], v.6, n.1, p. 53-66, 2020. Disponível em: [10.29183/2447-073.MIX2020.v6.n1.53-66](https://doi.org/10.29183/2447-073.MIX2020.v6.n1.53-66). Acessado em: 02 mar. 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. De; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 5. ed., rev. e ampl., 356 p., 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acessado em: 14 jul. 2022.

SHAO, L.; DING, Z.; WANG, S.; PAN, K.; HU, C. Effect of organic matter components on the mechanical properties of cemented soil. **Materials**, Basel, v. 16, n. 5889, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma16175889>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SILVA, V.; MOTTA, A. C. V.; DE MELO, V. F.; LIMA, V. C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 551–559, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200010>. Acessado em: 01 ago. 2023.

SIVRIKAYA, O., UZAL, B., OZTURK, Y.E. Practical charts to identify the predominant clay mineral based on oxide composition of clayey soils. **Applied clay science**, Amsterdam, v.135, p.532-537, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.09.035>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SOARES, E. N. C. **Avaliação da atividade pozolânica das cinzas do capim elefante por análise termogravimétrica e ensaio de variação de condutividade elétrica em solução de hidróxido de cálcio**. 2017. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-AUPKZX>. Acessado em: 01 ago. 2023.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed., Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acessado em: 01 ago. 2023.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. Construção em terra: algumas considerações sobre a seleção de solos. In: CONFERÊNCIA ENGENHARIA, 10., 2009, Covilhã. **Actas...** Covilhã: Inovação e desenvolvimento, 2009. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/10454/1/Conf%20eng%202009.pdf>. Acessado em: 01 ago. 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. 2022a. **Global status report for buildings and construction: towards a zero emission, efficient and resilient buildings and construction sector**. Nairobi. 2022. 100p. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em: 17 mar. 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. 2022b. **Emissions gap report 2022: the closing window — climate crisis calls for rapid transformation of societies**. Nairobi. 2022. 101p. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>. Acesso em: 17 mar. 2022.

UTAMI, S. R.; MEES, F.; DUMON, M.; QAFOKU, N. P.; RANST, E. V. Charge fingerprint in relation to mineralogical composition of Quaternary volcanic ash along a climatic gradient on Java Island, Indonesia. **Catena**, Amsterdam, v.172, p. 547-557, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.024>. Acesso em: 30 mar. 2022.

VALÉRIO, J. R. **Cupins-de-montículo em pastagens**. Campo Grande: Embrapa. 33 p. 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/326890/cupins-de-monticulo-em-pastagens>. Acessado em: 01 ago. 2023.

VARGAS NIÑO, A. P. **Influência das propriedades do solo na riqueza de cupins ao longo de gradientes altitudinais do Brasil e da Colômbia**. 2015. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/10430>. Acesso em: 30 set. 2022.

VYNCKE, J.; KUPERS, L.; DENIES, N. Earth as Building Material – an overview of RILEM activities and recent Innovations in Geotechnics. **MATEC web of conferences**, v. 149, 02001, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814902001>. Acesso em: 17 mar. 2022.

WOOD, T.G.; JOHNSON, R.A.; BACCHUS, S.; SHITTU, M.O.; ANDERSON, J.M. Abundance and distribution of termites (Isoptera) in a riparian forest in the southern Guinea savanna vegetation zone of Nigeria. **Biotropica**, Hoboken, v.14, n.1, p.25-39, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2387757>. Acesso em: 30 set. 2022.

WOOD, T.G.; SANDS, W.A. The role of termites in ecosystems. *In*: Production ecology of ants and termites. **Cambridge university press**, Cambridge: M.V. Brian, p.245-292, 1978. Disponível em: <https://www.cambridge.org/do/universitypress/subjects/life-sciences/ecology-and-conservation/production-ecology-ants-and-termites?format=PB&isbn=9780521107143>. Acesso em: 30 set. 2022.