



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

JOÃO FELIPE DE SOUSA LIMEIRA

**AVALIAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE BLOCOS DE ADOBE: UM ESTUDO DE
CASO DE UMA RESIDÊNCIA EM NATIVIDADE - TO**

PALMAS

2025

JOÃO FELIPE DE SOUSA LIMEIRA

**AVALIAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE BLOCOS DE ADOBE: UM ESTUDO DE
CASO DE UMA RESIDÊNCIA EM NATIVIDADE - TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel no Curso Superior de Engenharia Civil
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Araújo Fortes

PALMAS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

L732a Limeira, João Felipe de Sousa
AVALIAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE BLOCOS DE ADOBE: UM
ESTUDO DE CASO DE UMA RESIDÊNCIA EM NATIVIDADE - TO /
João Felipe de Sousa Limeira. – Palmas, TO, 2025.
77 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Me. Rodrigo Araújo Fortes

1. Adobe. 2. Patrimônio histórico. 3. Diagnóstico de alvenaria histórica.
I. Fortes, Rodrigo Araújo. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOÃO FELIPE DE SOUSA LIMEIRA

**AVALIAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE BLOCOS DE ADOBE: UM ESTUDO DE
CASO DE UMA RESIDÊNCIA EM NATIVIDADE - TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: 03/07/2025

BANCA AVALIADORA



Documento assinado digitalmente

RODRIGO ARAUJO FORTES

Data: 05/08/2025 04:52:36-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Rodrigo Araújo Fortes
Orientador



Documento assinado digitalmente

LILIANE FLAVIA GUIMARAES DA SILVA

Data: 05/08/2025 15:13:04-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva
Avaliadora IFTO



Documento assinado digitalmente

KAREN GONCALVES DE ARAUJO ANTERO

Data: 05/08/2025 15:18:06-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Esp. Karen Gonçalves de Araújo Antero
Avaliadora IPHAN

Dedico este trabalho aos meus pais e minhas irmãs, pelo amor incondicional, apoio constante e por sempre acreditarem em meu potencial mesmo nos momentos mais desafiadores.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a concretização de um percurso construído com o apoio e a contribuição de muitas pessoas que, de diferentes formas, fizeram parte dessa jornada.

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, saúde e serenidade ao longo deste percurso. Sua mão nunca me desamparou, sempre me trouxe calma frente às intempéries e sabedoria em meio aos desafios.

À minha família, meu porto seguro, agradeço pelo apoio incondicional, pelos conselhos nos momentos difíceis e pela paciência durante os períodos de ausência. Ao meu pai, Klenivaldo Lopes Limeira, e à minha mãe, Cleidiane Vilarim de Sousa Limeira, pelo exemplo de força e dedicação que me inspira diariamente. Também às minhas irmãs, Maria Cecília, Kamila e Karoline. Sem o seu suporte emocional e prático, este trabalho não teria sido possível.

Agradeço aos meus avós maternos, João Coelho de Sousa e Vera Lúcia Vilarim, e à minha avó paterna, Rosemunda Lopes de Lima, a querida Mainha, que são a base da minha família e fonte de inspiração para todos que os cercam. Seus exemplos de vida têm sido um norte desde sempre. Quero dedicar também em homenagem ao meu avô paterno José Limeira Neto que sempre estará vivo pelo legado deixado da grande família Limeira!

Ao meu orientador, Prof. Me. Rodrigo Araújo Fortes, expresso minha gratidão pela dedicação, paciência e orientação técnica ao longo de todo este processo. Sua confiança no tema e nas minhas escolhas foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos que caminharam comigo nesta trajetória acadêmica, desde Redenção–PA até Palmas–TO, minha gratidão pelo companheirismo, pelas tardes e noites de estudos, pelas conversas que aliviaram a pressão dos prazos e pelos momentos de descontração e campeonatos esportivos (em destaque ao time de handebol Concreta/IFTO) que tornaram os dias mais leves. Cada gesto de apoio foi fundamental.

Agradeço também ao Prof. Dr. Flávio da Silva Ornelas, à empresa SlopeGeo, ao meu grande amigo e colega Jefferson Marcos, e à minha amiga e colega Laryssa Montelo pelo auxílio e suporte durante os ensaios de limites de consistência e sedimentação que se fizeram necessários neste estudo. Pelo conhecimento compartilhado e disposição que contribuíram diretamente para a concretização deste trabalho, deixo aqui meu sincero agradecimento.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse possível: minha mais profunda gratidão.

“Com sabedoria se constrói a casa, e com discernimento ela se firma; pelo conhecimento seus cômodos se enchem do que é precioso e agradável.”

— Provérbios 24:3-4

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de blocos de adobe extraídos de uma residência histórica no centro de Natividade, Tocantins. A pesquisa fundamenta-se na preservação do patrimônio construído com terra crua, visando compreender o desempenho estrutural e a viabilidade de conservação do material. Foram realizados ensaios laboratoriais conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), abrangendo análise granulométrica, limites de consistência e resistência à compressão. Os resultados indicaram que, embora o solo utilizado apresente percentual de areia acima do recomendado para a fabricação de adobe, suas propriedades físicas demonstram potencial para utilização com intervenções mínimas. A análise estatística revelou correlações entre densidade, deformação e resistência, apontando caminhos para futuras melhorias através de estabilização e reforço técnico. A pesquisa reforça a importância do uso consciente de técnicas tradicionais na conservação de edificações de valor cultural, contribuindo para práticas construtivas sustentáveis e integradas às diretrizes de preservação patrimonial.

Palavras-chave: Terra crua. Patrimônio histórico. Conservação de edificação. Diagnóstico de alvenaria. Construção sustentável.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the physical and mechanical properties of adobe blocks extracted from a historical residence in the center of Natividade, Tocantins, Brazil. The research is based on the preservation of built heritage in earth construction, seeking to understand the structural performance and conservation feasibility of the material. Laboratory tests were conducted according to Brazilian standards, covering granulometric analysis, consistency limits, and compressive strength. The results showed that, although the soil used contains a slightly higher sand content than recommended for adobe, its physical properties demonstrate potential for use with minimal interventions. Statistical analysis revealed correlations between density, deformation, and resistance, pointing to possible improvements through stabilization and technical reinforcement. The study emphasizes the relevance of traditional techniques in preserving buildings of cultural value and contributes to sustainable construction practices aligned with heritage preservation guidelines.

Keywords: Raw Earth. Historical heritage. Building conservation. Masonry diagnosis. Sustainable construction.

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Comparativo de Desempenho Térmico entre Materiais Construtivos	30
Tabela 2 - Dimensões (mm) e massa (g) dos corpos de prova extraídos	55
Tabela 3 – Resultados ensaio de sedimentação	59
Quadro 1 - Limite de Liquidez	60
Quadro 2 – Limite de Plasticidade	63

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mjøstårnet, na Noruega, a torre de madeira mais alta do mundo	18
Figura 2 - Biblioteca de Muyinga no Burundi feita em BTC.....	19
Figura 3 - Processo de produção da taipa de pilão	21
Figura 4 - Residência em cob	22
Figura 5 - Técnica do pau a pique	22
Figura 6 - Técnica do superadobe com sacos cheios de terra.....	23
Figura 7 – Cidade de Bam, Irã, construída em terra crua	24
Figura 8– Casario ancestral de adobe do Taos Pueblo, Novo México	25
Figura 9– Igreja Matriz de Nossa Senhora de Nazaré – Santa Rita Durão, Mariana - MG	26
Figura 10 - Cidade histórica de Shibam, Iêmen	33
Figura 11 - São Luiz do Paraitinga (SP): tradição, cultura e turismo histórico.....	34
Figura 12 - Igreja do Rosário dos Pretos, Natividade - TO	35
Figura 13 - Casario de Natividade	35
Figura 14 – Edificações características do centro histórico de Aracati	37
Figura 15 – Fluxograma da Metodologia de Pesquisa	40
Figura 16 – Localização de Natividade – TO	41
Figura 17 - Natividade 2018 – Edificações do perímetro tombado e localização da residência em estudo.....	42
Figura 18 - Residência em estudo da qual foram extraídas as amostras	43
Figura 19 – Regularização dos blocos	44
Figura 20– Destorroamento e quarteamento das amostras.....	45
Figura 21 - Peneiramento do solo.....	47
Figura 22 – Disposição do solo após peneiramento – bloco 1	48
Figura 23 – Material com defloculante.....	48
Figura 24 – Material com defloculante.....	49
Figura 25 – Sulco central na amostra feita com o cinzel.....	51
Figura 26 – Ensaio para determinar Limite de Plasticidade.....	53
Figura 27 – Corpos de prova extraídos dos blocos de adobe	54
Figura 28 – Ensaio de compressão axial	56
 Gráfico 1 – Curva Granulométrica dos três blocos	 58
Gráfico 2 – Limite de Liquidez do Bloco 1	61
Gráfico 3 - Limite de Liquidez do Bloco 2	61
Gráfico 4 - Limite de Liquidez do Bloco 3	62
Gráfico 5 - Boxplots de Densidade aparente (g/cm^3), Resistência à Compressão (MPa) e Deformação Específica à Ruptura (%), com destaque para outliers	65
Gráfico 6 - Probabilidade normal para Densidade aparente (g/cm^3), Resistência à Compressão (MPa) e Deformação Específica à Ruptura (%)	66
Gráfico 7 - Dispersão entre (a) Densidade $\times$ Resistência à Compressão	67
Gráfico 8 - Dispersão entre (b) Densidade $\times$ Deformação Específica	67
Gráfico 9 - Dispersão entre (c) Resistência à Compressão $\times$ Deformação Específica.....	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema de Pesquisa	14
1.2 Justificativa.....	14
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Construções Sustentáveis com Materiais Naturais	17
2.2 Técnicas Tradicionais de Construção com Terra: Evolução Histórica e Fundamentos	19
2.2.1 Taipa de Pilão.....	20
2.2.2 Cob	21
2.2.3 Pau a Pique	22
2.2.4 Superadobe	23
2.2.5 Adobe	24
2.3 Comportamento Físico-mecânico de Estruturas em Adobe	26
2.3.1 Caracterização Física.....	27
2.3.2 Caracterização Mecânica.....	28
2.4 Desempenho Térmico e Eficiência Energética	29
2.5 Conservação e Adaptação às Normas Contemporâneas	31
2.6 Patrimônio Arquitetônico em Adobe de Natividade – TO: Identidade Cultural e Práticas de Conservação	32
2.7 Estudos Anteriores e Avanços Recentes em Pesquisas sobre Construções em Terra	36
3 METODOLOGIA.....	39
3.1 Objeto de Estudo.....	39
3.2 Procedimentos Metodológicos	39
3.2.1 Coleta e Preparação das Amostras	40
3.3 Caracterização Física do Solo e do Adobe.....	44
3.2.1 Ensaio de Granulometria	45
3.2.2 Ensaio de Determinação do Limite de Liquidez	50
3.2.3 Ensaio de Determinação do Limite de Plasticidade	52
3.3 Ensaios Mecânicos – Resistência à Compressão do Adobe.....	54

3.4 Tratamento dos Dados e Análise dos Resultados.....	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1 Caracterização Física do Solo	58
4.1.1 Análise Granulométrica.....	58
4.1.2 Limite de Liquidez	59
4.1.3 Limite de Plasticidade	62
4.2 Caracterização Mecânica do Solo	63
4.2.1 Densidade Aparente	63
4.2.2 Resistência à Compressão	64
4.2.3 Deformação Específica na Ruptura.....	64
4.2.4 Análise Estatística e Distribuição dos Dados	65
4.2.5 Correlação entre Propriedades Físicas e Mecânicas	66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

Desde a pré-história, a terra tem sido amplamente usada como material de construção pelo ser humano, presente tanto em moradias simples quanto em obras grandiosas e monumentos (Neves; Faria, 2011). Segundo Niroumand, Zanin e Jamil (2013), a terra é um dos materiais de construção mais empregados na arquitetura e engenharia. Além de seu uso tradicional em paredes, sua utilização se estende a fundações, coberturas, pavimentos, modelagem de terrenos, abrigos subterrâneos, terraços, jardins e paisagismo, demonstrando sua versatilidade.

De acordo com Librelotto *et al.* (2022), as técnicas de construção com terra mais encontradas mundialmente incluem a taipa de pilão, a taipa de mão (ou de sebe), o COB (mistura moldada de terra, palha e água aplicada manualmente), o adobe e os métodos mistos, como o enxaimel. Dentre essas técnicas, cabe destacar o adobe, composto basicamente de solo argiloso, água e fibras naturais, utilizado em diversas culturas, desde as antigas civilizações do Oriente Médio até as comunidades pré-colombianas das Américas (Minke, 2015).

No Brasil, a utilização do adobe na construção foi introduzida durante o período colonial, principalmente em regiões com maior disponibilidade de solo argiloso, como no Nordeste e Centro-Oeste do país (Santos; Bessa, 2020). A cidade de Natividade, localizada no estado do Tocantins, é um exemplo emblemático dessa tradição, com um significativo acervo de edificações históricas construídas com adobe, muitas delas tombadas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

O adobe é um material vantajoso por ser de baixo custo, de fácil disponibilidade local e excelentes propriedades térmicas e acústicas, o que o torna ideal para climas quentes como o do Tocantins (Corrêa *et al.*, 2006). Além disso, usar adobe é sustentável, uma vez que é um material natural, renovável e de reduzido impacto ao meio ambiente (Torgal; Eires; Jalali, 2009). No entanto, apesar dessas vantagens, as construções em adobe enfrentam desafios significativos relacionados à sua durabilidade e resistência mecânica, principalmente em regiões com muita chuva e variações de temperatura acentuadas (Corrêa *et al.*, 2006).

De acordo com a NBR 16814 (ABNT, 2020), a criação de adobe precisa obedecer a critérios técnicos exatos, como a composição granulométrica do solo e os limites de consistência, para assegurar sua resistência e durabilidade. Contudo, muitas construções em adobe são feitas de maneira artesanal, principalmente em áreas rurais, sem o devido controle desses critérios, o que dificulta a uniformização e a garantia da qualidade do material.

O desgaste natural com o passar dos anos, junto com a ausência de cuidados apropriados, pode comprometer estruturalmente essas edificações, ameaçando não só a segurança de quem os utiliza, mas também a proteção da herança histórica e cultural (Nascimento, 2019). Assim, a análise das características do material em estudo é importante para entender o comportamento deste em condições reais de uso e para direcionar os trabalhos de conservação e restauração dessas edificações históricas. Essas intervenções em prédios históricos, como destacado por Brandi (2004), deve respeitar a ideia original de quem o construiu, mantendo os sinais do tempo e os métodos de construção tradicionais.

Nessa perspectiva, este estudo se concentra na análise de blocos de adobe em uma residência localizada no município de Natividade, no Tocantins, local de relevância histórica e cultural da região, que possui um grande conjunto de construções em adobe, muitas delas se deteriorando.

1.1 Problema de Pesquisa

Como se encontram as propriedades físicas e mecânicas dos blocos de adobe utilizados em uma residência em Natividade - TO? A amostra coletada de adobe está em conformidade com as normativas técnicas vigentes, como a NBR 16814 (ABNT, 2020)? E quais são os principais fatores que influenciam sua resistência e durabilidade?

1.2 Justificativa

A residência em estudo representa um exemplo típico de construção em adobe em Natividade - TO. Preservar e manter dessas edificações é importante tanto para a segurança e o conforto das famílias que nelas vivem, quanto para a continuidade das técnicas construtivas tradicionais, que são parte da identidade local. No caso da residência em estudo, a proprietária tem a intenção de utilizar os resultados desta pesquisa como subsídio para avaliar a viabilidade de transformar o imóvel em um espaço de hospedagem turística, explorando seu potencial histórico e arquitetônico.

Dentro dessa proposta, é importante compreender como o adobe se comporta no dia a dia em condições reais de uso, o que justifica a análise de suas propriedades físicas e mecânicas. Conforme Corrêa *et al.* (2006), o adobe é um material que pode apresentar grande variação em suas características, influenciado por fatores como a composição do solo, o método de produção e as condições ambientais.

A norma NBR 16814 (ABNT, 2020) oferece orientações técnicas para a produção de adobe, incluindo a análise da proporção dos grãos no solo e os limites de consistência, visando assegurar resistência e durabilidade. No entanto, muitas construções com o uso desse material são feitas de maneira artesanal, principalmente em áreas rurais, sem o devido controle desses parâmetros, o que dificulta a padronização e pode comprometer a segurança estrutural da edificação.

De acordo com Varum *et al.* (2011), a caracterização do adobe ajuda a identificar os principais fatores que afetam sua durabilidade e resistência, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes. Dessa forma, este estudo pretende oferecer informações técnicas que orientem tanto a manutenção da casa quanto sua possível adaptação em hotel para fins turísticos.

A partir de uma análise detalhada das características do material, espera-se contribuir para a preservação tanto dessa casa quanto de outras edificações que são patrimônios

arquitetônicos construídos com a técnica de blocos de adobe, além de oferecer informações para o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes.

Além disso, preservar o patrimônio de terra requer seguir os princípios de usar materiais reversíveis e compatíveis, como destaca Brandi (2004). No caso de Natividade, revitalizar o adobe não se limita a restaurar os edifícios antigos, mas também a permitir usos turísticos, educativos e residenciais que mantenham vivos os valores culturais relacionados a essa técnica.

Em suma, o patrimônio arquitetônico de Natividade, voltado principalmente às suas construções em adobe, é um testemunho material e simbólica da história da região do Tocantins. Preservá-lo exige combinar conhecimento técnico-científico, as orientações do IPHAN e a valorização das práticas culturais locais, buscando não apenas manter o patrimônio fisicamente, mas também lhe possibilitar um novo significado atualmente.

Os resultados obtidos poderão servir como base para futuras obras e intervenções em construções semelhantes, promovendo a valorização da arquitetura em terra crua e incentivando práticas sustentáveis de uso e ocupação do patrimônio local. A preservação do patrimônio histórico de Natividade, aliada à promoção do turismo sustentável, pode causar efeitos positivos tanto para a população local quanto para a valorização da cultura e da história da região.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas de blocos de adobe em uma residência habitacional localizada em Natividade - TO.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar o solo utilizado na fabricação dos blocos de adobe da residência, identificando suas principais características, como a composição granulométrica e os limites de consistência.
- Realizar ensaios laboratoriais para determinação da resistência à compressão dos blocos de adobe empregados na construção.
- Avaliar a conformidade dos resultados obtidos com os requisitos estabelecidos pela NBR 16.814 (ABNT, 2020), em termos de desempenho físico e mecânico.
- Contribuir para a valorização do patrimônio histórico de Natividade – TO, incentivando a conservação de técnicas construtivas tradicionais e o desenvolvimento de iniciativas de turismo sustentável ligadas à identidade local.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Construções Sustentáveis com Materiais Naturais

Nos últimos anos, a crescente conscientização ambiental tem levado diferentes setores da sociedade a buscar soluções que combinem desenvolvimento e preservação dos recursos naturais. A construção civil global responde por 36% do consumo energético mundial e 39% das emissões de CO₂ relacionadas à energia (GlobalABC, 2023). Para diminuir esses efeitos, o setor tem aplicado métodos que visam economizar energia, usar a água de forma inteligente e optar por materiais que agredam menos o planeta.

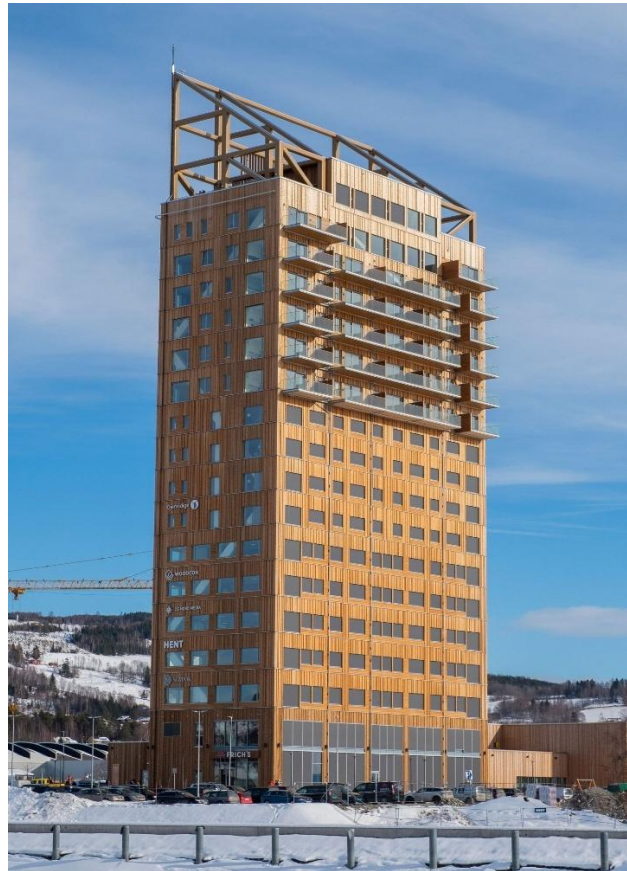
Kibert (2016) ressalta que a edificação sustentável precisa considerar três pontos essenciais: viabilidade econômica, equidade social e preservação ecológica. Diante disso, soluções como terra crua, bambu, madeira certificada e fibras naturais se mostram alternativas válidas, conectando-se com os ideais da economia circular e da utilização eficiente de energia (Gieseckam *et al.*, 2016).

Dessa forma, a abordagem da construção sustentável tem ganhado relevância no contexto da engenharia civil, representando a utilização de técnicas e tecnologias que satisfaçam as necessidades atuais da sociedade sem comprometer o meio ambiente, valorizando o uso consciente de materiais, a reutilização de resíduos e a escolha de materiais naturais ou que podem ser reciclados, buscando equilibrar bem-estar, utilidade e preocupação com a natureza. A construção sustentável, desse modo, não só diminui os danos ao meio ambiente, mas também oferece soluções que corrigem os impactos causados pelas formas tradicionais de construir.

Nesse cenário, diferentes estratégias sustentáveis vêm sendo gradualmente incorporadas ao setor da construção civil, tais como:

1. Bambu: material renovável com excelente relação entre resistência e peso, usado em estruturas e acabamentos. Pesquisas indicam que o bambu tratado pode ter uma resistência à tração de até 400 MPa, superior a muitos aços estruturais (Sharma *et al.*, 2021).
2. Madeira de Reflorestamento: sistemas como o CLT (*Cross Laminated Timber*) viabilizam a construção de prédios altos com menor emissão de carbono. O Mjøstårnet na Noruega, com 18 andares, é um exemplo dessa tecnologia (Abrahamsen; Malo, 2020), ilustrado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Mjøstårnet, na Noruega, a torre de madeira mais alta do mundo



Fonte: Block (2019)

3. Fibrocimento com Fibras Naturais: misturas com fibras de coco ou bananeira têm resistência parecida com o fibrocimento comum, com uma redução de 30% na energia gasta para produzir (Tonoli *et al.*, 2017).
4. Concreto Reciclado: usa restos de obras e demolições (RCD) como agregado, podendo substituir até 30% dos agregados tradicionais sem afetar significativamente a resistência (Bravo *et al.*, 2018).
5. Terra Crua: inclui métodos como adobe, taipa de pilão e BTC (Bloco de Terra Comprimida), oferecendo ótimo conforto térmico e controle natural da umidade (Houben; Guillaud, 1994). A Biblioteca de Muyinga no Burundi, na Figura 2, feita com BTC, ilustra o uso atual dessa técnica.

Figura 2 - Biblioteca de Muyinga no Burundi feita em BTC



Fonte: Trabado (2018)

Dentre essas alternativas, as técnicas de construção com terra crua, utilizada em adobe, taipa de pilão e superadobe, se destacam por seu baixo impacto ambiental, já que dispensam processos industriais de alta energia e permitem o reaproveitamento do solo local (Mickaily-Huber *et al.*, 2022). Além disso, construções em terra apresentam regulação térmica e higroscópica natural, diminuindo a dependência de sistemas artificiais de climatização (Rizzo *et al.*, 2021), especialmente em regiões de clima quente e seco, como o semiárido brasileiro.

Considerando isso, especialmente o adobe oferece certas vantagens: (1) matéria-prima disponível localmente, (2) fabricação simples, e (3) melhor conforto térmico e de umidade em climas quentes (Faria *et al.*, 2020).

Em resumo, os materiais naturais e as técnicas de terra crua promovem construções sustentáveis, equilibrando o desempenho funcional com a responsabilidade ambiental, sendo especialmente relevantes em locais com acesso limitado à tecnologia e materiais industrializados.

2.2 Técnicas Tradicionais de Construção com Terra: Evolução Histórica e Fundamentos

As construções em terra crua são uma das práticas mais antigas da história humana, com origens que remontam há cerca de 10000 anos (Houben e Guillaud, 1994). Civilizações ancestrais, como egípcios e mesopotâmicos, utilizaram blocos de terra em habitações, templos

e grandes estruturas, aproveitando a abundância do solo local e a facilidade de secagem ao sol (Minke, 2015).

Como citado por Jaquin (2021), a facilidade e o acesso aos sistemas de construção em terra fizeram com que se espalhassem pelo mundo, criando variações de acordo com a cultura e a região. Entre essas técnicas, destacam-se cinco modalidades principais: taipa de pilão, adobe, cob, pau-a-pique e superadobe.

2.2.1 Taipa de Pilão

A taipa de pilão, também conhecida como terra apiloada, consiste em compactar camadas de solo úmido dentro de formas de madeira. Com evidências arqueológicas apontando seu uso desde o Neolítico, por volta de 7000 a 5000 a. C., essa técnica oferece excelente inércia térmica e durabilidade, qualidades ainda apreciadas em construções sustentáveis modernas (Asdrubali *et al.*, 2022).

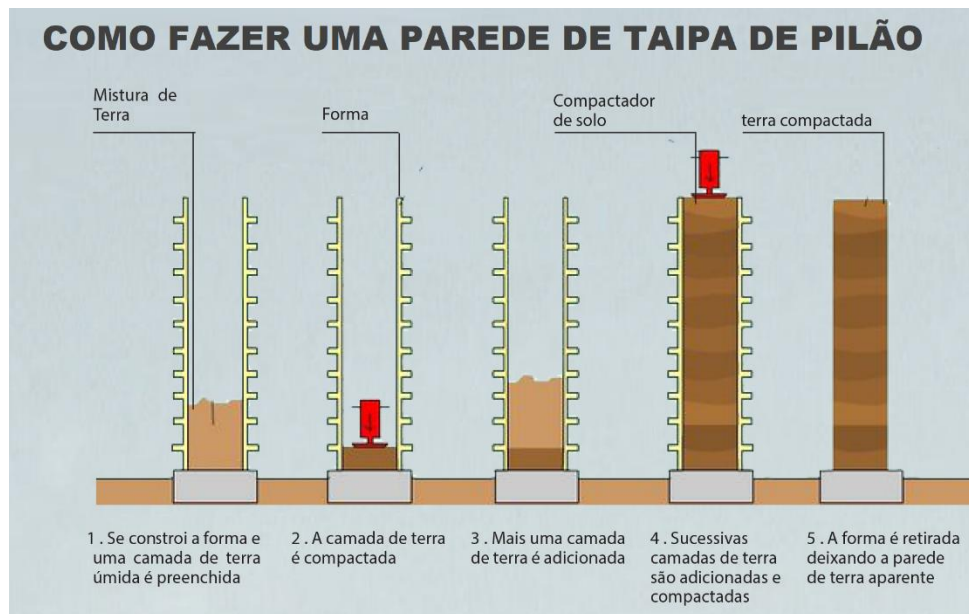
Segundo Costa *et al.* (2019), no Brasil, a técnica veio com a colonização e se tornou parte das construções rurais, usando o solo disponível e oferecendo soluções de baixo custo para o isolamento térmico necessário.

A taipa de pilão é uma técnica de construção antiga, usada tanto para fazer as bases de um prédio quanto as paredes que o sustentam. Nessa técnica, a terra passa por um preparo cuidadoso: ela é destorroada, seca e peneirada para ficar homogeneizada. Em várias situações, ainda um aglomerante (como cal ou cimento) é adicionado à terra para deixá-la mais resistente (Neves; Faria, 2011). O processo de execução segue da seguinte forma:

1. Preparação da mistura: O solo é umedecido até atingir seu teor de umidade ótimo, garantindo compactação eficiente.
2. Montagem: A massa é colocada em camadas dentro de fôrmas de madeira (também chamado molde ou taipal).
3. Compactação: A massa é comprimida manual ou mecanicamente até ficar o mais densa possível, garantindo que a parede seja resistente e durável.

Esse processo também é ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 - Processo de produção da taipa de pilão



Fonte: SustentArqui (2020)

2.2.2 Cob

A etimologia da palavra inglesa cob não é clara, mas carrega o sentido de “bater” ou “maçaroca”, que é exatamente como a massa de terra é utilizada na construção. O cob é construído manualmente, misturando terra, areia e fibras vegetais como palha, aplicado diretamente nas paredes sem a necessidade de fôrmas. Essa técnica é usada há milhares de anos (África, Europa e Ásia), e possibilita criar formas livres pela sua fácil trabalhabilidade, mostrando boa resistência ao cisalhamento e deformações, especialmente em áreas sujeitas a tremores de terra (Yan *et al.*, 2011). Além disso, o uso de fibras naturais ajuda a melhorar a ligação, reduzir o encolhimento e aumentar a resistência ao desgaste (Miccoli *et al.*, 2017).

No Brasil, apesar de não ser amplamente conhecida por essa nomenclatura, a técnica cob tem encontrado espaço em projetos de bioconstrução, principalmente em áreas rurais e empreendimentos de arquitetura sustentável. Pesquisas recentes apontam para a sua eficiência em termos de temperatura e resistência, desde que adaptada às características da região, bem como para o seu reduzido impacto no meio ambiente (Silva *et al.*, 2021; Nascimento *et al.*, 2020). Na Figura 4, abaixo, observa-se uma casa construída com uso da técnica, que deve ter fundação de pedra e grandes abas de telhado para amenizar os efeitos da chuva.

Figura 4 - Residência em cob



Fonte: Walter (2024)

2.2.3 Pau a Pique

Conforme Eames *et al.* (2021), essa técnica vernacular se baseia em uma treliça de madeira preenchida com uma mistura de terra, argila, fibras vegetais (como palha) e, até mesmo, esterco, como ilustra a Figura 5 abaixo, que tem sido usada desde o Neolítico em locais diversos como Europa, África e América.

Figura 5 - Técnica do pau a pique



Fonte: Lisboa; Neves; Faria (2025)

No Brasil, era comum em casas coloniais, especialmente no Nordeste e Sudeste, e ainda é vista em áreas rurais, por ser rápida, barata e flexível, embora não isole tanto o calor e não seja tão forte quanto o adobe ou o cob (Lisbôa; Librelotto, 2018).

2.2.4 Superadobe

Desenvolvida por Nader Khalili nos anos 1980 e chamada de "superadobe", essa técnica usa sacos ou tubos cheios de terra compactada, colocados em camadas com arame farpado para reforçar, criando paredes grossas e curvas, como demonstrado na Figura 6 abaixo. Estudos como o de Canadell Ruiz *et al.* (2016) criaram formas de dimensionar e analisar a estrutura de domos superadobe, mostrando sua segurança e viabilidade, até mesmo em abrigo de emergência.

Figura 6 - Técnica do superadobe com sacos cheios de terra



Fonte: Earthworm (2010)

No Brasil, pesquisas como a de Dias (2015) mostram que essa técnica é mais econômica em casas populares, economizando até 18% em comparação com a alvenaria comum.

2.2.5 Adobe

Essa técnica consiste em moldar manualmente blocos a partir de uma mistura homogênea de terra, água e fibras vegetais, como a palha, que então são deixados para secar ao sol por cerca de 15 a 28 dias (Neves; Faria, 2011). O adobe, em particular, destaca-se como um material amplamente utilizado em regiões de clima seco e quente devido à sua abundância e baixo custo de produção.

Segundo Minke (2015), o adobe foi empregado por diversas culturas ao redor do mundo, desde as antigas civilizações do Oriente Médio, como sumérios e babilônios, até as comunidades pré-colombianas das Américas. A cidade de Bam, localizada no Irã, ilustrada na Figura 7 abaixo, é um exemplo de edificação antiga que foi construída seguindo essa técnica.

Figura 7 – Cidade de Bam, Irã, construída em terra crua



Fonte: Gonçalves (2005)

No México, por exemplo, as edificações em adobe eram comuns entre os astecas e maias, que usavam essa técnica para construir templos e moradias (Torgal; Eires; Jalali, 2009). Hoje, é possível encontrar patrimônios históricos e arquiteturas ancestrais (Figura 8), que representam uma herança cultural e social para o povoado local.

Figura 8– Casario ancestral de adobe do Taos Pueblo, Novo México



Fonte: Pereira; Wong (2023)

No Brasil, o adobe foi introduzido durante o período colonial, influenciado pela arquitetura portuguesa e adaptado às condições locais, principalmente em regiões onde o solo argiloso facilitava sua produção. Construções erguidas entre os séculos XVII e XIX, sobretudo em áreas rurais e periféricas, especialmente no Nordeste e Centro-Oeste do país, fizeram amplo uso do adobe, refletindo a união entre a tradição europeia e os recursos naturais brasileiros (Santos; Bessa, 2020).

A Figura 9 exibe a Igreja Matriz de Nossa Senhora de Nazaré, situada no distrito de Santa Rita Durão, em Mariana, Minas Gerais. Erguida em 1729, no século XVIII, com estrutura de madeira, adobe e taipa, e adornada com sete altares policromados e forro em formato de abóbada de berço, ela espelha as técnicas construtivas da época (Bazin, 1958).

Figura 9– Igreja Matriz de Nossa Senhora de Nazaré – Santa Rita Durão, Mariana - MG



Fonte: Cintra (2021)

Apesar de sua longa trajetória, o uso do adobe declinou no final do século XIX, com a crescente utilização de materiais industrializados, como o tijolo cerâmico e o concreto. Contudo, a partir da década de 1970, houve um renovado interesse pelas técnicas de construção com terra, impulsionado pela crise do petróleo e pela crescente preocupação com a sustentabilidade na construção civil (Neves; Faria, 2011). Atualmente, o adobe é visto como uma alternativa ecológica e economicamente viável, especialmente em regiões onde a matéria-prima é farta e de baixo custo.

Em Natividade, no estado do Tocantins, cidade da residência em estudo, as construções de adobe são um marco do patrimônio histórico local, representando a capacidade de adaptação cultural e a busca por soluções sustentáveis ao longo dos séculos.

2.3 Comportamento Físico-mecânico de Estruturas em Adobe

Segundo Correia (1995), o comportamento de um determinado solo é função da quantidade de argilas, siltes, areias e água existentes nesse solo. Nesse sentido, a caracterização física e mecânica do adobe é um passo importante para compreender seu desempenho em edificações, permitindo identificar as propriedades do material que influenciam diretamente sua durabilidade, resistência e comportamento diante de situações desfavoráveis.

Como destacam Torgal, Eires e Jalali (2009), a análise completa das propriedades do solo envolve a realização de ensaios laboratoriais padronizados que permitem avaliar não apenas sua composição granulométrica, mas também seu comportamento mecânico e resposta à deformação em diferentes condições de umidade. Esses parâmetros são essenciais para garantir que o adobe atenda às necessidades de uma construção segura e durável.

2.3.1 Caracterização Física

Entre as propriedades físicas mais relevantes estão a composição granulométrica do solo, os limites de consistência (limite de liquidez e plasticidade), a densidade e a absorção de água.

A granulometria do solo é um dos fatores mais importantes na produção de adobe e sua composição ideal tem sido objeto de diversos estudos acadêmicos. Segundo Corrêa *et al.* (2006) a mistura ideal para a fabricação dos blocos deve conter uma proporção equilibrada de areia, silte e argila, com teores de argila entre 9% e 15% e de silte entre 3% e 8% para melhor equilíbrio entre trabalhabilidade e resistência mecânica.

Já de acordo com a NBR 16814 (2020), a composição granulométrica da terra para produção de adobe deve atender preferencialmente a uma proporção entre 45% e 65% de areia, até 30% de silte e entre 25% e 35% de argila. Essa última proporciona coesão ao material, enquanto a areia contribui para a estabilidade durante o processo de secagem. Uma composição desbalanceada pode resultar em blocos frágeis, suscetíveis a fissuras e deformações.

A norma brasileira NBR 7181 (2016) estabelece a metodologia para análise granulométrica, enfatizando a importância da correção com areia média (grãos entre 0,25 e 0,50 mm) que contribui significativamente para a redução de fissuras durante o processo de secagem e para o aumento da resistência final dos blocos.

Conforme Torgal, Eires e Jalali (2009), os limites de Atterberg (limite de liquidez – LL e limite de plasticidade) são parâmetros que fornecem informações sobre o comportamento da fração do solo inferior a 0,4mm em diferentes condições de umidade. O LL representa o teor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o plástico, enquanto o LP indica o teor de umidade mínimo necessário para que o solo possa ser moldado manualmente como um cilindro de 3mm.

O índice de plasticidade (IP), que é a diferença entre o LL e o LP, é um indicador da plasticidade do solo. Pesquisas apontam que solos com IP entre 7% e 17% são os melhores

para a produção de adobe, por serem maleáveis e apresentarem boa resistência após a cura (Varum *et al.*, 2011; Corrêa *et al.*, 2006). Além disso, adicionar fibras vegetais, como palha ou coco, pode diminuir a fissuração durante a secagem, aumentando a resistência à trinca e à tensão (Ramakrishnan; Loganayagan, 2021).

Outro fator crucial para a durabilidade do adobe é a absorção de água. O adobe é um material poroso e, portanto, absorve água facilmente, o que pode comprometer sua resistência mecânica e acelerar sua deterioração. Estudos mostram que a adição de estabilizantes naturais, como cal ou cinzas, pode reduzir essa absorção de água e melhorar a resistência às intempéries, aumentando a vida útil das edificações (Minke, 2015). Além disso, o uso de revestimentos protetores à base de cal ou silicatos pode ajudar a proteger o adobe das ações da água e do sol, prolongando sua durabilidade.

2.3.2 Caracterização Mecânica

A resistência à compressão é a principal propriedade mecânica avaliada nos blocos de adobe, sendo um parâmetro determinante para sua aplicação em estruturas. Conforme a NBR 16814 (2020), blocos de adobe devem apresentar resistência mínima de 1,5 MPa. No entanto, a resistência à compressão pode variar significativamente em função do tipo de solo, da sua compactação e de como é feita a cura. Estudos de Corrêa *et al.* (2006) mostram que a secagem ao ar livre pode resultar em resistências superiores em comparação com técnicas de secagem rápida em estufas. Isso acontece devido à distribuição mais uniforme da umidade no bloco, reduzindo o risco de fissuras internas.

As fibras naturais também desempenham um papel importante na melhoria das propriedades mecânicas do adobe. A adição de fibras vegetais, como palha, coco ou sisal, não apenas aumenta a resistência à compressão, mas também reduz a ocorrência de fissuras durante a secagem e o uso. Conforme Varum *et al.* (2011), a incorporação de até 2% de fibras vegetais pode melhorar significativamente a resistência mecânica do adobe, além de contribuir para a sustentabilidade do processo construtivo, uma vez que esses materiais são renováveis e de baixo custo.

Nesse sentido, estudos como os Faria *et al.* (2020) apontam para a importância da integração entre normas técnicas e saberes tradicionais. Esta abordagem combinada tem demonstrado potencial para melhorias significativas nas propriedades mecânicas do adobe, com ganhos de até 40% na resistência à compressão, redução de 30% no tempo de cura e aumento significativo na durabilidade das construções.

2.4 Desempenho Térmico e Eficiência Energética

Além de ser reciclável, o adobe é poroso e permeável, podendo ser considerado como material que favorece o conforto dentro da edificação. Funciona, também, como filtro de ar por facilitar sua renovação dentro da edificação e, ainda, regula a umidade entre o ambiente interno e externo (Calabria; Vasconcelos; Boccaccini, 2009).

O comportamento térmico das edificações de adobe tem gerado um interesse cada vez maior no universo da arquitetura sustentável atual. Conforme apontado por Minke (2015), a massa térmica proporcionada pelas paredes de adobe exerce papel fundamental na regulação térmica dos ambientes, apresentando uma alta inércia térmica que suaviza as variações de temperatura ao longo do dia. Estudos práticos realizados por Faria e Cevallos (2022) no sertão brasileiro registraram diferenças de até 8°C entre as temperaturas internas e externas em construções de adobe nos horários mais quentes, comprovando sua eficácia como técnica passiva de climatização.

A habilidade do adobe em regular a umidade e a temperatura é outro dos seus pontos fortes. Segundo uma pesquisa de laboratório conduzida por Rizzolo *et al.* (2023), os blocos de adobe mostram uma permeabilidade ao vapor de água em torno de 12-18 g/(m²·dia·mmHg), um valor bem maior do que o de materiais comuns como o concreto. Essa característica permite que as paredes de adobe absorvam o excesso de umidade do ar interno quando a umidade relativa está alta, e liberem essa umidade quando o ar está mais seco, mantendo um ambiente confortável sem o uso de sistemas de climatização. O estudo de Freitas *et al.* (2021) mediu essa capacidade, mostrando que uma parede de adobe com 30cm de espessura pode absorver até 500g de vapor de água por metro quadrado em um único dia.

A especificação do LNEC ITE 50 (Santos e Matias, 2006) apresenta um valor da condutividade térmica de 1,1 W/(m·K) para adobe, taipa e blocos de terra comprimida. Ainda assim, o estudo de caso de Cartucho (2023) de caracterização térmica em blocos de adobe apontou uma média dos valores da resistência térmica de 0,22 (m²·K) /W (± 0,046) e a média dos valores da condutibilidade térmica de 0,85 W/(m·K) (± 0,047).

A comparação do desempenho térmico do adobe com outros materiais de construção revela diferenças importantes. Dados reunidos por Asdrubali *et al.* (2022) indicam que o adobe tem uma condutividade térmica entre 0,8-1,2 W/(m·K), um valor bem menor do que o do concreto (1,4-1,8 W/(m·K)) e mais próximo ao de materiais isolantes comuns. No entanto, como ressaltam Hall e Allinson (2020), o grande diferencial do adobe está na combinação de sua condutividade térmica moderada e sua alta capacidade térmica volumétrica (cerca de 1800

$\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$), o que lhe dá um desempenho térmico superior ao de sistemas de construção leves em climas com grandes variações de temperatura diárias.

Segundo Ferraz Junior (1995), a condutividade térmica do ar apresenta valores extremamente baixos, aproximadamente $0,026 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Consequentemente, solos submetidos a maior compactação ou com menor número de vazios tendem a possuir coeficientes de condutividade térmica maiores. Essa relação demonstra que elementos construtivos fabricados com os mesmos materiais e proporções podem apresentar diferenças em sua condutividade térmica dependendo apenas do grau de compactação aplicado. Uma parede de taipa, por exemplo, apresentaria condutividade térmica superior ao de uma parede de adobe com a mesma composição material, devido sua maior densidade e menor volume de vazios (Marques, 2018).

Fernandes *et al.* (2023) mediu o potencial de eficiência energética das construções de adobe com simulações em computador em diferentes climas brasileiros. Os resultados mostraram reduções de 25-40% no gasto de energia com climatização em comparação com construções em alvenaria convencional, com benefícios ainda maiores em regiões semiáridas. Elucidando isso, a Tabela 2 abaixo mostra um comparativo de desempenho térmico entre materiais construtivos em relação ao adobe.

Tabela 1 - Comparativo de Desempenho Térmico entre Materiais Construtivos

Propriedade/material	Adobe	Tijolo cerâmico	Concreto	Madeira	Isolante térmico (EPS)
Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	0,8 - 1,2	0,6 - 1,0	1,4 - 1,8	0,12 - 0,18	0,03 - 0,04
Capacidade térmica ($\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$)	≈ 1.800	≈ 1.200	≈ 2.000	≈ 600	≈ 30
Inércia térmica	Muito Alta	Alta	Muito Alta	Baixa	Muito Baixa
Permeabilidade ao vapor ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{dia} \cdot \text{mmHg}$)	12 - 18	8 - 12	2 - 5	15 - 25	0,5 - 1,5
Amortecimento térmico (%)	70 - 85	50 - 65	75 - 90	30 - 45	10 - 20
Atraso térmico (horas)	8 - 12	6 - 9	10 - 14	2 - 4	1 - 2
Consumo energético relativo*	25 - 40% menor	Referência	15 - 25% maior	20 - 30% menor	30 - 45% menor

*Comparativo de consumo energético para climatização em clima semiárido, considerando edificações padrão de 50m^2

Fonte: adaptado de Asdrubali *et al.* (2022), Faria e Cevallos (2022) e Fernandes *et al.* (2023)

Apesar dessas vantagens, a eficiência térmica do adobe é influenciada por aspectos como a espessura das paredes e a presença de revestimentos. Um estudo feito por Gomes *et al.* (2023) mostrou que paredes com menos de 25cm de espessura não regulam tão bem a temperatura, e revestimentos impermeáveis podem atrapalhar o controle da umidade.

2.5 Conservação e Adaptação às Normas Contemporâneas

A conservação e adaptação dos blocos de adobe atendendo às exigências normativas atuais têm se tornado um tema discutido no que se refere à sustentabilidade, valorização do patrimônio histórico e uso de materiais de baixo impacto ambiental. Como apontado por Faria *et al.* (2020), construções feitas de terra crua precisam de métodos de conservação que valorizem seus materiais e atendam às normas de segurança estrutural.

No Brasil, a norma NBR 16814 (ABNT, 2020) apresenta as principais orientações para trabalhar em edifícios de adobe, demonstrando a compatibilidade entre técnicas tradicionais e contemporâneas. Essa norma, junto com as recomendações do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) para edifícios tombados, sugere reforços estruturais que mantêm a aparência original e garantem a segurança dos usuários (Brasil, 2022). Segundo estudos de Oliveira e Varum (2023), entre as melhores opções estão os reforços com geogrelhas de polipropileno e injeções de cal hidráulica, que podem aumentar em até duas vezes a resistência das paredes sem mudar sua permeabilidade ao vapor.

A adaptação dos edifícios de adobe à NBR 15575 (ABNT, 2021) sobre o desempenho de edificações tem sido estudada por pesquisadores. Estudos do Grupo de Pesquisa em Tecnologias Construtivas com Terra da UFMG (TEAR, 2023) mostram que é possível atender aos requisitos de segurança estrutural, estanqueidade e durabilidade através de estratégias como:

- Reforço de cantos e encunhamentos: uso de tirantes de aço inoxidável e telas de fibra de vidro com argamassa mineral, que, segundo Carvalho *et al.* (2022), aumentam a resistência sem mudar a aparência;
- Proteção contra umidade: aplicação de revestimentos de cal e pozolana com impermeabilizantes, solução testada com sucesso pelo IPT (2023) em edifícios do Vale do Paraíba;
- Compatibilização com instalações: criação de dutos técnicos separados das paredes, como indica a NBR 16596 (ABNT, 2019).

Os desafios das normas para novas construções de adobe têm sido enfrentados por pesquisadores brasileiros com novas abordagens. O trabalho de Mendes *et al.* (2023) propõe coeficientes de segurança específicos para edifícios de terra, considerando suas características e comportamento. Essa abordagem, já usada na norma peruana E. 080 (2017) e em discussão no Comitê Brasileiro de Normalização, permite dimensionar estruturas de adobe tão seguras quanto as de alvenarias convencionais.

No contexto da conservação preventiva, o Projeto Direct (2022), fruto da colaboração entre a UFBA e o IPHAN, criou normas para o monitoramento de prédios históricos em terra. Com o uso de sensores de umidade e mudança instalados em monumentos de Minas Gerais e Bahia, foi possível criar modelos que preveem a deterioração e guiam as intervenções, um método que está sendo integrado às orientações do Instituto do Patrimônio Histórico.

A vivência brasileira com edificações modernas em adobe tem gerado exemplos notáveis, como o Centro de Tecnologia em Terra da UNB (2023), onde ideias inovadoras unem técnicas antigas com materiais atuais. Esse projeto mostra que é possível cumprir totalmente o Código de Obras Municipal de Brasília por meio de táticas como o emprego de blocos de adobe reforçado com 5% de cimento para aumento da resistência, inclusão de vigas baldrame reforçadas com ferrocimento e utilização de revestimentos respiráveis à base de silicatos (Santos, 2023).

Esses progressos técnicos, ligados ao aumento da criação de normas específicas, estão mudando o cenário das construções de terra no Brasil. Como afirma Faria (2020) em análise completa sobre o assunto, está se criando um modelo que junta conhecimentos tradicionais com necessidades modernas, assegurando a proteção do patrimônio e a possibilidade de novas construções em adobe que atendam por completo às exigências de segurança, conforto e duração do século XXI.

2.6 Patrimônio Arquitetônico em Adobe de Natividade – TO: Identidade Cultural e Práticas de Conservação

O uso do adobe na construção civil está profundamente entrelaçada com a história, a sociedade e a cultura das comunidades que o adotaram como método construtivo tradicional. Em diversas regiões do Brasil, especialmente no Centro-Oeste, Norte de Minas e Nordeste, o adobe foi a principal técnica de construção entre os séculos XVIII e XX, principalmente em áreas rurais e urbanas com menor acesso a materiais industrializados (Lima e Oliveira, 2017). Assim, as construções em adobe não só possuem valor técnico, como também carregam

significados simbólicos, históricos e de identidade cultural, tornando-se elementos cruciais do patrimônio arquitetônico nacional.

Conforme Brandi (2004), a restauração de edifícios históricos deve respeitar a intenção original do construtor, preservando as marcas do tempo e as técnicas construtivas tradicionais. O IPHAN define, através da Carta de Brasília sobre Patrimônio Cultural e Sustentabilidade (Brasil, 2012) e outras normas técnicas, a importância do uso de materiais e técnicas adequadas, além da necessidade de capacitar as comunidades locais envolvidas na conservação e restauração desses bens. Ainda, o Instituto também destaca que o adobe é reconhecido como técnica construtiva tradicional de valor cultural, devendo ser preservado com base em critérios técnicos e culturais específicos (Brasil, 2005).

Ao redor do mundo, exemplos como Taos Pueblo, no Novo México (EUA) (ilustrada anteriormente na Figura 7), e a cidade iemenita de Shibam (Figura 10 abaixo), ambos reconhecidos pela UNESCO como Patrimônio Mundial, comprovam que é possível manter construções de adobe em bom estado, seguras e continuamente utilizadas, através da integração de técnicas adequadas e da participação da comunidade.

Figura 10 - Cidade histórica de Shibam, Iêmen



Fonte: Dchulov (2006)

No Brasil, sobressai o trabalho desenvolvido em cidades como São Luiz do Paraitinga (SP), destacada na Figura 11 abaixo, e Natividade (TO), onde programas de restauração baseados por estudos técnicos e inventários de patrimônio garantiram a renovação do uso de

edifícios de adobe no cenário urbano, unindo preservação com o desenvolvimento turístico e econômico da região (Sant'Anna *et al.*, 2020).

Figura 11 - São Luiz do Paraitinga (SP): tradição, cultura e turismo histórico



Fonte: Gerbelli (2025)

A cidade de Natividade, no sudeste do Tocantins, é um dos conjuntos patrimoniais mais importantes do Brasil Central, notável por sua continuidade urbana e arquitetônica desde o século XVIII. Fundada em 1734, durante a exploração de ouro pelos bandeirantes paulistas, a cidade cresceu com uma forte presença de construções em terra crua, em particular o adobe, técnica predominante em suas casas históricas (Lopes, 2019). Sua importância histórica foi reconhecida com o tombamento do centro urbano pelo IPHAN em 1987, elevando-a a referência na preservação do patrimônio construído em terra crua no país.

Como destaca Porto (2011), Natividade se tornou um centro de articulação regional tanto do ponto de vista político-administrativo, por ter sido sede provisória da Comarca de São João das Duas Barras, quanto do ponto de vista cultural e religioso, mantendo festas tradicionais como a Folia do Divino e as Cavalhadas. O patrimônio de Natividade, portanto, deve ser entendido não só como uma herança material, mas como um conjunto de valores imateriais que dão identidade e continuidade às práticas sociais locais.

As Figura 12 e 13 abaixo ilustram a Igreja do Rosário dos Pretos e o casario de Natividade, edificações históricas nativitanas que sempre atraem a atenção de turistas na região.

Figura 12 - Igreja do Rosário dos Pretos, Natividade - TO



Fonte: Tatiwar (2010)

Figura 13 - Casario de Natividade



Fonte: Sá (2019)

A valorização aos edifícios de adobe em Natividade exige uma abordagem de conservação que vai além da simples preservação. Como Oliveira (2011) sugere, restaurar construções de terra requer considerar fatores científicos e técnicos, como a análise da composição dos solos, os níveis de umidade, a presença de sais e a compatibilidade dos materiais de reparo. O uso de materiais incompatíveis, como argamassa cimentícia ou impermeabilizantes artificiais, pode acelerar a deterioração, principalmente em materiais porosos como o adobe.

Nas últimas décadas, o IPHAN promoveu melhorias em Natividade por meio do Programa Monumenta, focando na restauração de praças, fachadas e edifícios simbólicos como a Igreja de São Benedito e a Matriz de Nossa Senhora da Natividade, com o objetivo de respeitar os materiais originais das construções, envolvendo a comunidade local e técnicos especializados (Porto, 2011).

No âmbito acadêmico, a dissertação de Lopes (2019) apresenta uma análise morfológica da cidade, mostrando que o desenho urbano original, com ruas curvas, quadras compactas e lotes estreitos, permaneceu praticamente o mesmo ao longo dos anos. Essa persistência nativitana mostra uma forma de ocupação que resiste às mudanças sociais e econômicas, reforçando a necessidade de políticas públicas que levem em conta essa característica no planejamento e na preservação.

2.7 Estudos Anteriores e Avanços Recentes em Pesquisas sobre Construções em Terra

Nos últimos dez anos, as pesquisas sobre construções de terra no Brasil avançaram consideravelmente, contribuindo para o desenvolvimento de novas tecnologias para o adobe, destacando a estabilização de blocos com materiais alternativos (Corrêa *et al.*, 2006). Estudos do Grupo de Materiais de Construção da UFPE (2023), por exemplo, demonstraram que adicionar 3% de lignossulfonato, um resíduo da indústria de celulose, aumenta em 40% a resistência à compressão dos blocos, mantendo sua permeabilidade ao vapor.

Um dos campos mais explorados é o do adobe estabilizado, que consiste na adição de substâncias como cal ou fibras naturais ao solo utilizado na fabricação dos blocos. De acordo com Silva *et al.* (2020), a estabilização com 10% de cal hidráulica ajuda a diminuir a absorção de água e a aumentar a resistência à compressão, mantendo a permeabilidade necessária para o equilíbrio higrotérmico do material. Por sua vez, o estudo de Monteiro, Lima e Santos (2021) revelou que o uso de fibras de sisal em adobes possibilita um aumento na resistência à

tração e ao impacto, resultando em maior maleabilidade e resistência ao surgimento de fissuras, especialmente em regiões com grande variação de temperatura.

A estabilização com materiais de menor impacto ambiental, como cinza de biomassa, pozolanas naturais e até mesmo resíduos industriais (como pó de vidro e cinzas volantes), também tem sido vista como uma forma de conciliar a produção de blocos com práticas de economia circular. Lima e Tavares (2019), por exemplo, analisaram a aplicação de cinza de casca de arroz como aditivo em blocos de terra, obtendo resultados favoráveis na resistência mecânica e na durabilidade dos componentes.

Ainda outro estudo que vale destacar foi conduzido por Nascimento (2019), que avaliou a vulnerabilidade estrutural de oito construções históricas em adobe no centro histórico de Aracati, no Ceará (Figura 14). A pesquisa identificou que 62,5% das edificações encontravam-se em estado de conservação regular, enquanto 37,5% apresentavam condições precárias, com problemas como mofo, manchas de umidade e fissuras. Os resultados do estudo destacaram a importância de intervenções de conservação que levem em consideração as características específicas do adobe e as condições ambientais da região.

Figura 14 – Edificações características do centro histórico de Aracati



Fonte: Nascimento (2019)

O interesse em obter selos técnicos para construções em terra também está crescendo, principalmente em projetos de extensão de universidades e programas de moradia rural com foco na sustentabilidade. A experiência do projeto Moradia Urbana com Terra Crua (MUTE) da Universidade Federal do Tocantins, descrita por Barros e Brito (2022), mostra que é possível construir com adobe de forma eficiente ao aplicar o controle tecnológico correto, equilibrando aspectos ambientais, sociais e financeiros. Essas práticas têm contribuído para a

criação de manuais técnicos e guias práticos que orientam a autoconstrução, a habitação popular e projetos de recuperação em zonas rurais, como o Manual de Conservação da Arquitetura Nativitana publicado pelo IPHAN (Brasil, 2008).

Além disso, o uso de ferramentas computacionais como o Método dos Elementos Finitos (MEF) permite a simulação do comportamento das estruturas de paredes de adobe quando expostas a diferentes carregamentos, incluindo as cargas de vento até mesmo ações sísmicas. Esses estudos, como o de Rocha *et al.* (2023), oferecem dados importantes para o dimensionamento correto e para o desenvolvimento de reforços internos que mantêm a aparência original, ao mesmo tempo que cumprem os requisitos de segurança da estrutura.

Assim, as recentes descobertas nas pesquisas sobre construções em terra mostram a viabilidade de combinar inovação e tecnologia ao uso do adobe, incentivando seu retorno como um material adequado em programas de habitação, restaurações especializadas e construções modernas sustentáveis.

3 METODOLOGIA

3.1 Objeto de Estudo

Este capítulo descreve os materiais e métodos adotados para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos blocos de adobe da residência em estudo, localizada no centro histórico da cidade de Natividade, no Tocantins. O foco é saber como esse material se comporta em relação às normativas vigentes.

A pesquisa caracteriza-se como experimental e aplicada, com uma análise qualitativa, tendo como objetivo principal avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos de adobe de uma edificação histórica. A metodologia seguiu critérios de representatividade e rigor técnico, baseando-se nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e em orientações de pesquisas anteriores.

3.2 Procedimentos Metodológicos

O caminho metodológico envolveu a coleta de amostras em campo, preparo laboratorial, ensaios normatizados dos blocos e análise dos resultados em conformidade com a literatura técnica, como as NBR 7180 (ABNT, 2016), NBR 7181 (ABNT, 2016) e NBR 16814 (ABNT, 2020).

Na Figura 15 é representado o fluxograma esquemático do estudo e seu sequenciamento.

Figura 15 – Fluxograma da Metodologia de Pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2025)

3.2.1 Coleta e Preparação das Amostras

A coleta das amostras de adobe foi realizada em Natividade, no sudeste do Tocantins (Figura 16), numa residência localizada no cruzamento entre a Avenida Sete de Setembro e a Avenida dos Cruzeiros, no centro histórico da cidade.

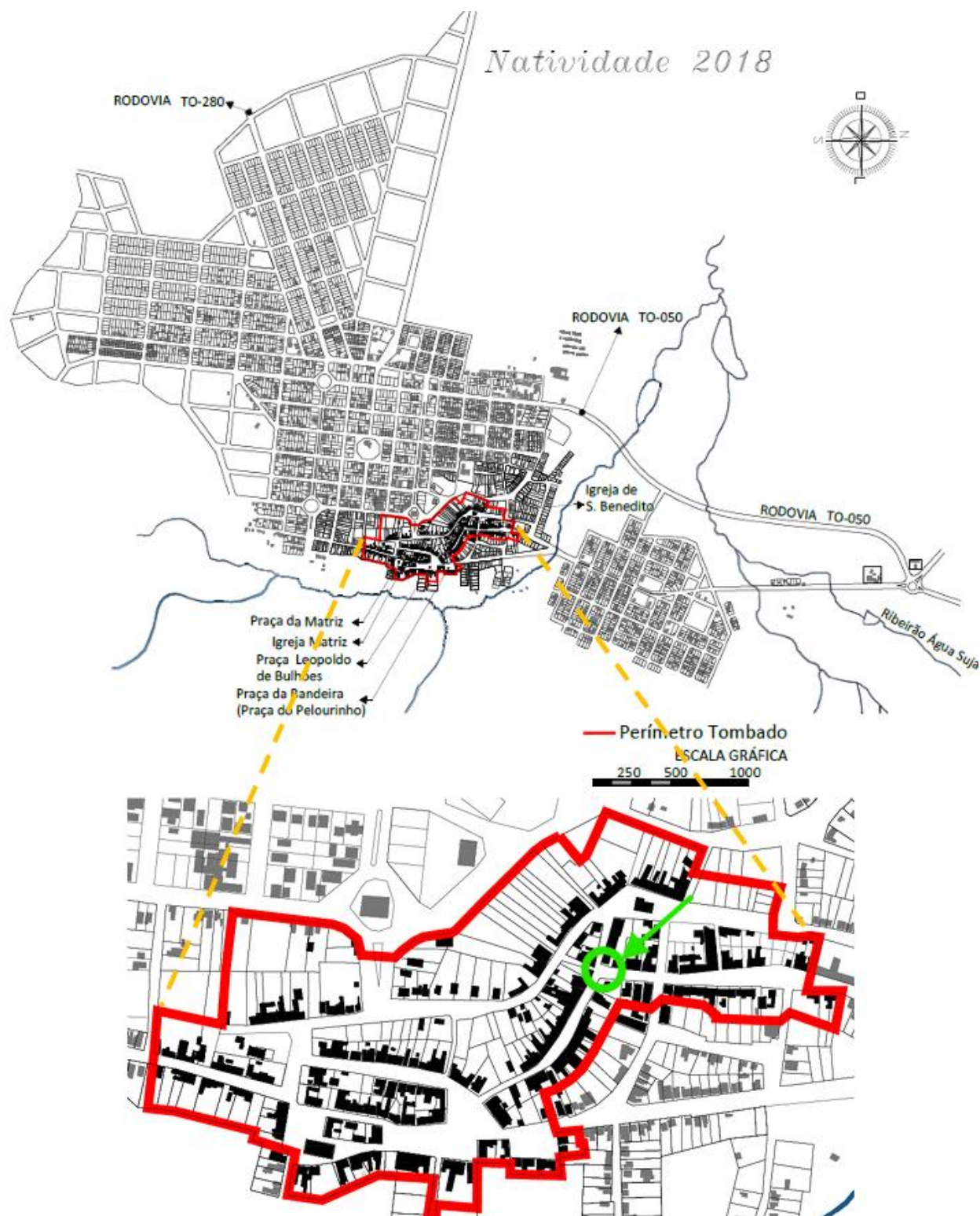
Figura 16 – Localização de Natividade – TO



Fonte: Lopes (2019)

A Figura 17 a seguir refere-se ao mapa de Natividade e ao entorno nativitano tombado como patrimônio histórico-cultural, ilustrando o perímetro tombado destacado em linha vermelha. O destaque em verde refere-se ao cruzamento das Avenidas e local de retirada das amostras.

Figura 17 - Natividade 2018 – Edificações do perímetro tombado e localização da residência em estudo



Fonte: Lopes (2019) adaptado pelo Autor

A Figura 18 traz uma fotografia da residência em estudo. É importante salientar que, conforme as disposições do Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937, e da Portaria

Iphan nº 420, de 22 de dezembro de 2010, foi preciso obter autorização do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) para realizar a coleta nos imóveis tombados.

Figura 18 - Residência em estudo da qual foram extraídas as amostras



Fonte: Autoria Própria (2024)

Para garantir a representatividade das amostras, foram selecionados três blocos de diferentes partes da residência, considerando áreas expostas a diferentes condições ambientais, como umidade, insolação e vento. A coleta foi realizada com o auxílio de ferramentas manuais, como martelo e cinzel, para evitar danos excessivos aos blocos e preservar a integridade das amostras.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos para evitar a perda de umidade e transportadas ao Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Campus Palmas. No laboratório, as amostras foram submetidas a um processo de regularização, no qual as superfícies irregulares foram alisadas com o auxílio de uma plaina manual, garantindo a uniformidade dos corpos de prova, apresentado na Figura 19 abaixo. Esse procedimento é fundamental para assegurar que os ensaios subsequentes sejam realizados em condições padronizadas, conforme destacado por Corrêa *et al.* (2006).

Figura 19 – Regularização dos blocos



Fonte: Autoria Própria (2024)

Em seguida, os blocos foram armazenados em ambiente seco e arejado, com temperatura controlada, para evitar variações bruscas de umidade que pudessem afetar as propriedades do material. O armazenamento foi realizado conforme as recomendações da NBR 16814 (ABNT, 2020), que estabelece que as amostras de adobe devem ser mantidas em condições que simulem o ambiente de uso real, garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios.

3.3 Caracterização Física do Solo e do Adobe

Os ensaios de caracterização física incluíram a análise granulométrica, limites de liquidez e plasticidade. Para isso, foram seguidos os procedimentos das normas NBR 7181 (ABNT, 2016) e NBR 6459 (ABNT, 2016).

Para isso, foram realizados os procedimentos de preparação das amostras para a realização dos ensaios de caracterização dos materiais em conformidade com a NBR 6457 (ABNT, 2016). Inicialmente, foi feito o destorroamento de cada um dos três blocos com auxílio da mão de grau. Em seguida, o material foi reduzido por meio do quarteamento, buscando obter uma amostra representativa em quantidades apropriadas para a realização dos ensaios, como ilustra a Figura 20 abaixo.

Figura 20– Destorroamento e quarteamento das amostras



Fonte: Autoria Própria (2025)

Por fim, a amostra foi pesada e separada cerca de 1000 gramas de cada bloco para o ensaio de granulometria. Depois o solo foi passado pela peneira de #10 mm. Do material passante, separou-se 120 gramas de cada bloco para o ensaio de sedimentação. Já para os limites de consistência, foi separado cerca de 200 gramas de cada. Todos os procedimentos seguiram as diretrizes estabelecidas pela NBR 6457 (ABNT, 2016).

3.2.1 Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016), com o objetivo de determinar a distribuição granulométrica do solo utilizado. O objetivo desse ensaio foi identificar a proporção de partículas de diferentes tamanhos presentes no solo utilizado para a produção dos blocos de adobe, permitindo a classificação do material e a avaliação de sua adequação para a construção. Este procedimento combina o peneiramento a

seco e a água com a análise de sedimentação para avaliar as frações de areia, silte e argila. Os resultados obtidos foram utilizados para criar a curva granulométrica, que possibilita a visualização da distribuição de tamanhos das partículas.

Para esses ensaios, utilizaram-se os seguintes equipamentos:

- a) Série de peneiras conforme ABNT NBR 5734;
- b) Dispersor elétrico com hélices metálicas substituíveis e copo munido de chicanas metálicas, com velocidade inferior a 9.000 rpm;
- c) Balança que permita pesar nominalmente 200g, 1,5 kg, 5 kg e 10 kg com resoluções de 0,01g, 0,1g, 0,5g e 1g.
- d) Estufa elétrica capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- e) Cápsulas de alumínio com tampa, com capacidade de aproximadamente 100 cm³;
- f) Proveta de vidro graduada até 1.000 cm³ e bagueta de vidro;
- g) Termômetro até 50° C, graduado em 1° C;
- h) Recipientes adequados, tais como dessecadores para armazenamento de amostras.
- i) Densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20°C, com resolução de 0,001, graduado de 0,995 a 1,050;
- j) Agitador mecânico com peneiras, com dispositivo para fixação de até seis peneiras, inclusive tampa com fundo;
- k) Solução Hexametáfosfato de sódio;
- l) Escova com cerdas metálicas (para limpeza de peneira);
- m) Bisnaga;
- n) Relógio com indicação dos segundos;
- o) Béquer de vidro de 250 cm³;
- p) Proveta de vidro de 250 cm³ e resolução de 2 cm³;
- q) Tanque para banho com dimensões adequadas à imersão.

Após a etapa de preparação das amostras, o procedimento foi sequenciado pelas seguintes etapas:

- I. Peneiramento da Fração Granular: Separou-se a fração granular (partículas > 0,075 mm) utilizando um conjunto de peneiras com aberturas de 50 mm a 0,075 mm. Agitou-se o material mecânica ou manualmente por 10 minutos, e o retido em cada peneira foi pesado.

- II. Análise da Fração Fina por Sedimentação: Realizou-se a dispersão da fração fina (partículas $< 0,075$ mm) em água. A altura da coluna de sedimentos foi então medida em intervalos de tempo pré-determinados, utilizando a equação de Stokes para calcular o diâmetro das partículas.
- III. Cálculos e Construção da Curva Granulométrica: Calculou-se a porcentagem de material retido e passante em cada peneira. Os resultados foram então plotados em um gráfico semilogarítmico, gerando a curva granulométrica.

Por fim, a classificação do solo se deu com base na curva granulométrica, de acordo com a proporção de areia, silte e argila.

Para a realização do ensaio foi feito o peneiramento do material grosso, com a amostra seca utilizando peneiras de malha grossa, 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm e 2,0 mm. Já o peneiramento fino foi realizado com o jogo de peneiras de malha fina, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm (Figura 21).

Figura 21 - Peneiramento do solo



Fonte: Autoria Própria (2025)

Em seguida, o material foi peneirado no agitador mecânico, as frações retidas em cada peneira foram pesadas e foram calculadas as porcentagens em relação ao peso total da amostra seca. A Figura 22 apresenta sequencialmente o retido em cada malha após o peneiramento do bloco 1.

Figura 22 – Disposição do solo após peneiramento – bloco 1



Fonte: Autoria Própria (2025)

Por fim, foi realizado o ensaio de sedimentação, onde a amostra de solo foi preparada utilizando 120 g do material passante pela peneira de N° 40 (#2,0 mm). Este material foi colocado em um Becker de 250 cm³, ao qual foram adicionados 125 cm³ de uma solução de hexametáfosfato de sódio com concentração de 45,7 g por 1000 cm³ de solução, com o auxílio de uma proveta.

A solução de hexametáfosfato de sódio foi tampada juntamente com carbonato de sódio com o objetivo de manter o pH entre 8 e 9, conforme solicitado em norma. Após um período de repouso de 12 horas, a mistura foi transferida para um dispersor mecânico e agitada com água destilada. A Figura 23 mostra o material em repouso com o defloculante.

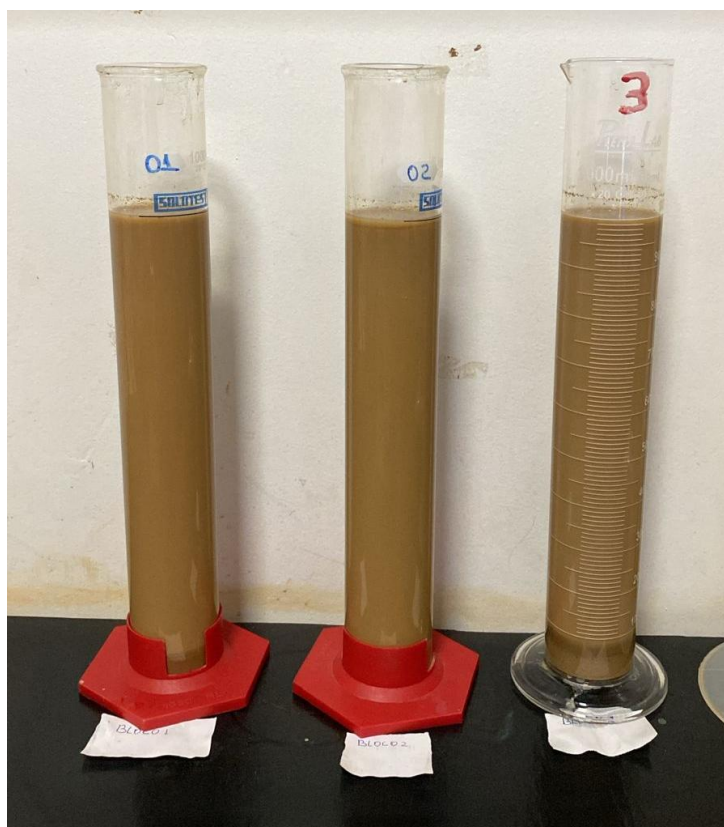
Figura 23 – Material com defloculante



Fonte: Autoria Própria (2025)

Posteriormente, a mistura foi transferida para uma proveta graduada de 1000 ml, sendo seu volume completado com água destilada. A proveta foi agitada manualmente por um minuto, tampada e deixada em repouso (Figura 24).

Figura 24 – Material com defloculante



Fonte: Autoria Própria (2025)

Após essa agitação inicial, iniciou-se a cronometragem das leituras, realizadas em intervalos previamente definidos, a partir de 30 segundos até o período de 24 horas. Em cada intervalo, registrou-se a temperatura da suspensão para controle das condições experimentais. O densímetro foi mergulhado na proveta para fazer as leituras correspondentes, sendo garantido a estabilidade do densímetro na dispersão antes de cada leitura.

A curva granulométrica foi construída por meio de um gráfico no qual o eixo horizontal representa o diâmetro das partículas e o eixo vertical indica a porcentagem de material que passou pelas peneiras. Esse gráfico desempenha um papel fundamental na interpretação visual da distribuição dos grãos do solo, possibilitando uma análise mais detalhada e eficiente de suas características físicas.

3.2.2 Ensaio de Determinação do Limite de Liquidez

O ensaio de determinação do limite de liquidez (LL) foi realizado conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016), que estabelece os procedimentos para identificar o teor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico. O limite de liquidez é um parâmetro fundamental para avaliar a plasticidade e a consistência do solo, sendo essencial para a produção de adobe.

Para esse ensaio, utilizou-se os seguintes equipamentos:

- a) Recipiente de porcelana;
- b) Balança precisão: 0,01 g;
- c) Estufa de secagem;
- d) Esfera de aço: 8 mm de $\varnothing$;
- e) Cinzel;
- f) Espátula;
- g) Aparelho de Casagrande;
- h) Gabarito para verificação da altura de queda da concha do aparelho Casagrande.

Após a etapa de preparação das amostras, o procedimento foi sequenciado pelas seguintes etapas:

- I. Moldagem Manual da Amostra: A amostra de solo foi seca ao ar e depois destorroada manualmente, utilizando uma espátula. Em seguida, foi peneirada em uma malha de 0,42 mm para remover partículas grossas. A fração fina foi homogeneizada e umedecida gradualmente com água destilada, até atingir uma consistência que permitiu a moldagem manual.
- II. Moldagem da Amostra no Aparelho de Casagrande: A amostra úmida foi colocada na concha do aparelho de Casagrande, compactada e nivelada com a espátula para formar uma superfície uniforme. O gabarito de ranhura (cinzel) foi utilizado para fazer um sulco central na amostra, dividindo-a em duas partes iguais, como mostra a Figura 25.

Figura 25 – Sulco central na amostra feita com o cinzel



Fonte: Autoria Própria (2025)

- III. Execução dos Golpes: Usou-se o aparelho de Casagrande, fazendo a concha bater contra a base em uma frequência de aproximadamente dois golpes por segundo e se registrou o número de golpes necessários para fechar o sulco em um comprimento de 13 mm. Tal procedimento foi repetido para diferentes teores de umidade, variando de 15 a 35 golpes.
- IV. Determinação do Teor de Umidade: Após cada ensaio, uma porção da amostra foi coletada para determinação do teor de umidade. O material foi colocado em um recipiente metálico, pesado em uma balança de precisão e secado em estufa a 105°C até massa constante. Calculou-se então o teor de umidade (h) utilizando a seguinte fórmula:

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- M_1 : massa do solo úmido + recipiente (g);

- M_2 : massa do solo seco + recipiente (g);
 - M_3 : massa do recipiente (g).
- V. Construção da Curva de Fluidez: Os valores de teor de umidade e o número de golpes correspondentes são plotados em um gráfico semi-logarítmico, com o número de golpes no eixo horizontal (escala logarítmica) e o teor de umidade no eixo vertical (escala linear). Traçou-se uma reta para ajustar os pontos, e o limite de liquidez é determinado como o teor de umidade correspondente a 25 golpes.

3.2.3 Ensaio de Determinação do Limite de Plasticidade

O ensaio de determinação do limite de plasticidade (LP) foi realizado conforme a NBR 7180 (ABNT, 2016) que estabelece os procedimentos para identificar o teor de umidade no qual o solo deixa de ser plástico e passa a se comportar como um material quebradiço, sendo um parâmetro fundamental para avaliar a plasticidade do solo, sendo essencial para a produção de adobe.

Para esse ensaio, utilizou-se os seguintes equipamentos:

- a) Gabarito de latão, cilíndrico, com 3mm de $\varnothing$;
- b) Balança precisão: 0,01 g;
- c) Estufa de secagem;
- d) Placa de vidro com espessura de 5mm, com uma face esmerilhada;
- e) Cápsulas de alumínio e de porcelana;
- f) Água destilada;
- g) Espátulas metálicas;

Após a etapa de preparação das amostras, o procedimento foi sequenciado pelas seguintes etapas:

- I. Moldagem Manual da Amostra: A amostra de solo foi seca ao ar e destorroada manualmente, utilizando uma espátula. Em seguida, foi peneirada em uma malha de 0,42 mm para remover partículas grossas. A fração fina foi homogeneizada e umedecida gradualmente com água destilada, até atingir uma consistência que permitisse a moldagem manual.
- II. Moldagem dos Cilindros de Sol: Uma porção da amostra úmida foi moldada manualmente em forma de cilindros com aproximadamente 3 mm de diâmetro e 10

cm de comprimento. Esse processo foi realizado sobre uma placa de vidro, utilizando movimentos suaves e uniformes para evitar a formação de fissuras.

- III. Determinação do Limite de Plasticidade: Os cilindros de solo foram enrolados e desenrolados repetidamente sobre a placa de vidro, utilizando a palma da mão, como mostra a Figura 26 abaixo. O processo foi interrompido quando o cilindro começou a se fragmentar em segmentos com comprimento entre 6 mm e 10 mm. Esse ponto indica que o solo atingiu o limite de plasticidade.

Figura 26 – Ensaio para determinar Limite de Plasticidade



Fonte: Autoria Própria (2025)

- IV. Determinação do Teor de Umidade: Segue-se conforme apresentado em 3.2.2 e Equação 1.
- V. Repetição do Ensaio: O procedimento foi repetido pelo menos três vezes para garantir a confiabilidade dos resultados. O limite de plasticidade foi determinado como a média aritmética dos teores de umidade obtidos, com um desvio máximo de $\pm 5\%$ em relação à média.

Solos com limites de plasticidade entre 15% e 30% são considerados ideais, pois apresentam boa trabalhabilidade e coesão, sem excessiva sensibilidade à água. O índice de plasticidade (IP), que é a diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade

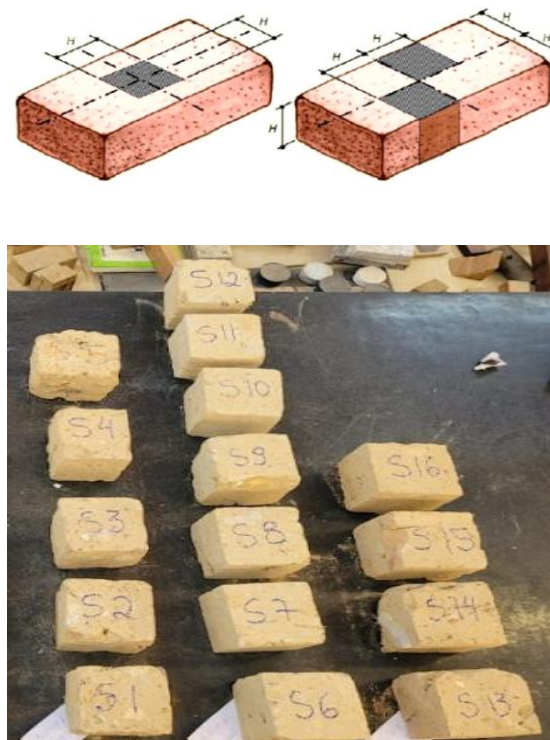
(LP), também é calculado para avaliar a plasticidade do solo. Solos com IP entre 7% e 17% são considerados adequados para a produção de adobe, conforme destacado por Varum *et al.* (2011).

3.3 Ensaios Mecânicos – Resistência à Compressão do Adobe

Os ensaios mecânicos foram realizados com o objetivo de avaliar a resistência à compressão dos blocos de adobe. Este é um parâmetro crítico para determinar a viabilidade do material em aplicações estruturais. O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme os requisitos e métodos descritos na NBR 16814 (ABNT, 2020), que regulamenta os procedimentos para avaliação da resistência de blocos de adobe.

Seguindo as diretrizes do Anexo B da NBR 16814 (ABNT, 2020), com dimensões de 10 cm x 10 cm x 10 cm (altura x largura x comprimento), foram extraídos corpos de prova por amostra dos três blocos, sendo cinco do B1, sete de B2 e quatro do B3, totalizando dezesseis corpos de prova para o ensaio, como elucida a Figura 27 abaixo. A Tabela 3 apresenta os dados de cada corpo de prova contendo suas dimensões (mm) e massa (g).

Figura 27 – Corpos de prova extraídos dos blocos de adobe



Fonte: NBR 16814 (ABNT, 2020) adaptado pelo autor

Tabela 2 - Dimensões (mm) e massa (g) dos corpos de prova extraídos

Corpo de Prova	a (mm)	b (mm)	c (mm)	massa (g)
S1	99,29	97,79	92,46	1437,9
S2	98,10	97,84	97,37	1544,1
S3	96,02	95,81	97,57	1521,3
S4	87,45	98,67	98,53	1400,0
S5	108,57	97,80	103,78	1615,3
S6	99,48	97,41	98,45	1514,2
S7	97,27	97,62	97,87	1486,1
S8	98,32	98,76	97,67	1488,6
S9	97,95	96,29	97,14	1425,9
S10	97,72	98,99	95,33	1480,2
S11	95,40	94,62	87,60	1267,3
S12	98,56	101,18	95,79	1467,3
S13	97,74	96,27	97,39	1480,8
S14	97,57	99,78	100,25	1568,5
S15	99,36	96,27	96,44	1481,0
S16	96,60	97,56	95,56	1555,0

Fonte: Autoria Própria (2025)

Os corpos de prova foram capeados com argamassa de cimento em traço 1:2, conforme especificado na norma. A espessura do capeamento foi limitada a 3 mm para garantir uniformidade na aplicação da carga.

Logo após, os blocos foram submetidos à compressão axial (Figura 28) na máquina universal de ensaios (marca EMIC, modelo DL10000). Os corpos de prova foram posicionados entre duas placas de aço retificadas, com alinhamento ajustado para assegurar a aplicação uniforme da carga. Uma carga progressiva foi aplicada axialmente aos corpos de prova, utilizando o sistema computadorizado da máquina, que permitiu o controle preciso das variáveis e o registro dos dados de carga e deslocamento até o ponto de encurtamento.

A resistência à compressão (f_{ca}) e a resistência característica à compressão do adobe (f_{cak}) foram calculadas respectivamente por meio das Equações 2 e 3 abaixo.

$$f_{ca} = \frac{F_{rup}}{A_{rup}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- f_{ca} : resistência à compressão do corpo de prova (MPa);
- F_{rup} : carga máxima suportada (N);

- A_{rup} : área da seção transversal do corpo de prova (mm^2).

$$f_{cak} = f_{cam} - 1,645 \times S_d \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- f_{cak} : resistência característica à compressão do adobe (MPa);
- f_{cam} : resistência à compressão média da amostra (MPa);
- S_d : desvio padrão da amostra (MPa)

Figura 28 – Ensaio de compressão axial



Fonte: Autoria Própria (2024)

Os valores obtidos foram comparados às especificações normativas e à literatura acadêmica, como os estudos de Varum *et al.* (2011).

3.4 Tratamento dos Dados e Análise dos Resultados

Os dados obtidos foram organizados em tabelas e representações gráficas, a fim de facilitar a análise e interpretação dos resultados. Para as variáveis quantitativas, foram calculadas estatísticas descritivas como média, mediana, desvio padrão, variância, valores mínimo e máximo, além do intervalo interquartil (IQR), fornecendo uma visão abrangente da

distribuição dos dados. A normalidade das variáveis foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk, permitindo avaliar a adequação de procedimentos estatísticos paramétricos.

Com o objetivo de investigar possíveis associações entre as variáveis analisadas, especialmente resistência à compressão, densidade e deformação, foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson, mensurando a intensidade e a direção das relações lineares. Para complementar a análise, boxplots foram utilizados na visualização das dispersões e na detecção de valores discrepantes (outliers). Todas as análises estatísticas foram conduzidas com o uso da linguagem Python, por meio da interface Jupyter Notebook.

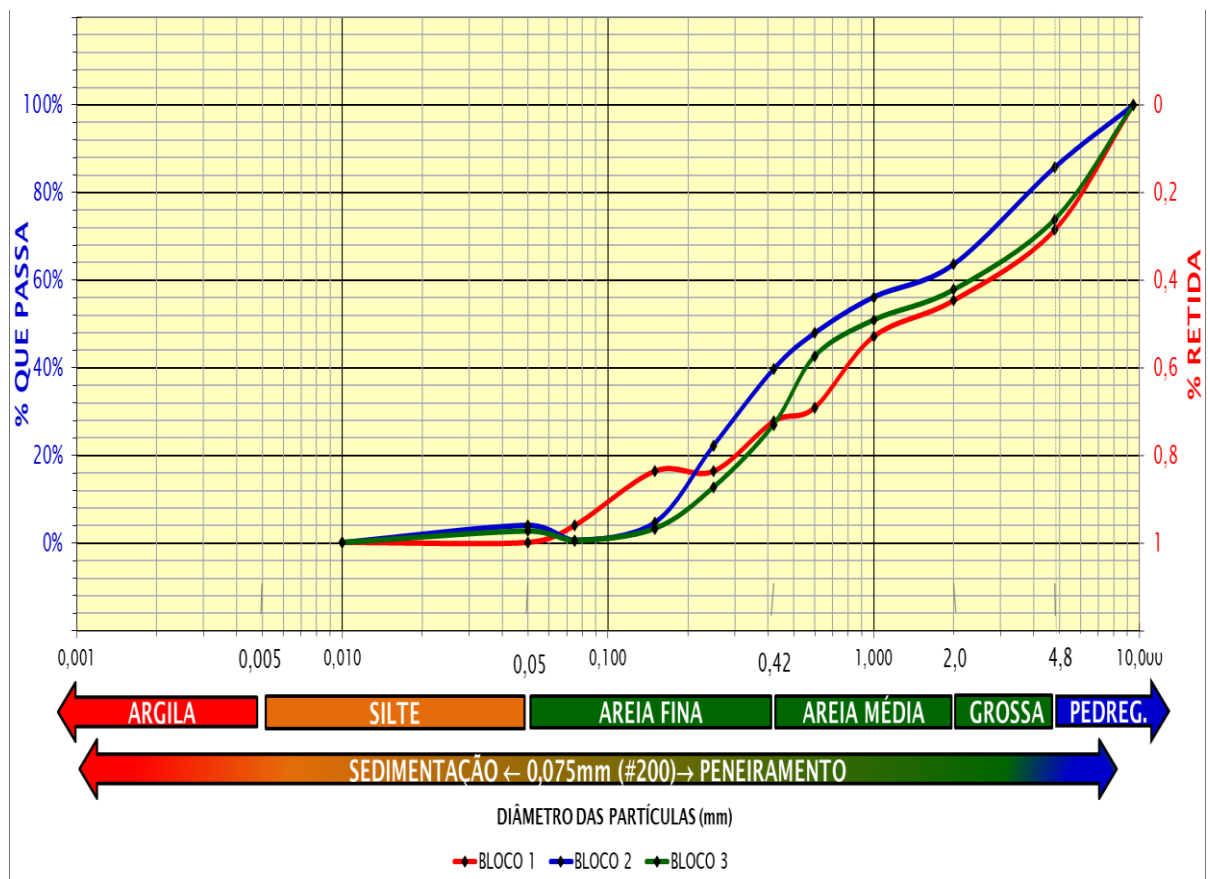
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização Física do Solo

4.1.1 Análise Granulométrica

Na análise granulométrica por sedimentação e peneiramento dos blocos de adobe, observou-se que os materiais apresentaram composições relativamente semelhantes, reforçando a homogeneidade do solo utilizado na construção. A curva granulométrica resultante, apresentada a seguir no Gráfico 1, demonstra visualmente essa distribuição e permite identificar o predomínio da fração arenosa nos três blocos.

Gráfico 1 – Curva Granulométrica dos três blocos



Fonte: Autoria Própria (2025)

O Bloco 1 apresentou aproximadamente 80% de areia, 10% de silte e argila, e 10% de pedregulho. O Bloco 2 apresentou distribuição próxima, com cerca de 79% de areia, 8% de silte e argila, e 13% de pedregulho. Já o Bloco 3 apresentou maior teor de areia, com aproximadamente 82%, seguido por 9% de silte e argila, e cerca de 9% de pedregulho. Essa

consistência entre os resultados indica boa representatividade amostral, uma vez que os três blocos analisados foram retirados da mesma edificação. Diante dessa uniformidade, considerou-se não ser necessário ensaiar outros blocos adicionais.

De acordo com a NBR 16814 (ABNT, 2020), os teores considerados adequados para a produção de blocos de adobe são: areia entre 45% e 65%, silte até 30% e argila entre 25% e 35%. Com base nos resultados obtidos, verifica-se que o solo analisado não se encontra dentro dos parâmetros normativos, apresentando teores de areia superiores ao limite máximo recomendado pela norma (entre 79% e 82%), enquanto os teores de silte e argila estão significativamente abaixo dos valores ideais, especialmente no caso da argila, cuja presença foi inferior a 2%.

A partir do ensaio de sedimentação, foi possível compreender a distribuição e comportamento das partículas do solo e calcular o diâmetro dos grãos, dispostos na Tabela 4 abaixo.

Tabela 3 – Resultados ensaio de sedimentação

Tempo decorrido (min)	Temperatura (Celsius)	Leitura Corrigida	% que passa Amostra total	Diâmetros Partículas(mm)
0,5	27	1,0420	0,11	0,0720
1,0	27	1,0400	0,11	0,0520
2,0	27	1,0360	0,11	0,0371
4,0	27	1,0350	0,11	0,0251
8,0	27	1,0330	0,11	0,0180
15,0	27	1,0315	0,11	0,0133
30,0	26	1,0295	0,11	0,0095
60,0	26	1,0280	0,11	0,0068
240,0	25	1,0240	0,11	0,0034
1.500,0	26	1,0210	0,11	0,0014

Fonte: Autoria Própria (2025)

Os resultados do ensaio de sedimentação indicaram que apenas uma pequena fração do solo apresenta partículas com diâmetros inferiores a 0,02 mm, o que evidencia uma baixa presença de silte e argila. A análise granulométrica confirmou que a maior parte do solo é arenosa, com teores mínimos de finos, o que indica um solo de baixa plasticidade e pouca capacidade de retenção de água.

4.1.2 Limite de Liquidez

Os resultados obtidos no ensaio de determinação do limite de liquidez estão resumidos no Quadro 1, a seguir. Verificou-se que os blocos analisados atenderam aos critérios estabelecidos pela NBR 6459 (NBR, 2016), uma vez que foi possível determinar os teores de umidade em todos os pontos avaliados dos três blocos.

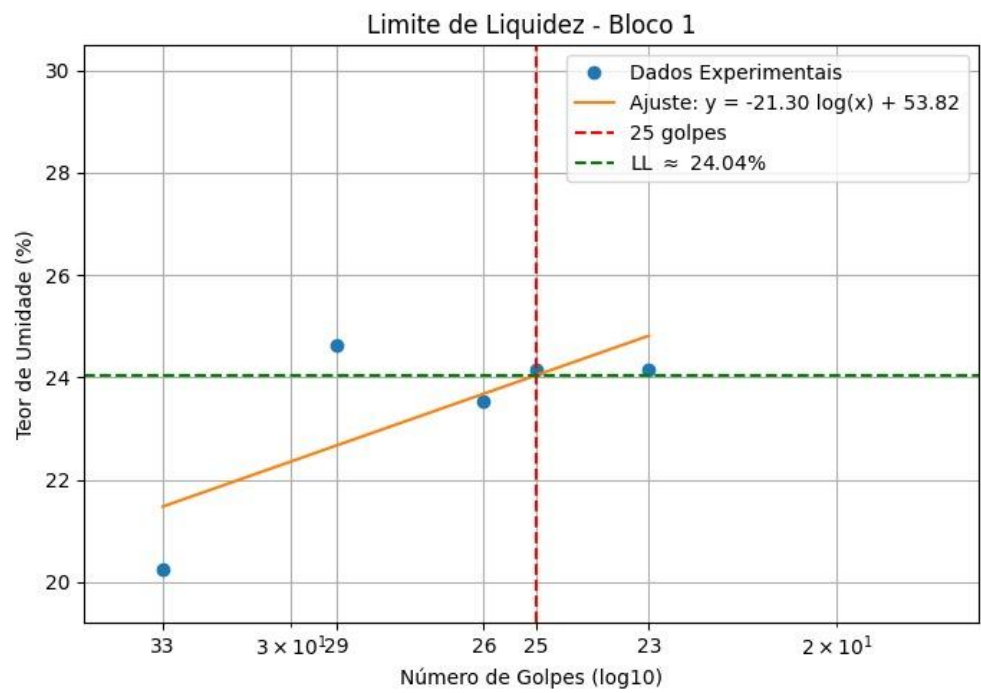
Quadro 1 - Limite de Liquidez

BLOCO 01					
Dados do Ensaio	Limite de Liquidez				
Número de Golpes	26	23	33	29	25
Número da Cápsula	1	2	3	4	5
Peso de Solo, Cápsula e Água (g)	21,60	30,60	33,70	31,90	31,70
Peso de Solo e Cápsula (g)	20,00	29,20	32,10	30,30	30,30
Cápsula (g)	13,20	23,40	24,20	23,80	24,50
BLOCO 02					
Dados do Ensaio	Limite de Liquidez				
Número de Golpes	32	23	28	25	18
Número da Cápsula	1	2	3	4	5
Peso de Solo, Cápsula e Água (g)	23,20	33,00	23,30	33,30	34,10
Peso de Solo e Cápsula (g)	21,30	31,00	21,20	31,10	31,80
Cápsula (g)	13,90	23,30	13,00	23,30	24,00
BLOCO 03					
Dados do Ensaio	Limite de Liquidez				
Número de Golpes	20	25	19	34	35
Número da Cápsula	1	2	3	4	5
Peso de Solo, Cápsula e Água (g)	27,30	25,30	32,40	35,30	31,30
Peso de Solo e Cápsula (g)	26,00	24,00	30,50	33,40	29,40
Cápsula (g)	19,70	18,10	21,30	24,20	20,00

Fonte: Autoria Própria (2025)

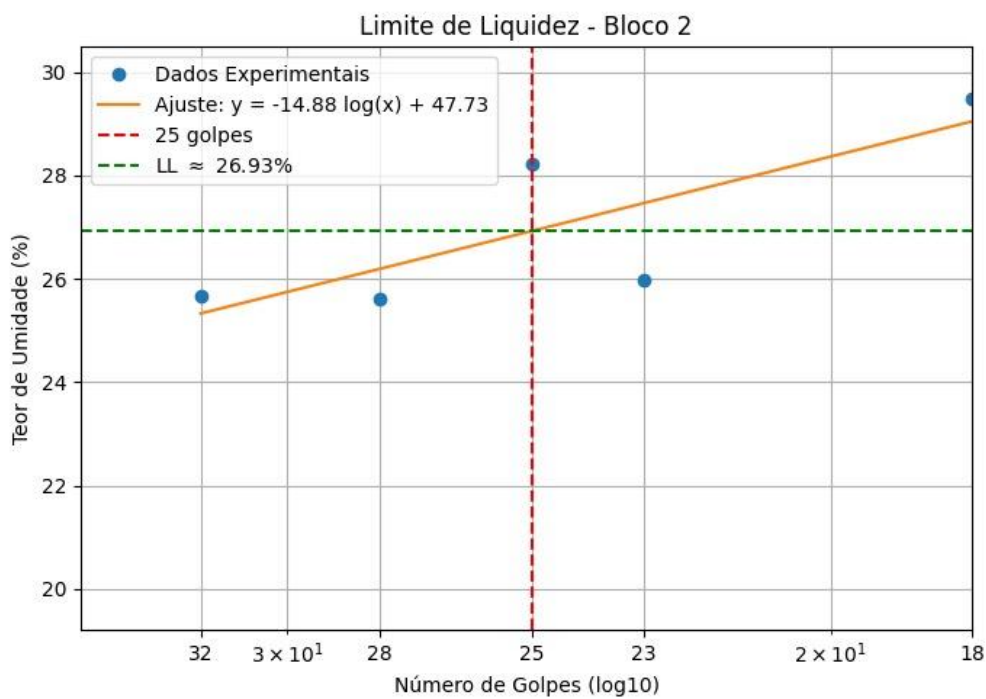
Com base nesses dados, foram construídos os Gráficos 2, 3 e 4 apresentando os limites de liquidez dos blocos 1, 2 e 3 respectivamente, relacionando o número de golpes (ordenada) ao teor de umidade (abscissa). A partir da distribuição dos pontos experimentais, traçou-se uma linha de tendência, cuja interseção com a linha correspondente a 25 golpes indicou o valor do limite de liquidez do solo.

Gráfico 2 – Limite de Liquidez do Bloco 1

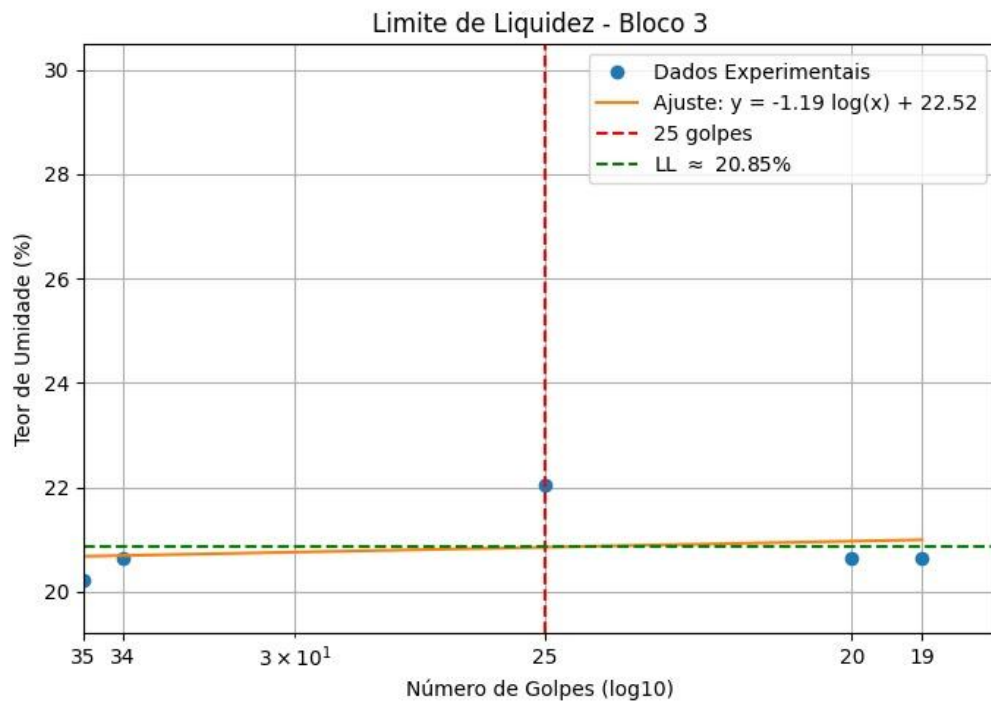


Fonte: Autoria Própria (2025)

Gráfico 3 - Limite de Liquidez do Bloco 2



Fonte: Autoria Própria (2025)

Gráfico 4 - Limite de Liquidez do Bloco 3

Fonte: Autoria Própria (2025)

Para os blocos 01, 02 e 03, os valores de LL encontrados foram 24,04%, 26,93% e 20,85%, respectivamente. Esses valores representam o teor de umidade no qual o solo passa do estado plástico para o estado líquido, sendo uma informação essencial para avaliar a trabalhabilidade do solo utilizado na produção dos blocos de adobe e sua estabilidade em diferentes condições de umidade.

4.1.3 Limite de Plasticidade

Seguindo os critérios estabelecidos pela NBR 7180 (ABNT, 2016), que exige no mínimo três determinações para validação dos resultados, o ensaio para determinação do limite de plasticidade foi realizado com base na média aritmética dos teores de umidade obtidos nos pontos de cada bloco, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Limite de Plasticidade

Dados do Ensaio	LIMITE DE PLASTICIDADE								
	BLOCO 01			BLOCO 02			BLOCO 03		
Número de Golpes									
Número da Cápsula	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso de Solo, Cápsula e Água (g)	26,80	16,20	20,10	25,50	19,40	24,20	21,00	19,00	27,30
Peso de Solo e Cápsula (g)	26,30	15,90	19,60	24,80	18,90	23,60	20,30	18,40	26,90
Cápsula (g)	23,60	13,50	17,6	21,40	16,50	20,9	16,60	14,00	23,8
Água (g)	0,50	0,30	0,50	0,70	0,50	0,60	0,70	0,60	0,40
Solo (g)	2,70	2,40	2,00	3,40	2,40	2,70	3,70	4,40	3,10
Umidade (%)	19%	13%	25%	21%	21%	22%	19%	14%	13%

Fonte: Autoria Própria (2025)

Com esse ensaio, foi observado o resultado em média do Limite de Plasticidade de 18,67% para o Bloco 01, 21,21% para o Bloco 02 e 15,15% para o Bloco 03. Esses dados indicam uma variação no comportamento plástico entre os diferentes blocos analisados, o que pode estar relacionado à heterogeneidade na composição granulométrica do solo utilizado.

Complementarmente, calculou-se o Índice de Plasticidade (IP), obtido pela diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). Os valores encontrados foram de 4,71% para o Bloco 01, 5,72% para o Bloco 02 e 5,73% para o Bloco 03.

4.2 Caracterização Mecânica do Solo

Com o objetivo de compreender o comportamento físico e mecânico dos blocos de adobe utilizados na edificação analisada, foram realizados ensaios laboratoriais a partir de amostras extraídas de paredes internas da residência. Por se tratar de um imóvel com valor patrimonial, a coleta de corpos de prova foi limitada, visando preservar a integridade da construção. Ao todo, foram testadas 16 amostras com dimensões de aproximadamente 95 mm × 95 mm × 95 mm, de onde se obtiveram os dados de densidade aparente (g/cm³), resistência à compressão simples (MPa) e deformação específica na ruptura (%).

4.2.1 Densidade Aparente

Os resultados obtidos para densidade aparente revelaram uma média de 1,73 g/cm³, com desvio padrão de 0,09 g/cm³, apresentando um coeficiente de variação (CV) de apenas

2,3%. Tais valores indicam uma distribuição bastante uniforme entre os blocos, sugerindo consistência no processo de fabricação dos adobes utilizados na edificação.

Apesar de a norma brasileira NBR 16814 (ABNT, 2020) não estabelecer um valor mínimo ou de referência para a densidade aparente unitária dos blocos de adobe, os dados obtidos demonstram boa homogeneidade entre as amostras, o que fortalece a confiabilidade dos resultados. Essa uniformidade pode ser atribuída ao controle manual e artesanal do processo produtivo, uma característica típica das construções em adobe em áreas históricas.

4.2.2 Resistência à Compressão

A resistência à compressão simples foi avaliada conforme os procedimentos definidos na própria NBR 16814 (ABNT, 2020). A média registrada para as 16 amostras foi de 0,93 MPa, com variação entre 0,75 MPa e 1,15 MPa. Embora alguns corpos de prova tenham alcançado resultados próximos de 1,1 MPa, nenhum deles atingiu o valor mínimo de 1,5 MPa exigido pela norma para o uso dos blocos em alvenaria estrutural.

O coeficiente de variação para esse parâmetro foi de 13,6%, o que indica uma dispersão moderada, mas aceitável, considerando a origem artesanal dos blocos. A resistência característica dos blocos (f_{cak}), calculada a partir da média menos o desvio padrão multiplicado por um fator de correção estatística ($k=1,65$), foi de 0,63 MPa, o que reforça o entendimento de que, na forma como foram produzidos, os blocos não são tecnicamente adequados para suportar esforços estruturais, sendo indicados apenas para fechamento de vedação.

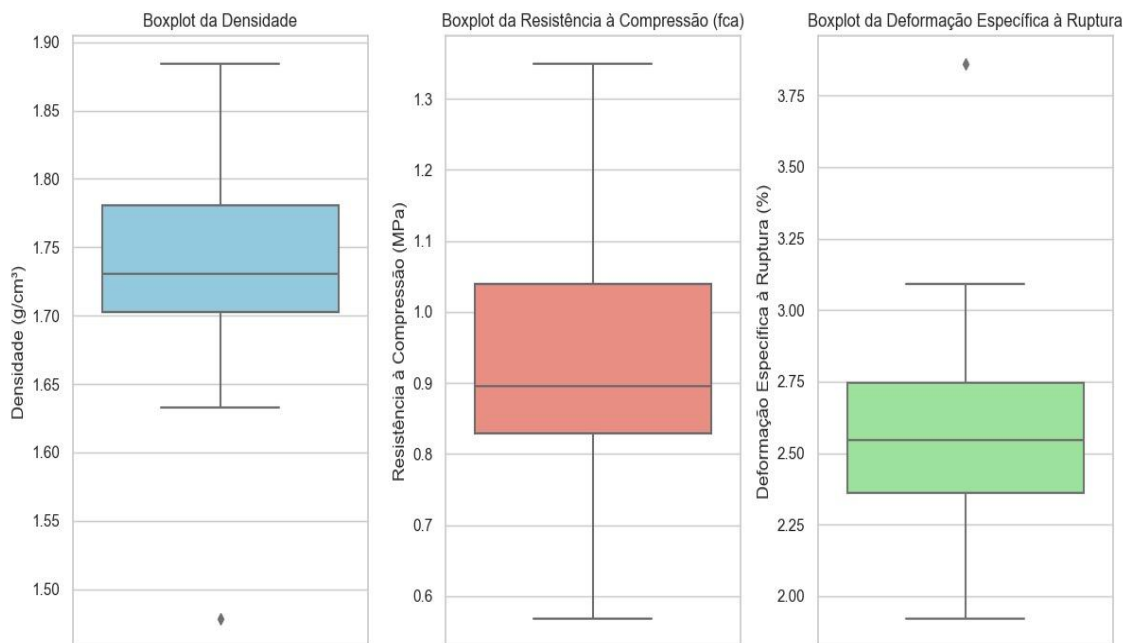
4.2.3 Deformação Específica na Ruptura

No que se refere à deformação específica dos blocos no momento da ruptura, observou-se uma média de 2,59%, com desvio padrão de 0,48% e coeficiente de variação de 18,4%, sendo esse último o maior entre os parâmetros avaliados.

Esse comportamento reforça a necessidade de cuidados adicionais durante a moldagem e a secagem dos blocos, além da possível adoção de técnicas de estabilização para melhorar o desempenho estrutural, sobretudo em edificações com exigências superiores de desempenho mecânico.

Além das médias e desvios padrão, foi realizada uma análise gráfica por meio de boxplots, com o intuito de verificar a presença de valores atípicos nas amostras. O Gráfico 5 exibe os boxplots para as três variáveis analisadas.

Gráfico 5 - Boxplots de Densidade aparente (g/cm^3), Resistência à Compressão (MPa) e Deformação Específica à Ruptura (%), com destaque para outliers



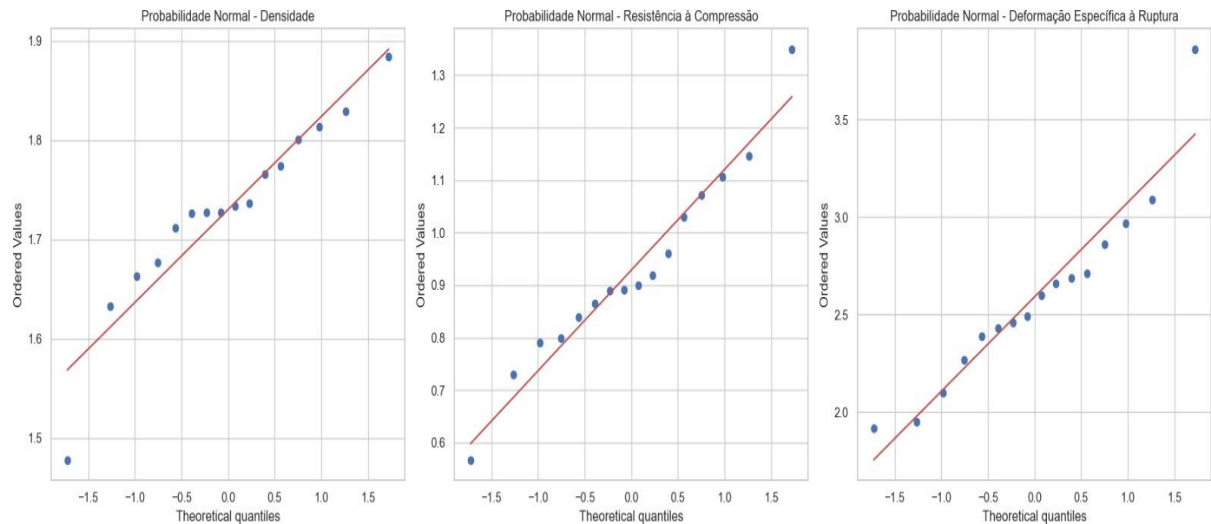
Fonte: Autoria Própria (2025)

4.2.4 Análise Estatística e Distribuição dos Dados

Para checar se os dados coletados seguiam uma distribuição normal, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk. Todos os parâmetros, densidade aparente ($p = 0,185$), resistência à compressão ($p = 0,885$) e deformação específica ($p = 0,218$), apresentaram valores de p acima de 0,05, o que confirma que os dados seguem uma distribuição normal. Essa constatação permitiu o uso de métodos estatísticos paramétricos nas análises seguintes, como o cálculo do intervalo de confiança e a correlação linear.

O Gráfico 6 apresenta os gráficos de probabilidade normal (Q-Q plot) utilizados para avaliar a aderência dos dados à distribuição normal, conforme o teste de Shapiro-Wilk aplicado às três variáveis principais.

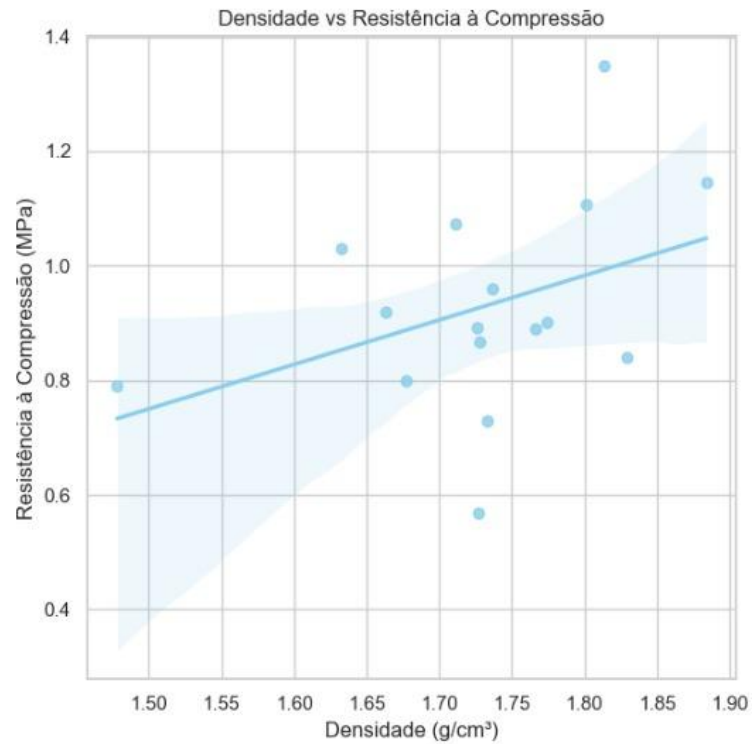
Gráfico 6 - Probabilidade normal para Densidade aparente (g/cm^3), Resistência à Compressão (MPa) e Deformação Específica à Ruptura (%)



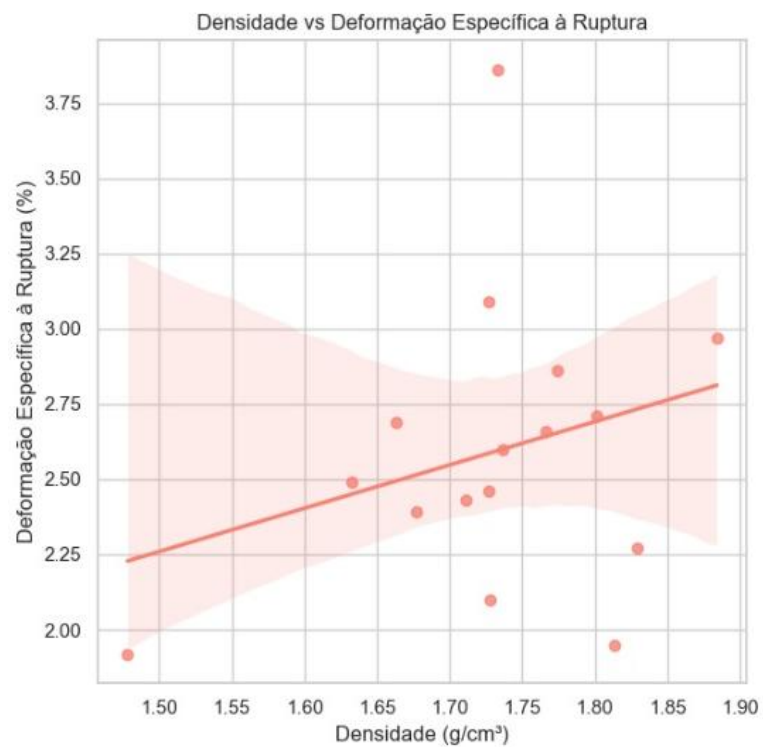
Fonte: Autoria Própria (2025)

4.2.5 Correlação entre Propriedades Físicas e Mecânicas

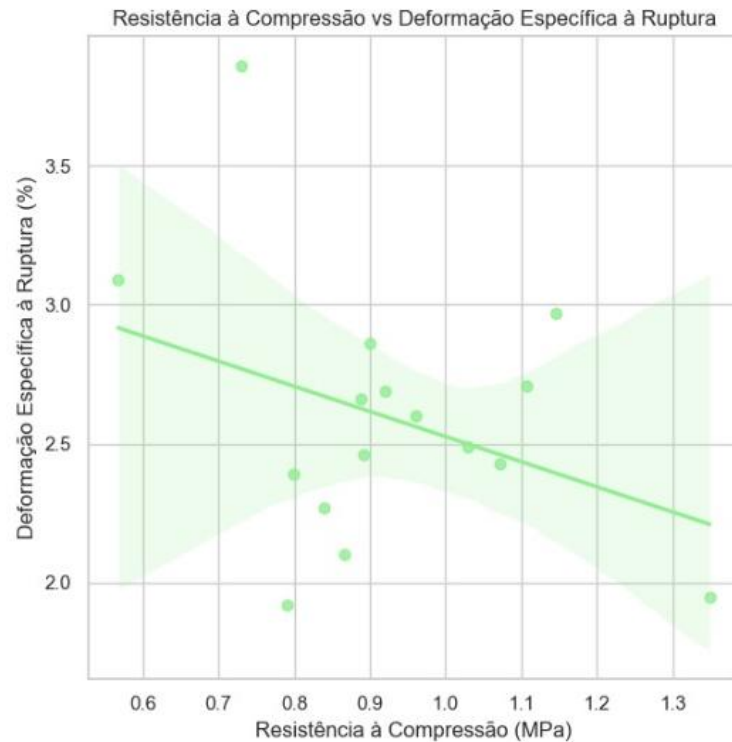
Para entender como os critérios analisados se conectam, foi realizado um estudo de correlação de Pearson. O Gráfico 7, 8 e 9 mostra as correlações lineares entre as variáveis analisadas, permitindo ver de forma clara as tendências descritas entre as características mecânicas e físicas dos blocos.

Gráfico 7 - Dispersão entre (a) Densidade × Resistência à Compressão

Fonte: Autoria Própria (2025)

Gráfico 8 - Dispersão entre (b) Densidade × Deformação Específica

Fonte: Autoria Própria (2025)

Gráfico 9 - Dispersão entre (c) Resistência à Compressão × Deformação Específica

Fonte: Autoria Própria (2025)

A correlação entre densidade aparente e resistência à compressão foi positiva, com coeficiente de $r = 0,39$, indicando uma tendência de que blocos mais densos apresentem maior resistência, ainda que essa relação não tenha se mostrado estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Já a correlação entre densidade e deformação específica foi de $r = 0,28$, sugerindo que blocos mais densos tendem a se deformar um pouco menos antes da ruptura. Por fim, observou-se uma correlação negativa entre resistência à compressão e deformação específica ($r = -0,35$), o que indica que, quanto mais resistente o bloco, menor sua capacidade de deformação antes da ruptura.

Mesmo que essas correlações não sejam fortes, elas mostram tendências importantes que merecem investigação mais aprofundada em estudos com um número maior de amostras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como propósito avaliar as propriedades físicas e mecânicas de blocos de adobe extraídos de uma edificação histórica em Natividade – TO, buscando compreender o comportamento do material frente ao uso real e à possibilidade de sua preservação com fins turísticos e patrimoniais.

Os resultados mostraram que os blocos apresentaram boa uniformidade física, com densidade aparente média de $1,73 \text{ g/cm}^3$ e pequenas variações entre as amostras, o que sugere um razoável controle na sua produção artesanal. No entanto, o desempenho mecânico foi insuficiente: a resistência média à compressão obtida de $0,93 \text{ MPa}$ ficou abaixo do mínimo exigido pela NBR 16814 (ABNT, 2020), correspondente a $1,5 \text{ MPa}$, com valor característico (f_{cak}) de $0,63 \text{ MPa}$, indicando restrições para uso estrutural. Apesar disso, eles podem ser usados para fins não estruturais, como paredes de vedação, desde que sejam seguidas boas práticas de construção e manutenção.

A deformação específica no ponto de ruptura apresentou maior variação do que as demais características, com uma média de $2,59\%$, refletindo certa fragilidade do material quando submetido a cargas progressivas. Essa variação mais acentuada reflete a sensibilidade do material às microfissuras internas e à heterogeneidade da matriz de solo utilizada, o que pode comprometer sua ductilidade e capacidade de redistribuir tensões antes do colapso.

A análise granulométrica confirmou a predominância de areia (79% a 82%), com baixos teores de silte e argila, o que compromete a plasticidade e a coesão natural do solo. A presença residual de argila, inferior a 2% , não é suficiente para garantir coesão natural satisfatória, sendo recomendável o uso de aditivos estabilizantes caso se deseje melhorar as propriedades mecânicas e de durabilidade do adobe.

Na análise da consistência, os limites de liquidez e plasticidade, seguindo as diretrizes das NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016), mostraram-se adequados para solos argilosos com média plasticidade. Os valores médios obtidos para os blocos ficaram entre $18,62\%$ e $20,84\%$ para o LL e de $15,15\%$ a $21,21\%$ para o LP, gerando índices de plasticidade (IP) de $4,71\%$ a $5,73\%$. Esses valores indicam que o solo tem plasticidade suficiente para moldagem manual, facilitando seu uso na produção de adobes.

De modo geral, o adobe estudado demonstrou ser viável como material sustentável, com desempenho físico satisfatório e limitações mecânicas que podem ser superadas com intervenções simples, como adição de cal, cimento ou fibras vegetais. Os dados obtidos

contribuem para o diagnóstico técnico da edificação e reforçam o potencial de uso do adobe em projetos de conservação e reutilização que respeitem o seu valor histórico.

Por fim, este estudo fornece informações relevantes para a conservação e possível readaptação da função do edifício analisado, evidenciando que, mesmo com certas restrições, o adobe pode ser reconhecido como uma técnica de construção viável, especialmente quando associado à proteção do patrimônio cultural e ao estímulo às práticas sustentáveis de utilização do espaço urbano.

Para estudos futuros, recomenda-se ampliar a amostragem, testar diferentes formas de estabilização e investigar o comportamento do material em diferentes condições de exposição, contribuindo para intervenções mais seguras e duradouras.

REFERÊNCIAS

ABRAHAMSEN, R. B.; MALO, K. A. **Structural design and assembly of "Mjøstårnet" - the world's tallest timber building**. Structures, v. 28, p. 1729-1739, 2020.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457: Solo – Preparação de amostras para ensaios de compactação e caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

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

_____. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16596: Sistemas de dutos para instalações prediais - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 16814: Adobe - Requisitos e Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASDRUBALI, F. *et al.* **Life cycle assessment of natural building materials: comparative analysis**. Journal of Cleaner Production, v. 375, 134104, 2022.

BARROS, I. F.; BRITO, M. A. **Tecnologias sustentáveis e habitação popular: o projeto Moradia Urbana com Terra Crua (MUTE)**. Revista de Arquitetura, Urbanismo e Sustentabilidade, v. 10, n. 1, p. 85–98, 2022.

BAZIN, German. **L'Architecture Religieuse Baroque au Brésil**. Tome II, Paris: Librairie Plon, 1958

BLOCK, India. Mjøstårnet in Norway becomes world's tallest timber tower. In: Dezeen Magazine. 19 mar. 2019. Disponível em: <<https://www.dezeen.com/2019/03/19/mjostarne-worlds-tallest-timber-tower-voll-arkitekter-norway/>> Acesso em: 01 jul. 2025.

BRANDI, Cesare. **Teoria da Restauração**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2004.

BRASIL. Ministério da Cultura. IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Carta de Brasília sobre Patrimônio Cultural e Sustentabilidade**. Brasília, 2012.

_____. **Diretrizes para conservação de edificações históricas em terra**. Brasília, 2022.

BRASIL. Ministério da Cultura. IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Dossiê de tombamento do conjunto arquitetônico, paisagístico e urbanístico de Natividade – Goiás**. 1984. Documento disponibilizado pelo órgão na Superintendência do IPHAN Tocantins.

BRASIL. Ministério da Cultura. IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Manual de conservação preventiva de edificações de valor cultural**. Brasília: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, 2005.

BRASIL. Ministério da Cultura. IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Manual de Conservação da Arquitetura Nativitana**. Programa Monumenta, 2008.

BRAVO, M. *et al.* **Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants**. Journal of Cleaner Production, v. 99, p. 59-74, 2018.

CANADELL RUIZ, S.; BLANCO ÁLVAREZ, A.; PIALARISSI CAVALARO, S. H. **Comprehensive design method for earthbag and superadobe structures**. Materials & Design, v. 96, p. 270-282, 2016.

CALABRIA, Juliana A.; VASCONCELOS, Wander L.; BOCCACCINI, Aldo R. **Microstructure and chemical degradation of adobe and clay bricks**. Ceramics International, v. 35, n. 2, p. 665-671, 2009.

CARVALHO, J. P. *et al.* **Reforço sísmico de edificações em adobe com compósitos de matriz mineral**. Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 44, n. 3, p. 201-215, 2022.

CARTUCHO, J. M. O. **Caracterização térmica, mecânica e da durabilidade dos adobes utilizados na região de Mira e de blocos de terra comprimida com agregados reciclados**. Escola de Engenharia. Universidade do Minho. Braga, Portugal. 2023

CENTRO DE TECNOLOGIA EM TERRA - UNB. **Relatório Técnico: Construções contemporâneas em adobe**. Brasília: UNB, 2023.

CINTRA, Plinio. **Matriz de Nossa Senhora de Nazaré – Santa Rita Durão, Mariana, Minas Gerais**). Sanctuaria.art, Disponível em: <<https://sanctuaria.art/2021/07/15/matriz-de-nossa-senhora-de-nazare-santa-rita-durao-mariana-minas-gerais/>> Acesso em: 24 de Jan. 2025.

CORRÊA, A. A. R.; TEIXEIRA, V. H.; LOPES, S. P.; OLIVEIRA, M. S. de. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua)**. Ciência e Agrotecnologia, v. 30, n. 3, p. 503-515, 2006.

CORREIA, A. G.C. **Mecânica dos solos e fundações I-Elementos teóricos**. IST-UTL, Lisboa.1995

COSTA, C.; CERQUEIRA, Â.; ROCHA, F.; VELOSA, A. **The sustainability of adobe construction: past to future**. International Journal of Architectural Heritage, v. 13, n. 5, p. 639-647, 2019.

DCHULOV. **Cabras dirigidas por uma rua vazia da cidade de Shibam, Shibam, Iêmen**. In: Depositphotos. 12 set. 2006. Disponível em: <<https://depositphotos.com/br/editorial/goats->

run-by-an-empty-street-of-shibam-town-shibam-yemen-62376301.html> Acesso em: 01 jul. 2025.

DIAS, G. D. **Viabilidade técnica e econômica do superadobe na construção de casas populares**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), UNESP, 2015.

EAMES, U. *et al.* **Energy efficiency and heat transfer coefficient of wattle-and-daub walls: evaluation in vernacular constructions**. Builders & Conservation Journal, 2021

EARTHWORM. Superadobe Building Start. In: Flickr. 5 jun 2010. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/earthworm/4694624229/in/photostream/>> Acesso em: 01 jul. 2025.

FARIA, O. B. *et al.* **Adobe construction in semi-arid climates: thermal performance and cultural relevance**. Building and Environment, v. 185, 107253, 2020.

FARIA, O. B.; CEVALLOS, R. O. **Desempenho térmico de edificações em adobe no semiárido brasileiro**. Ambiente Construído, v. 22, n. 1, p. 123-140, 2022.

FERNANDES, J. E. *et al.* **Energy efficiency of earth constructions: A comprehensive analysis for Brazilian climates**. Energy and Buildings, v. 278, 112634, 2023.

FERRAZ JUNIOR, F. A. C. **Considerações sobre conforto térmico em edificações de terra crua**. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 1995, Gramado. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 1995. p. 227-232.

FREITAS, V. P. *et al.* **Hygrothermal behavior of earth constructions**. Construction and Building Materials, v. 304, 124568, 2021.

GERBELLI, Renato. **São Luiz do Paraitinga (SP): tradição, cultura e turismo histórico**. In: Pegamos uma estrada. 11 fev. 2025. Disponível em: <<https://pegamosumaestrada.com.br/sao-luiz-do-paraitinga-sp-tradicao-cultura-e-turismo-historico/>> Acesso em: 01 jul. 2025.

GIESEKAM, J. *et al.* **The carbon footprint of construction materials: A comparative analysis**. Energy and Buildings, v. 112, p. 180-192, 2016.

GLOBALABC. **2023 Global Status Report for Buildings and Construction**. Paris: UNEP, 2023.

GOMES, M. I. *et al.* **Influence of wall thickness and coatings on adobe thermal performance**. Journal of Building Physics, v. 46, n. 5, p. 587-605, 2023.

GONÇALVES, J. S. **Contribuição para a normalização da alvenaria estrutural com o uso de tijolos de terra crua para construções urbanas**. Dissertação (mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de Paraíba. João Pessoa – PB. Setembro, 2005. 41p.

HALL, M. R.; ALLINSON, D. **Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent thermal conductivity of stabilized rammed earth materials**. Applied Thermal Engineering, v. 167, 114816, 2020.

HOUBEN, H. GUILLAUD, H. **Earth Construction: A Comprehensive Guide**. Intermediate Technology Publications, 1994.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Revestimentos protetivos para edificações em terra: relatório de pesquisa**. São Paulo: IPT, 2023. (Relatório Técnico n. 45.678)

JAQUIN, P. A. **History of Earth Building Techniques**. London: Routledge, 2021.

KIBERT, C. J. **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery**. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2016.

LIBRELOTTO, L I; FERROLI, P C; BÁRTOLO, H; VASCONCELOS, C. **Construção com terra: passado e futuro**. IMPACT projects. Santana do Araguaia, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.unifesspa.edu.br/index.php/impactprojects/article/view/2077/1018>> . Acesso em: 24 de jan. 2025

LIMA, A. A.; OLIVEIRA, R. A. **A técnica construtiva do adobe no Brasil: contexto histórico e potencial de reabilitação**. Revista Arqueologia da Arquitetura, v. 14, p. 1–16, 2017.

LIMA, H. F.; TAVARES, D. P. **Estabilização de blocos de terra com cinza de casca de arroz: desempenho físico e mecânico**. Revista Matéria, v. 24, n. 2, p. e12318, 2019.

LISBÔA, Sumara; NEVES, Célia; FARIA, Obede B. Desenvolvimento da norma para pau a pique (ABNT). In: Rede Terra Brasil. 4 fev 2025. Disponível em: <<https://redeterrabrasil.net.br/development-norm-pau-a-pique/>> Acesso em: 01 jul. 2025.

LISBÔA, S. A. S.; LIBRELOTTO, L. I. **Diretrizes para a prototipagem de um painel de vedação em bambu e terra, utilizando a técnica de pau-a-pique**. 2018.

LOPES, Camila de Queiroz Pimentel. **Persistência nativiana: uma análise morfológica**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, 2019.

MARQUES, Luísa Sant Ana. **Investigação sobre o comportamento térmico do adobe para as necessidades climáticas e normativas brasileiras**. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da UFMG, 2018

MENDES, R. *et al.* **Coeficientes de segurança para cálculo estrutural de edificações em adobe**. Revista Matéria, v. 28, n. 1, p. 1-15, 2023.

MICKAILY-HUBER, E. *et al.* **Earth Construction: From Traditional Techniques to Modern Innovations**. Zurich: Sustainable Building Press, 2022.

MICCOLI, L.; SILVA, R. A.; GAROFANO, A.; OLIVEIRA, D. V. **In-plane behaviour of earthen materials: a numerical comparison between adobe masonry, rammed earth and cob**. COMPDYN, 2017

MINKE, Gernot. **Manual de construção com terra: uma arquitetura sustentável**. São Paulo: B4 Editores, 2015.

MONTEIRO, R. S.; LIMA, A. P.; SANTOS, D. R. **Efeitos da adição de fibras de sisal em blocos de adobe**. Revista Brasileira de Materiais para Construção Sustentável, v. 3, n. 1, p. 22–30, 2021.

NASCIMENTO, Larisse Gama do. **Avaliação da vulnerabilidade estrutural do centro histórico de Aracati**. 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Russas, 2019. Acesso em: 25 de Jan. 2025

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponível em: <<http://www.redproterra.org>> Acesso em: 24 de Jan. 2025

NIROUMAND, Hamed; ZAIN, Muhammad Fauzi Mohd; JAMIL, Maslina. **A guideline for assessing of critical parameters on Earth architecture and Earth buildings as a sustainable architecture in various countries**. Renewable and sustainable energy reviews, v. 28, p. 130-165, 2013.

OLIVEIRA, C.; VARUM, H. **Reforço estrutural de construções em terra: métodos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2023.

OLIVEIRA, Mário Mendonça de. **Tecnologia da conservação e da restauração – materiais e estruturas: um roteiro de estudos**. 4. ed. rev. e ampl. Salvador: EDUFBA, 2011.

PEREIRA, Marco C.; WONG, Sara. **Casarios Ancestrais em Adobe, Novo México** Disponível em: <<https://www.got2globe.com/editorial/novo-mexico-taos-america-norte-ancestral/>> Acesso em: 24 de Jan. 2025.

PERU. **Norma Técnica E.080: Diseño y construcción con tierra reforzada**. Lima: Ministerio de Vivienda, 2017.

PORTO, Marconio Ferreira. **Processo do patrimônio no Tocantins**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, 2011.

PROJETO DIRECT. **Monitoramento de edificações históricas em terra: relatório final**. Salvador: UFBA/IPHAN, 2022.

RAMAKRISHNAN, A.; LOGANAYAGAN, S. **Adobe blocks reinforced with natural fibres: A review**. Materials Today: Proceedings, v. 45, p. 1010-1015, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/348428071_Adobe_blocks_reinforced_with_natural_fibres_A_review> Acesso em: 24 jan. 2025.

RIZZO, A. *et al.* **Thermal performance of earthen walls: A review**. Journal of Building Engineering, v. 44, 103265, 2021.

RIZZOLO, A. *et al.* **Vapor permeability of earth building materials: Experimental assessment**. Building and Environment, v. 228, 109842, 2023.

ROCHA, D. A.; PEREIRA, V. L.; CAVALCANTE, J. F. **Simulação numérica de paredes em adobe com reforço interno**. Revista Tecnológica da Construção Civil, v. 5, n. 2, p. 44–59, 2023.

SÁ, Thiago. **Casario de Natividade, Tocantins, Brasil**. In: Instagram. 19 mai 2019. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/BxqkQMRfMjJ/?igsh=OGZnaXp5aWVobHR1>> Acesso em: 01 jul. 2025.

SANT'ANNA, T. C. *et al.* **Restauração e reuso de edifícios em adobe: o caso de Natividade – TO**. Revista Cadernos do IPPUR, v. 34, p. 91–110, 2020.

SANTOS, C. A. P.; MATIAS, L. **ITE50 LNEC - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios**. 2006.

SANTOS, Daniel Pinheiro; BESSA, Sofia Araújo Lima. **O Uso do Adobe no Brasil: Uma Revisão da Literatura**. MIX Sustentável, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 53-66, mar.2020. ISSN24473073. Disponível em: <<https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/3741/3054>> Acesso em: 24 de jan. 2025.

SANTOS, T. G. *et al.* **Ferrocimento em construções de terra: aplicações contemporâneas**. Revista Tecnologia e Sociedade, v. 19, n. 2, p. 78-92, 2023.

SILVA, R. M.; BRUM, A. B.; OLIVEIRA, E. R. **Avaliação do desempenho mecânico de blocos de adobe estabilizados com cal**. Revista Matéria, v. 25, n. 3, p. e12451, 2020.

SHARMA, B. *et al.* **Engineered bamboo for structural applications**. Construction and Building Materials, v. 303, 124465, 2021.

SUSTENTARQUI. **Taipa de pilão: O que é? Como fazer? Quais são suas vantagens?**. In: Redação SustentArqui. 08 mai 2020. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/taipa-de-pilao-o-que-e-como-fazer-quais-sao-suas-vantagens/>> Acesso em: 17 jul. 2025.

TATIWAR. Ruínas da igreja de Pedra -Natividade - TO. In: Flickr. 2 ago 2010. Disponível em: <<https://flickr.com/photos/tatiwar/5447184200>> Acesso em: 01 jul. 2025.

TEAR/UFGM. **Tecnologias contemporâneas para construções em terra**. Belo Horizonte: UFGM, 2023. (Relatório Técnico)

TONOLI, G. H. D. *et al.* **Cellulose fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research**. Construction and Building Materials, v. 152, p. 200-217, 2017.

TORGAL, F. P.; EIRES, R.; JALALI, S. **Construções em terra: passado, presente e futuro**. In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2009, Guimarães. Anais... Guimarães: Universidade do Minho, 2009.

TRABADO, Irene Santiago. **Paredes de tierra que escuchan a lxs niñxs sordxs de Burundi**. Biblioteca de Muyinga. 24 abr 2018. Disponível em: <<https://yrenadabrahma.wixsite.com/airearq/post/paredes-de-tierra-para-escuchar-a-lxs-ni%C3%B1xs-sordxs-de-burundi-biblioteca-de-muyinga>> Acesso em: 16 jul. 2025.

VARUM, H.; MARTINS, T.; VELOSA, A. **Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro**. IV SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Convento da Orada, Monsaraz, 8 a 10 de outubro de 2011.

WALTER, Tyler. O que é COB? Conheça a técnica de bioconstrução e as suas vantagens. In: Casa e Jardim. 15 mai. 2024. Disponível em: <<https://revistacasaejardim.globo.com/um-so-planeta/noticia/2024/05/o-que-e-cob-conheca-a-tecnica-de-bioconstrucao-e-as-suas-vantagens.ghtml>> Acesso em: 01 jul. 2025.

YAN, Z.; ZHU, J.; JAMIL, A. Experimental studies on the thermal and moisture properties of earth building materials. **Architectural Science Review**, v. 54, n. 2, p. 125-133, 2011.