



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

LARYSSA MONTELO VILAS BOAS

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE BLOCOS DE ADOBE EM UMA
CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL EM NATIVIDADE - TO**

PALMAS

2025

LARYSSA MONTELO VILAS BOAS

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE BLOCOS DE ADOBE EM UMA
CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL EM NATIVIDADE - TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no Curso Superior de Engenheiro
Civil do Instituto Federal 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

B662p Boas, Laryssa Montelo Vilas
 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE BLOCOS DE ADOBE
 EM UMA CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL EM NATIVIDADE - TO /
 Laryssa Montelo Vilas Boas. – Palmas, TO, 2025.
 64 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. Construções em Terra Crua. 2. Patrimônio Histórico. 3. Arquitetura
Vernacular. 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

LARYSSA MONTELO VILAS BOAS
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ADOBE EM UMA CONSTRUÇÃO
RESIDENCIAL EM NATIVIDADE - TO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil
Instituto Federal 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: 08/08/2025 17:58:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Rodrigo Araújo Fortes
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **PAULO ROBERTO DE OLIVEIRA JUNIOR**
Data: 08/08/2025 18:48:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Paulo Roberto de Oliveira Júnior

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **CEJANE PACINI LEAL MUNIZ**
Data: 13/08/2025 08:39:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Cejane Pacini Leal Muniz

Banca Examinadora

Dedico este trabalho à minha família, pelo carinho e apoio incondicionais.

Em especial à minha avó Iraci Montelo, com todo meu amor e saudade.

AGRADECIMENTOS

É difícil escrever sem me emocionar. Chorei escrevendo cada parte deste TCC e agora, nos agradecimentos, não seria diferente.

Primeiro, meu agradecimento ao Prof. Me. Rodrigo Araújo Fortes, que além de orientador foi também meu professor e coordenador. Nunca faltou apoio e paciência, sou profundamente grata por toda a orientação e pela confiança que recebi ao longo desse processo. Agradeço também à banca avaliadora pela disponibilidade, pelas contribuições valiosas e pelo respeito com que acompanharam meu trabalho.

Agradeço à minha família, que foi meu porto seguro. Mãe, você sempre foi minha maior apoiadora, mesmo quando eu estava no limite. Obrigada por tudo. À minha tia Marlene e à minha prima Kariny, que estiveram comigo durante todos esses anos de faculdade. Ao meu pai e aos irmãos Beatriz, Gustavo e Sofia, deixo meu reconhecimento por fazerem parte da minha história. Quero agradecer, com todo o meu coração, a cada membro da minha família que me apoiou, torceu por mim e esteve presente, mesmo que às vezes de longe. Sei o quanto sou amada por tudo que recebo de cada um e me sinto privilegiada. A todos vocês, serei eternamente grata.

Também sou grata aos meus amigos, que caminharam comigo durante esses anos. Em especial a Giovana, que desde o primeiro dia de faculdade, tornou tudo mais leve com sua irmandade, e ao Lucena, que chegou nos últimos períodos trazendo companheirismo e apoio. Agradeço também ao João Felipe, que dividiu comigo a parte prática do TCC.

Ao IFTO, minha gratidão por abrir as portas do conhecimento, me permitindo crescer e sonhar. Apoiar e fortalecer a educação pública é acreditar na transformação real das pessoas e do país.

Também agradeço aos colegas do estágio, que foram essenciais nessa reta final. Com empatia, paciência e compreensão, me ajudaram a crescer profissionalmente. Sou muito grata por cada ensinamento e suporte.

E agora, preciso agradecer a mim. Só eu sei o que passei em silêncio, o quanto chorei escondida, o quanto me cobreí, o quanto me calei. Mesmo assim, fui gentil, fui forte e não desisti. Continuei mesmo sem saber como. E hoje, olhando para tudo isso, eu posso dizer: eu consegui. E eu tenho orgulho de mim.

*“Defender o nosso patrimônio histórico e
artístico nacional é alfabetização.”*

(Mário de Andrade, 1990).

RESUMO

Este estudo visa avaliar as propriedades físicas e mecânicas de paredes de adobe em uma construção residencial localizada no centro histórico de Natividade - TO, destacando sua importância para a preservação, conservação e manutenção do patrimônio histórico. A metodologia incluiu a coleta de amostras de adobe, a realização de ensaios de compressão e a caracterização física do material através de análises granulométricas, de limites de liquidez e de plasticidade, seguindo as normas técnicas da ABNT (NBR 7181, NBR 6459 e NBR 7180). O ensaio de compressão realizado no Laboratório de Materiais de Construção do IFTO, Campus Palmas, foi seguido por análise estatística, incluindo o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e a ANOVA, para garantir a precisão dos resultados. Os resultados permitiram avaliar a conformidade do adobe com as normas vigentes, além de fornecer dados sobre sua resistência mecânica e características físicas, fundamentais para a conservação de edificações históricas. Conclui-se que o adobe é um material essencial para a preservação do patrimônio cultural de Natividade, e os resultados obtidos podem contribuir para a elaboração de estratégias de conservação e manutenção adequadas, garantindo a preservação do patrimônio histórico.

Palavras-chave: Patrimônio Histórico. Conservação. Ensaios de Materiais. Edificações em Terra. Caracterização de Materiais.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the physical and mechanical properties of adobe walls in a residential building located in the historic center of Natividade - TO, highlighting its importance for the preservation, conservation and maintenance of the historical heritage. The methodology included the collection of adobe samples, the performance of compression tests and the physical characterization of the material through granulometric, liquidity and plasticity limit analyses, following the technical standards of ABNT (NBR 7181, NBR 6459 and NBR 7180). The compression test performed at the Construction Materials Laboratory of IFTO, Palmas Campus, was followed by statistical analysis, including the Shapiro-Wilk normality test and ANOVA, to ensure the accuracy of the results. The results allowed us to evaluate the compliance of the adobe with the current standards, in addition to providing data on its mechanical resistance and physical characteristics, fundamental for the conservation of historical buildings. It is concluded that adobe is an essential material for the preservation of Natividade's cultural heritage, and the results obtained can contribute to the development of appropriate conservation and maintenance strategies, ensuring the preservation of historical heritage.

Keywords: Historic Heritage. Conservation. Material Testing. Earthen Buildings. Material Characterization.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dos Corpos de Prova	31
Tabela 2 – Resultados do Teste de Shapiro-Wilk.....	45
Tabela 3 – Intervalos de Confiança (95%)	47
Tabela 4 - Correlações.....	48
Tabela 5 – Ensaaios vs Recomendações da NBR 16814	53
Tabela 6 – Limite de Plasticidade.....	57
Tabela 7 – Índice de Plasticidade	58

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Grande Mesquita de Djenne durante a cerimônia anual de renderização.	16
Figura 2 – Casa Pica Noz	17
Figura 3 – Natividade: Conjunto Arquitetônico, Urbanístico e Paisagístico.	18
Figura 4 – Fluxograma do trabalho	27
Figura 5 – Identificação do Local de Estudo.....	28
Figura 6 - Fachada da Residência Estudada	29
Figura 7 – Corpos de Prova Catalogados	30
Figura 8 – Cubo Representativo	32
Figura 9 – Capeamento dos Corpos de Prova	32
Figura 10 – Ensaio de Compressão	33
Figura 11 – Destorroamento em Almofariz de Porcelana	35
Figura 12 – Peneiramento mecânico	36
Figura 13 – Materiais utilizados no ensaio de Casagrande.	37
Figura 14 – Pasta moldada no Aparelho de Casagrande.	37
Figura 15 – Cilindro moldado para ensaio de plasticidade.	38
Figura 16 – Probabilidade Normal – Resistência a Compressão.	45
Figura 17 – Probabilidade Normal - Deformação Específica à Ruptura.....	46
Figura 18 – Probabilidade Normal - Densidade	46
Figura 19 – Boxplots das Propriedades Físicas e Mecânicas Avaliadas.....	48
Figura 20 – Densidade vs Resistência à Compressão.....	49
Figura 21 – Densidade vs Deformação Específica à Ruptura.	50
Figura 22 – Resistência à Compressão vs Deformação Específica à Ruptura.	50
Figura 23 – Curva Granulométrica Média dos Blocos de Adobe	52
Figura 24 – Limite de Liquidez – BLOCO 1	54
Figura 25 – Limite de Liquidez – BLOCO 2	54
Figura 26 – Limite de Liquidez – BLOCO 3	55
Figura 27 – Limite de Liquidez – BLOCO 4	55
Figura 28 – Limite de Liquidez – BLOCO 5.	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 O Adobe na História e na Construção Civil	16
2.2 Adobe em Natividade.....	18
2.3 Propriedades Físicas e Mecânicas do Adobe	21
2.4 Técnicas de Conservação e Manutenção de Edificações Históricas de Adobe.....	23
2.5 Fundamentos Estatísticos Aplicados à Análise de Dados Experimentais.....	24
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
3.1 Metodologia Geral	27
3.2 Coleta de Amostras	28
3.3 Caracterização Mecânica	30
3.3.1 Preparação dos Corpos de Prova	30
3.3.2 Ensaio de Compressão	33
3.4 Caracterização Física.....	34
3.4.1 Densidade Aparente	34
3.4.2 Preparação de Material.....	34
3.4.3 Análise Granulométrica.....	35
3.4.4 Limite de Liquidez	36
3.4.5 Limite de Plasticidade	38
3.5 Análise Estatística	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Caracterização Física e Mecânica	41
4.1.1 Densidade Aparente	41
4.1.2 Resistência Característica (f_{ck})	42
4.1.3 Deformação Específica à Ruptura.....	43
4.2 Análise Estatística	43
4.2.1 Resistência Característica (f_{ck})	44

4.2.2 Verificação da Normalidade dos Dados.....	44
4.2.3 Intervalos de Confiança.....	47
4.2.4 Correlação entre Variáveis.....	48
4.2.5 Considerações finais.....	51
4.3 Parâmetros Físicos do solo	51
4.3.1 Granulometria.....	52
4.3.2 Limite de Liquidez	53
4.3.2 Limite de Plasticidade	57
4.3.2 Índice de Plasticidade.....	57
4.3.3 Conclusão	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A construção com adobe é uma das técnicas mais antigas do mundo, utilizada há milhares de anos (Torgal *et al.*, 2009). O adobe é feito com terra, água e fibras naturais, moldado manualmente e seco ao sol, o que faz dele um material simples, acessível e sustentável (Santos e Bessa, 2020). No Brasil seu uso começou no período colonial, principalmente em regiões com forte influência africana e portuguesa (Barbosa e Ghavami, 2007). Durante muito tempo o adobe foi uma solução prática para construções, porém mais do que isso, ele representava a cultura das comunidades que o utilizavam (Rocha, 2023). Com o passar dos anos e a chegada de materiais industrializados como concreto e tijolos, o adobe foi perdendo espaço, sendo visto por muitos como um material frágil (Rezende, 2019).

Hoje a técnica de construção com adobe volta a ser valorizada, principalmente em iniciativas de preservação do patrimônio histórico (Santos e Bessa, 2020). Isso acontece porque o adobe, além de sustentável, tem características importantes como isolamento térmico e acústico, difíceis de encontrar em materiais mais modernos (Torgal *et al.*, 2009). Esses benefícios tornam o adobe uma alternativa interessante onde há preocupação com a conservação de construções históricas e com o meio ambiente, além de resgatar e proteger saberes tradicionais, que podem se perder com a introdução de tecnologias modernas e incompatíveis com suas características (IPHAN, 2020).

Na cidade de Natividade, no Tocantins, o adobe foi essencial para formar o patrimônio arquitetônico local, conforme descrito no *Manual de Conservação da Arquitetura Nativitana* (IPHAN, 2008). Tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 1987, Natividade possui um centro histórico com construções que usam técnicas tradicionais, como adobe e taipa de pilão, segundo o mesmo autor. Essas construções não apenas representam a história de Natividade, como também refletem o modo de vida e as tradições das pessoas que viveram nessa cidade (IPHAN, 2020). A relevância dessas edificações vai além de seu valor estético ou histórico, são um meio de conexão entre a identidade cultural local e o legado arquitetônico nacional.

Entretando, muitas dessas construções estão em risco. Segundo Paz (2013), a falta de manutenção e o uso de técnicas inadequadas em reformas estão comprometendo a preservação desse importante legado cultural. O autor ainda observa que desafios como o desgaste causado pela umidade, uso de materiais modernos que não são compatíveis com as técnicas e a falta de cuidados regulares acelera a deterioração.

Diante desse cenário, é fundamental utilizar materiais e métodos que respeitem as características do adobe para garantir que ele continue sendo uma parte importante do patrimônio histórico (IPHAN, 2020). Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de paredes de adobe em uma casa localizada no centro histórico de Natividade. Para isso, foram realizados testes no Laboratório de Materiais de Construção do IFTO, Campus Palmas, seguindo normas técnicas da ABNT, como a NBR 7181 (análise granulométrica), NBR 6459 (limite de liquidez) e NBR 7180 (limite de plasticidade), além de ensaios de compressão baseados na NBR 16814. Esses testes ajudam a entender melhor as características do adobe e fornecem informações técnicas que podem ser úteis na preservação de construções históricas. Os dados obtidos no ensaio de compressão foram analisados estatisticamente para garantir resultados precisos e confiáveis.

Embora o foco deste estudo seja o patrimônio histórico de Natividade, espera-se que as informações geradas possam beneficiar outras cidades e centros históricos que enfrentam desafios semelhantes, contribuindo para estratégias mais amplas de conservação e manutenção de edificações históricas em adobe. Assim, o trabalho busca não apenas preservar a história local, mas também contribuir para proteger e valorizar o patrimônio cultural em diferentes contextos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Quais são as propriedades físicas e mecânicas do adobe utilizado em construções residenciais no centro histórico de Natividade - TO, e estudo dessas propriedades.

1.2 JUSTIFICATIVA

Estudar as propriedades físicas e mecânicas do adobe é fundamental para a preservação do patrimônio histórico de Natividade - TO, que possui um centro histórico tombado pelo IPHAN em 1987. A falta de dados técnicos detalhados sobre o material tem dificultado a elaboração de estratégias eficazes de conservação, colocando em risco o legado arquitetônico e cultural da região (Paz, 2013).

Ao identificar e compreender as características do adobe utilizado nessas construções será possível colaborar na melhoria de diretrizes técnicas para a manutenção e restauração dessas edificações, garantindo sua preservação para as gerações futuras. Esse material não é apenas um insumo da construção civil, ele reflete a cultura e a história da cidade, como destaca o IPHAN (2008). No entanto, a falta de conhecimento sobre suas propriedades tem levado à aplicação de técnicas de conservação inadequadas, podendo gerar danos irreversíveis na estrutura (IPHAN, 2020).

Nesse sentido, esse trabalho se justifica pela necessidade de reunir informações técnicas que contribuam com a conservação do patrimônio histórico, que representam parte importante da memória cultural não apenas para Natividade, mas também para outras cidades históricas do Brasil onde esse tipo de arquitetura ainda resiste.

Os resultados obtidos poderão ser aplicados em projetos de conservação e restauração, promovendo práticas mais adequadas às características desse tipo de material, alinhadas a demandas pelo respeito a história e a identidade local. Além disso, podem servir de base científica para pesquisas futuras, especialmente diante de resultados que indicam possíveis variações no comportamento do material, reforçando a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre o comportamento do adobe em diferentes condições.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos de adobe utilizados em uma construção residencial no centro histórico de Natividade - TO, visando fornecer informações técnicas para a conservação de edificações históricas e subsídios para futuros estudos sobre o adobe utilizado na região.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar a coleta e preparação de amostras em uma residência no centro histórico de Natividade - TO, seguindo os procedimentos técnicos adequados.
2. Caracterizar as propriedades físicas do adobe através de ensaios de granulometria, limite de liquidez e plasticidade, conforme as normas ABNT NBR 7181, NBR 6459 e NBR 7180.
3. Avaliar a resistência mecânica do adobe através de testes de compressão, seguindo a norma ABNT NBR 16814, para determinar a resistência mecânica do material.
4. Analisar os dados do ensaio mecânico de forma estatística com o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e a análise de variância (ANOVA), para garantir a precisão dos resultados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Adobe na História e na Construção Civil

A construção com adobe é uma das técnicas mais antigas da humanidade, com registros que apontam seu uso há mais de 9 mil anos, como nas muralhas de Jericó, na Palestina (Santos e Bessa, 2020). Feito a partir da mistura de terra, água e fibras vegetais, como a palha, o material é moldado manualmente em blocos que secam naturalmente ao sol. Ainda segundo o autor, a facilidade de produção e o uso de recursos disponíveis permitiram seu uso em diferentes partes do mundo. Um dos exemplos mais conhecidos é a Grande Mesquita de Djenné, no Mali, que foi construída inteiramente com adobe e é restaurada anualmente pela população local, conforme Figura 1.

Figura 1 – Grande Mesquita de Djenné durante a cerimônia anual de renderização.



Fonte: Cattani (2019).

No Brasil, o adobe chegou com a colonização portuguesa e foi muito usado durante o período colonial, principalmente nas regiões mais secas do país onde se adaptaram bem às condições locais (Santos e Bessa, 2020). Ainda segundo autor, a técnica refletia saberes populares, fortalecidos pela contribuição dos povos africanos escravizados, que influenciaram o modo de construir nas Américas

Com a chegada da Revolução Industrial, a popularização de materiais industrializados como o tijolo cerâmico e o concreto fez com que o adobe fosse gradualmente substituído (Torgal *et al.*, 2009; IPHAN, 2020). Segundo o autor, esses novos materiais eram vistos como

mais modernos e resistentes, enquanto o adobe passou a ser considerado ultrapassado e de qualidade inferior.

Outro aspecto importante é que ele reflete um conhecimento prático sobre materiais e técnicas de construção, passado de geração em geração (Galvão Jr., s.d.), que é fundamental para a conservação de edificações antigas, permitindo intervenções que respeitem suas características originais e prolonguem sua (IPHAN, 2020).

Recentemente, o adobe tem despertado o interesse de arquitetos, pesquisadores e movimentos ligados à construção sustentável, pois sua produção consome pouca energia, gera pouco resíduo e os materiais podem ser reutilizados, o que destaca o adobe como uma solução viável para a construção civil atual (Pereira, 2019), como na Figura 2.

Figura 2 – Casa Pica Noz



Fonte: Ponte, (2013).

Apesar de não ser mais uma das principais técnicas de construção modernas, o adobe continua sendo fundamental para entender e preservar a história arquitetônica e cultural. Seu uso ao longo do tempo demonstra sua versatilidade e importância, tanto no passado quanto no presente. Esse resgate por meio de estudos e iniciativas de conservação é essencial para manter viva a história que o adobe representa.

2.2 Adobe em Natividade

O adobe é um dos principais materiais na arquitetura tradicional de Natividade, cidade localizada no sudeste do Tocantins. Seu centro histórico foi reconhecido como patrimônio nacional em 1987, e é marcado por construções antigas que são testemunhos da cultura da região (IPHAN, 2008). Como aponta o autor, essas edificações são feitas com adobe e taipa de pilão, técnicas que refletem a forma como a população local aprendeu a lidar com os materiais e o clima da região.

Figura 3 – Natividade: Conjunto Arquitetônico, Urbanístico e Paisagístico.



Fonte: Reali, (s.d).

Segundo o *Manual de Conservação da Arquitetura Nativitana* (IPHAN, 2008), os tijolos de adobe são feitos de terra crua, moldados manualmente e deixados para secar ao sol, podendo ter adição de fibras vegetais para tornar o bloco mais resistente. Como destaca o documento, as paredes feitas com essa técnica são autoportantes, não dependem de estruturas de madeira para sustentação, o que torna mais simples e econômico o sistema construtivo. Também é mencionado que o uso do adobe em Natividade foi influenciado pela facilidade de acesso ao barro na região e pelas boas propriedades térmicas e acústicas do material, que ajudam a amenizar o calor típico do Tocantins.

Ainda conforme o manual, o uso de argamassas tradicionais à base de cal, barro e areia tem um papel importante na durabilidade dessas construções (IPHAN, 2008). Como destacado, essas argamassas permitem que as paredes “respirem”, fazendo com que a umidade se dissipe

pelas paredes, evitando infiltrações que comprometem a estrutura. No entanto, Rocha (2023) aponta que reformas realizadas com materiais industrializados, como rebocos de cimento, têm provocado problemas, pois esse material forma uma barreira que impede essa respiração natural da parede, contribuindo para o surgimento de trincas e bolores. O autor chama atenção para esse risco e reforça que a incompatibilidade entre os materiais tradicionais e os modernos pode acelerar a degradação do edifício.

Esse conhecimento sobre o uso adequado dos materiais não foi desenvolvido por acaso. Como observa Paz (2013), os mestres nativitanos costumam aprender e ensinar no próprio canteiro, passando o conhecimento de geração em geração, envolvendo o uso combinado de terra, madeira e pedra, que são abundantes e fazem parte do saber local. Essa prática não apenas garante a continuidade da técnica, mas também reforça o valor cultural associado a essas construções.

Como aponta Pimentel (2019), mesmo sem apoio técnico ou recursos públicos, muitos moradores de Natividade realizam manutenções em suas casas com criatividade e cuidado, respeitando as características originais das edificações. Ainda segundo a autora, as intervenções costumam ser feitas de forma pontual e emergencial, especialmente em coberturas, esquadrias e rebocos, que estão entre os elementos mais vulneráveis ao tempo. De acordo com o estudo, os danos mais recorrentes envolvem infiltrações, destacamento de revestimentos, desgaste da pintura e ataque de insetos xilófagos em elementos de madeira. Além disso, Pimentel destaca que, em muitos casos, os reparos são realizados com os mesmos materiais usados na construção original, como barro e cal, seguindo uma lógica de conservação baseada na prática e na memória. Por fim, conforme a autora, ainda que sem formação específica, os proprietários demonstram sensibilidade estética e consciência do valor histórico dos elementos que compõem suas moradias, priorizando soluções que dialogam com a lógica construtiva original e com a memória coletiva do lugar.

Mais do que uma técnica construtiva, o adobe em Natividade representa também uma prática cultural e social, enraizada na formação histórica da cidade, como visto no manual (IPHAN, 2008). Ainda segundo o documento, foi fundada em 1734 e surgiu como um dos principais núcleos de garimpo de ouro da Capitania de Goiás. Segundo Pimentel (2019), estima-se que cerca de 40 mil escravizados tenham trabalhado nas minas da região. A cidade chegou a ser sede do Governo Provisório da Comarca do Norte, consolidando sua relevância no processo de interiorização do Brasil durante o século XVIII (IPHAN, 2008).

O uso do adobe integra um modo de construir que dialoga diretamente com os processos históricos e com a ecoeficiência, conforme destacam Santos e Bessa (2020). De acordo com os autores, o material além de acessível, possui baixo impacto ambiental e alto desempenho térmico, qualidades que se mostram cada vez mais valorizadas no atual contexto de busca por soluções sustentáveis na construção civil. Ainda segundo os mesmos autores, o problema muitas vezes não está no material em si, mas na forma como ele é socialmente percebido. Nesse sentido, eles defendem que a terra, frequentemente associada ao atraso, precisa ser ressignificada e reconhecida como uma alternativa viável e contemporânea.

Segundo o IPHAN (2008), a arquitetura de Natividade acompanhou as mudanças econômicas da cidade. Ainda conforme o documento, com o declínio da mineração, a pecuária ganhou destaque como principal atividade, o que acabou influenciando a configuração das moradias. Como aponta o texto, surgiram currais, quintais frutíferos e muros, evidenciando um novo momento de prosperidade. Apesar disso, e de acordo com a mesma fonte, o centro urbano manteve seu traçado original, com ruas tortuosas, largos e fachadas simples que continuaram a preservar a memória da ocupação inicial. O centro histórico de Natividade é composto por 255 imóveis tombados, distribuídos entre residências, igrejas, prédios públicos e comerciais, compondo um dos conjuntos urbanos coloniais mais íntegros do país (Pimentel, 2019). Esse patrimônio não se limita às edificações, mas também envolve as manifestações culturais e os saberes locais.

De acordo com Silva (2008), a cultura nativitana está profundamente ligada às práticas de construção, festividades religiosas e saberes tradicionais, como a produção de joias em filigrana, a dança da suça, a catira e a gastronomia típica, todos transmitidos oralmente entre gerações há mais de dois séculos. Ainda conforme o autor, a criação da Associação Comunitária Cultural de Natividade (ASCCUNA), em 1992, por Simone Camêlo Araújo, teve papel decisivo na preservação e valorização desses saberes, ao promover educação patrimonial nas escolas, organizar oficinas e registrar manifestações culturais por meio de fotos e vídeos. Entre as ações de destaque, de acordo com a mesma fonte, estão o incentivo à participação de jovens em grupos culturais, o resgate da produção artesanal de licores e doces, além da fundação da Oficina de Joias Artesanais Mestre Juvenal, que impulsionou a técnica da filigrana e inseriu Natividade na rota turística do Tocantins.

Os desafios para conservar essas construções em adobe são diversos. O *Manual de Conservação* aponta que muitas fundações são feitas de pedra canga, que é porosa e absorve facilmente a umidade, que subindo pelas paredes acaba causando infiltrações que

comprometem a estabilidade do imóvel (IPHAN, 2008). O documento recomenda o uso de argamassas à base de cal nas fundações e a inspeção regular das paredes. Paz (2013) reforça esse ponto ao afirmar que, quando respeitadas, as técnicas originais são capazes de garantir que a vida útil das edificações seja prolongada, mas o uso de materiais inadequados pode trazer mais prejuízos do que soluções.

Em resumo, o adobe em Natividade não é apenas uma técnica construtiva antiga, mas uma expressão da identidade local, da história de resistência e da sabedoria popular. Sua preservação envolve tanto o cuidado com a matéria quanto o respeito aos saberes que lhe deram forma. Misturar esse saber antigo com soluções mais modernas pode, como observa Paz (2013), ajudar tanto na preservação do patrimônio quanto na construção de casas mais simples e acessíveis.

2.3 Propriedades Físicas e Mecânicas do Adobe

As propriedades físicas e mecânicas do adobe, como densidade, resistência à compressão e absorção de água, são fundamentais para saber como esse material vai se comportar nas obras, principalmente quando se trata de conservação de construções antigas (Avrami *et al.*, 2008). De acordo com Pereira (2019), a densidade influencia tanto na resistência do bloco quanto na sua capacidade de isolamento térmico. Blocos mais compactos suportam melhor o peso, mas costumam perder eficiência na troca de calor com o ambiente. Em geral, a densidade do adobe fresco varia entre 1000 e 1500 kg/m³, podendo chegar a 2200 kg/m³ depois da compactação (Minke, 2006).

A resistência à compressão é uma das propriedades mais importantes do adobe, estando diretamente ligada à durabilidade das construções. Para melhorar essa resistência e evitar trincas enquanto o bloco seca é comum a adição de fibras vegetais como palha ou sisal, e o uso de aglomerantes como a cal ou o cimento. Essas práticas ajudam na coesão e na estabilidade dos blocos (Santos e Bessa, 2020; Avrami *et al.*, 2008). Ensaios laboratoriais para avaliação da resistência à compressão podem ser realizados com base em normas como a ABNT NBR 8492:2012, que trata da análise de resistência, absorção de água e massa específica de tijolos maciços de solo-cimento, sendo amplamente utilizada por analogia para blocos de adobe, mesmo não sendo específica para esse material.

Um dos principais desafios do adobe é a absorção de água, especialmente quando o material não recebe nenhum tipo de tratamento. Segundo Avrami *et al.* (2008), a umidade é

uma das maiores causas de degradação das estruturas de terra. O *Manual de Conservação da Arquitetura Nativiana* (IPHAN, 2008) recomenda o uso de revestimentos à base de cal para proteger o adobe, pois esse tipo de acabamento mantém a permeabilidade do material e contribui para sua preservação. Além disso, técnicas modernas como a adição de cimento ou emulsões asfálticas, têm sido utilizadas para reduzir a absorção de água e aumentar a durabilidade (Tiller e Look, 1978; Oliver, 2008). A ABNT NBR 13554:1996, que estabelece requisitos para blocos prensados de terra crua estabilizada, e a mais recente ABNT NBR 16814:2020, que trata especificamente dos blocos de terra comprimida, oferecem parâmetros relevantes para a caracterização técnica do adobe e podem ser utilizadas como base para comparação nos ensaios físicos.

A relação entre densidade, resistência e absorção de água já foi analisada em diversos estudos. Quanto maior a densidade, maior tende a ser a resistência mecânica, mas isso também pode significar uma menor capacidade de absorver água, o que nem sempre é positivo dependendo do clima e do tipo de uso da edificação (Avrami *et al.*, 2008). Diante desse aspecto, pesquisadores e profissionais da área têm buscado soluções para equilibrar essas características. Um exemplo são os aditivos naturais e estabilizantes orgânicos, que ajudam a melhorar as propriedades do adobe sem comprometer sua identidade como material tradicional (Oliver, 2008).

Além das propriedades mencionadas, os solos utilizados na fabricação do adobe devem ser tecnicamente caracterizados quanto ao seu comportamento plástico e granulométrico, o que pode ser feito com base nas normas ABNT NBR 7180:2016 (limite de plasticidade), ABNT NBR 6459:2016 (limite de liquidez) e ABNT NBR 7181:2016 (análise granulométrica). Essas informações são essenciais para compreender o desempenho físico do material e garantir sua estabilidade em obra. Os procedimentos de preparo e moldagem também podem ser guiados pela ABNT NBR 10833:2012, que trata da execução e moldagem de corpos de prova em solo-cimento, servindo como referência para metodologias aplicáveis ao adobe.

Conhecer bem essas propriedades é fundamental para adaptar o adobe às necessidades dos projetos conservação e restauração. A experiência acumulada com esse tipo de construção quando somadas às análises técnicas mostram que o adobe continua sendo uma opção viável e sustentável para a conservação de edificações históricas (Avrami *et al.*, 2008).

2.4 Técnicas de Conservação e Manutenção de Edificações Históricas de Adobe

Cuidar de edificações históricas de adobe é um trabalho que exige atenção aos detalhes e respeito pelas técnicas usadas no passado. Essas construções são feitas com materiais simples e locais, necessitando de métodos de conservação que funcionem bem com o adobe e suas características específicas (Tiller e Look, 1978).

Um dos pontos mais importantes é o uso de materiais naturais, como argamassas de terra e cal. Eles ajudam as paredes a liberar a umidade acumulada, evitando problemas como infiltrações e danos nas superfícies (Tiller e Look, 1978; IPHAN, 2008). Já materiais modernos, como rebocos cimentícios, podem piorar a situação. Por serem mais rígidos e impermeáveis, eles prendem a umidade dentro do adobe e causam rachaduras ou até mesmo o desprendimento de partes da parede (Avrami, 2008).

Outros problemas surgem quando esses materiais rígidos são aplicados sobre superfícies feitas para "respirar". Como o adobe é um material poroso e naturalmente úmido, o uso de revestimentos inadequados gera a retenção de umidade interna, favorecendo o esfarelamento do reboco e o aparecimento de trincas e patologias estruturais (IPHAN, 2020).

Um dos desafios é proteger as paredes da chuva. Telhados com beirais largos são uma solução simples e eficaz para evitar que a água escorra diretamente pelas paredes e cause erosão (IPHAN, 2020). Além disso, manter os sistemas de drenagem e verificar as condições das fundações ajuda a evitar problemas maiores, como infiltrações que podem comprometer toda a estrutura (Paz, 2013). Em Natividade, por exemplo, muitas construções utilizam fundações de pedra canga, que absorvem umidade com facilidade, o que exige cuidados redobrados (IPHAN, 2008).

Entre os danos mais comuns nas construções de adobe estão a erosão superficial, a perda de reboco, a presença de manchas de umidade e, principalmente, as trincas (IPHAN, 2008). Essas rachaduras podem ter diferentes origens: trincas que começam no chão podem indicar falhas nas fundações; trincas que descem do topo da parede podem apontar problemas na cobertura; e rachaduras verticais nos cantos geralmente resultam da combinação de falhas na base e na estrutura superior (IPHAN, 2008; 2020).

Em casos mais graves, as paredes também sofrem com a compressão excessiva, quando não há equilíbrio entre a fundação, o peso da cobertura e o comportamento do adobe (IPHAN, 2008). Como as paredes são autoportantes, ou seja, elas mesmas suportam o peso da edificação, qualquer sobrecarga mal distribuída ou recalque do solo pode causar trincas profundas e até

desabamento parcial. A compressão mal resolvida, somada à umidade retida, acelera a degradação do material (IPHAN, 2008).

Para corrigir esses problemas, é essencial primeiro identificar a origem das patologias, e só posteriormente o reparo pode ser feito de forma definitiva (IPHAN, 2008). Segundo o mesmo documento, as soluções recomendadas incluem o uso de argamassa de cal e areia ou de solo-cal nos rebocos, evitando sempre o uso de cimento. Ainda é destacado que, para paredes de adobe ou taipa, o traço indicado é de uma parte de cal para três partes de areia nos pés das paredes e uma parte de cal para quatro partes de areia nas demais áreas. No caso de trincas, podem ser usados embrechamentos, técnica que consiste no preenchimento das falhas com pedaços de alvenaria, como fragmentos de adobe, fixados com argamassa de cal, respeitando sempre o tipo de parede original, de acordo com o mesmo documento.

As técnicas usadas na construção em adobe não são apenas práticas, elas fazem parte da história e da cultura das comunidades que as desenvolveram. Por isso, é importante registrar esse conhecimento e garantir que ele seja transmitido para as próximas gerações. Envolver os moradores locais nas ações de conservação também é uma maneira de valorizar e proteger esse patrimônio (Paz, 2013).

A manutenção preventiva faz toda a diferença para conservação, como limpeza regular, o conserto de pequenos danos e o uso de materiais que combinem com os originais, mantendo as paredes em bom estado por mais tempo (IPHAN, 2020). Planejar reparos simples, como trocar uma telha ou renovar um revestimento, evita que a situação piore e demande mais mais caras e complicadas (Tiller e Look, 1978).

Preservar construções de adobe vai além de manter paredes e telhados intactos. É sobre cuidar da história e do conhecimento que elas representam, garantindo que continuem fazendo parte da nossa identidade cultural.

2.5 Fundamentos Estatísticos Aplicados à Análise de Dados Experimentais

A estatística desempenha um papel central na análise de dados experimentais, especialmente em estudos que envolvem materiais de construção civil, onde os resultados estão sujeitos à variabilidade natural de amostras e processos (Bussab e Morettin, 2017). Segundo os mesmos autores, os dados obtidos por meio de ensaios precisam ser tratados com rigor metodológico, e a estatística fornece ferramentas para organizar, interpretar e validar essas informações de forma objetiva.

Ainda no mesmo estudo, a análise estatística começa pela estatística descritiva, que permite representar os dados por meio de medidas de tendência central, como média e mediana, e de medidas de dispersão, como variância e desvio padrão (Bussab e Morettin, 2017). Essas medidas ajudam a resumir o comportamento geral dos resultados e a avaliar a homogeneidade das amostras. De acordo com os mesmos autores, a representação gráfica dos dados, por meio de histogramas e diagramas de caixa, facilita a identificação de distribuições assimétricas e de valores atípicos.

A presença de valores extremos nos conjuntos de dados experimentais é uma preocupação comum e pode distorcer medidas tradicionais como a média e o desvio padrão, afetando diretamente a confiabilidade das conclusões (Lopes et al., 2013). Conforme os mesmos autores, nesses casos é possível aplicar técnicas de estatística robusta, utilizando medidas menos sensíveis a outliers, como a mediana e a amplitude interquartílica normalizada.

A verificação da normalidade dos dados é um passo essencial para que se possa aplicar com segurança os testes estatísticos inferenciais, que dependem dessa condição para fornecer estimativas confiáveis (Bussab e Morettin, 2017). Lopes et al. (2013) explicam que os testes mais utilizados para essa verificação são o Kolmogorov-Smirnov e o Shapiro-Wilk, sendo este último o mais indicado para amostras pequenas, segundo o mesmo estudo.

Uma vez confirmada a normalidade, a estatística inferencial permite fazer generalizações a partir de uma amostra, estimando parâmetros da população com base em níveis de confiança predeterminados (Bussab e Morettin, 2017). Ainda no mesmo documento, destaca-se que isso é especialmente relevante em contextos em que não é viável testar todos os elementos da população, exigindo-se a representatividade dos resultados obtidos em laboratório. A confiabilidade dessas estimativas pode ser reforçada pelo cálculo de intervalos de confiança e pela avaliação da dispersão dos dados por medidas como o coeficiente de variação, segundo o mesmo autor.

Outro recurso importante da estatística inferencial é a análise de variância (ANOVA), que permite verificar se as médias de diferentes grupos são estatisticamente distintas entre si (Bussab e Morettin, 2017). A técnica se baseia na comparação entre a variabilidade dentro de cada grupo e a variabilidade entre os grupos, por meio da razão F, sendo útil quando se deseja avaliar a influência de diferentes fatores sobre uma variável experimental, conforme destaca o mesmo estudo. Além disso, o coeficiente de determinação R^2 pode ser utilizado para indicar a proporção da variabilidade total dos dados que é explicada pela variação entre os grupos, segundo o mesmo autor.

Por fim, os autores ressaltam que a aplicação adequada das ferramentas estatísticas não depende apenas do domínio técnico das fórmulas, mas principalmente da compreensão do contexto do estudo, das características dos dados e dos objetivos da análise (Bussab e Morettin, 2017). Assim, a estatística não é apenas um recurso matemático, mas um meio de garantir que as conclusões de estudos experimentais sejam confiáveis, coerentes e cientificamente embasadas (Bussab e Morettin, 2017; Lopes et al., 2013).

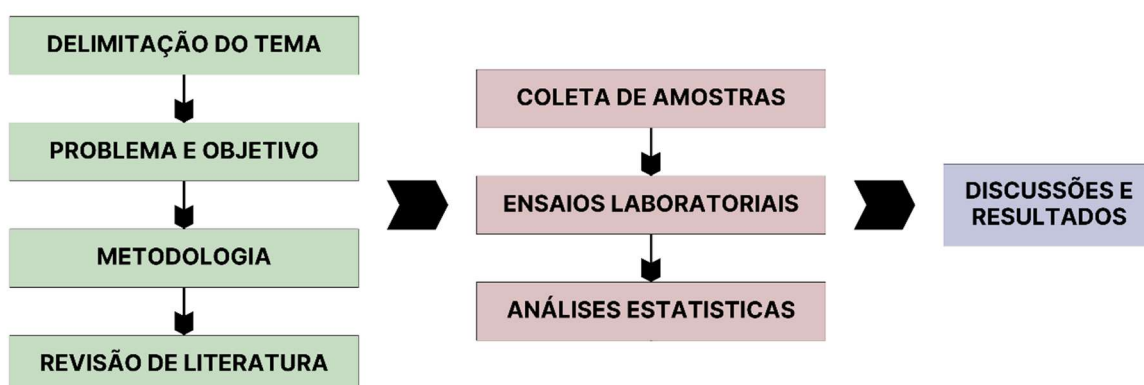
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Metodologia Geral

Este trabalho foi realizado com base em ensaios laboratoriais, seguindo as orientações das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O objetivo foi entender melhor as características do material e avaliar sua resistência mecânica. A pesquisa foi organizada em três etapas principais: levantamento teórico, realização dos experimentos e análise dos resultados.

Para facilitar a compreensão do processo, foi elaborado um fluxograma (Figura 4) que mostra o caminho percorrido desde a coleta das amostras até o momento de discutir os dados obtidos.

Figura 4 – Fluxograma do trabalho



Fonte: Autoria Própria (2025).

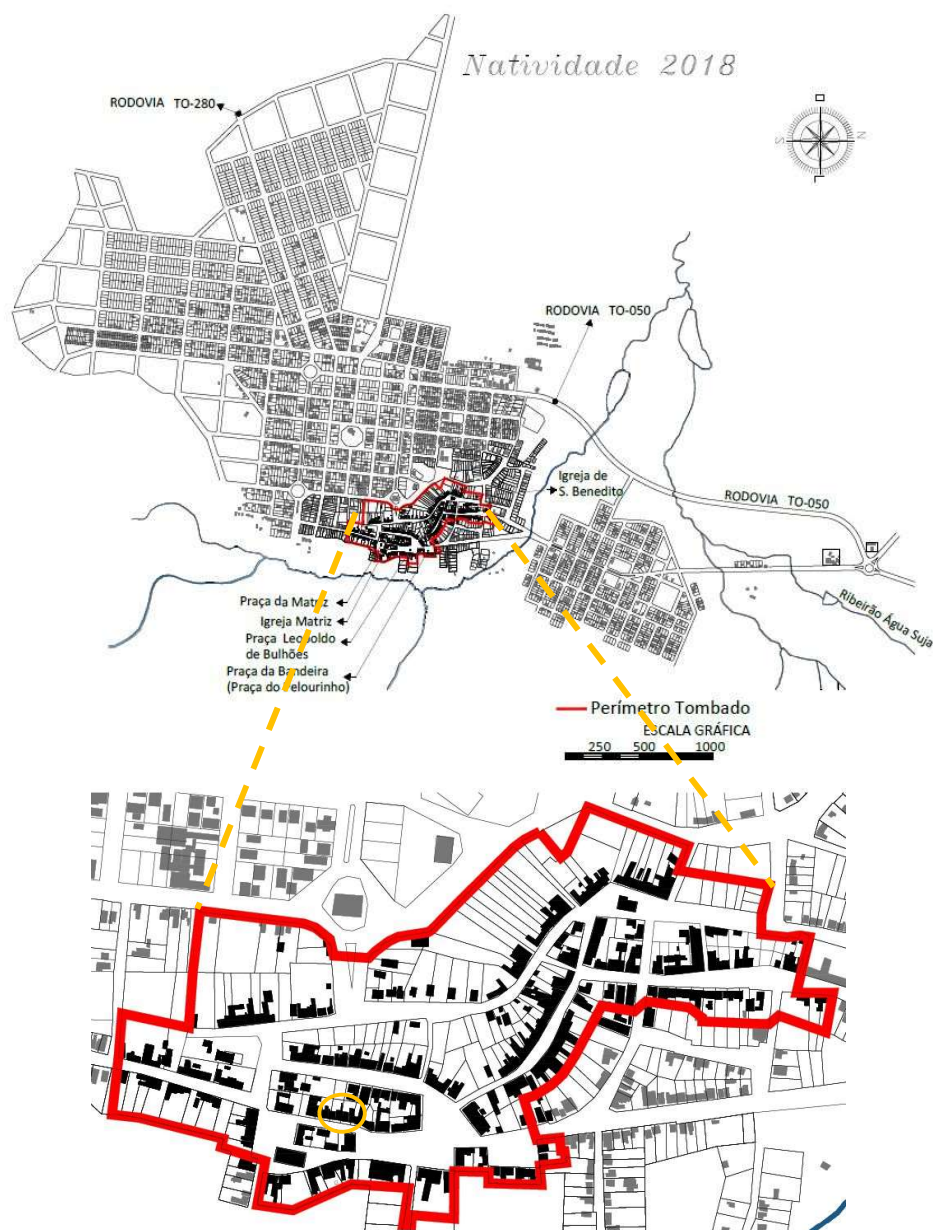
Os ensaios foram realizados conforme as seguintes normas técnicas:

- **NBR 16814:2020** (Adobe para alvenaria – Requisitos): Preparação dos corpos de prova e ensaios de resistência à compressão.
- **NBR 7181:2016** (Solo – Análise granulométrica): Determinação da distribuição das partículas do solo.
- **NBR 6459:2016** (Solo – Determinação do limite de liquidez): Avaliação do teor de umidade que define a transição do estado líquido para o plástico.
- **NBR 7180:2016** (Solo – Determinação do limite de plasticidade): Avaliação do teor de umidade que define a transição do estado plástico para o semissólido.

3.2 Coleta de Amostras

A residência analisada fica no centro histórico de Natividade (Figura 5), uma cidade famosa pelo rico patrimônio arquitetônico e cultural. O imóvel (Figura 6) é um exemplo clássico das construções tradicionais da região, feitas principalmente com adobe. A escolha desse local para a coleta das amostras foi pensada para representar, da melhor forma possível, as condições reais do material usado nas construções históricas da cidade.

Figura 5 – Identificação do Local de Estudo



Fonte: IPHAN, adaptado por Lopes (2019).

Figura 6 - Fachada da Residência Estudada



Fonte: Autoria Própria (2024).

Foram retirados cinco blocos de adobe de diferentes pontos da casa, levando em conta fatores como umidade, exposição ao sol e ao vento. Essa estratégia permitiu uma visão mais completa sobre as características do material. A coleta foi feita com base no Decreto-Lei nº 25/1937 e na Portaria IPHAN nº 420/2010, que orienta os procedimentos técnicos de conservação e intervenção em bens tombados, garantindo que o processo respeitasse a estrutura original da residência.

Por ser uma construção protegida, todos os cuidados foram tomados para evitar qualquer dano. A remoção das amostras só foi possível porque o imóvel já estava passando por uma reforma autorizada, o que facilitou o trabalho sem comprometer sua integridade. Além disso, todas as ações foram guiadas pelo princípio da intervenção mínima, garantindo que qualquer alteração pudesse ser corrigida, se necessário.

Os blocos coletados foram transportados cuidadosamente até o Laboratório de Materiais de Construção do IFTO, no Campus Palmas, em condições que evitaram vibrações ou impactos que pudessem comprometer os resultados. As amostras foram armazenadas em um local seco e seguro até o momento dos testes.

Essa análise não apenas destaca a importância de preservar o patrimônio histórico de Natividade, mas também valoriza o adobe como um material que carrega a identidade cultural da região. Todo o processo foi realizado com respeito e responsabilidade, demonstrando o compromisso com a história e a memória local.

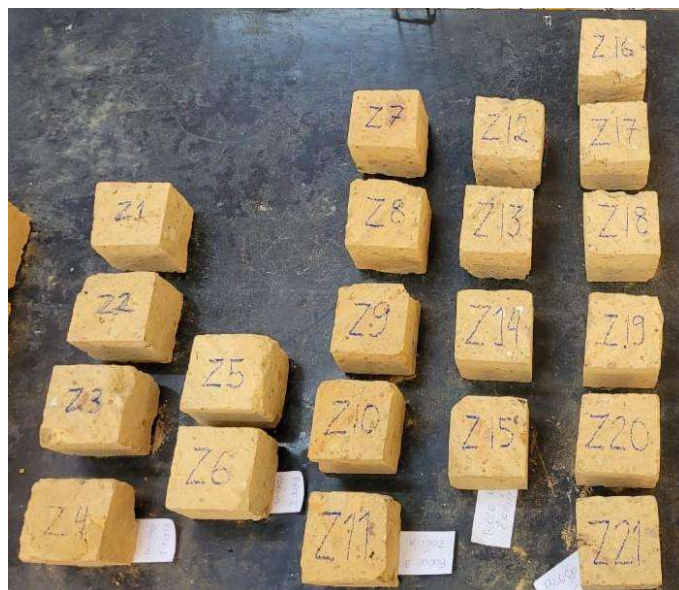
3.3 Caracterização Mecânica

3.3.1 Preparação dos Corpos de Prova

No Laboratório de Materiais de Construção do IFTO, em Palmas, os blocos de adobe coletados em Natividade passaram por uma preparação cuidadosa para os ensaios de resistência mecânica, de acordo com a norma NBR 16814:2020. Cada bloco foi cortado em corpos de prova com dimensões próximas de 10 cm x 10 cm x 10 cm, garantindo que os resultados fossem comparáveis e compatíveis com os equipamentos disponíveis.

Para assegurar precisão, as amostras foram medidas com paquímetro e pesadas em balança de precisão, sendo catalogadas com identificadores únicos o que ajudou a organizar e rastrear os dados durante todas as etapas do estudo (Figura 7).

Figura 7 – Corpos de Prova Catalogados



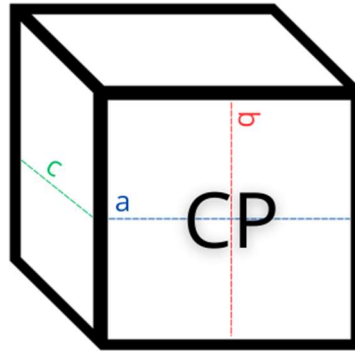
Fonte: Autoria Própria (2024).

Os dados coletados estão organizados na Tabela 1, com as seguintes identificações: BLOCO 1 (Z1 - Z4), BLOCO 2 (Z5 - Z6), BLOCO 3 (Z7 - Z11), BLOCO 4 (Z12 - Z15) e BLOCO 5 (Z16 - Z21). A Figura 7 apresenta detalhes das marcações realizadas em cada amostra.

Tabela 1 – Dados dos Corpos de Prova

CORPO DE PROVA (CP)	DIMENSÕES			MASSA (g)
	a (mm)	b (mm)	c (mm)	
Z1	94,10	93,80	95,01	1444,1
Z2	96,42	94,06	97,36	1481,5
Z3	95,66	98,34	99,03	1517,2
Z4	97,11	93,65	97,93	1402,5
Z5	99,57	98,59	93,33	1543,9
Z6	97,69	97,59	99,26	1599,5
Z7	95,10	94,85	95,84	1522,3
Z8	99,63	98,34	98,12	1630,3
Z9	93,00	96,77	96,73	1554,6
Z10	94,08	98,25	97,83	1622,2
Z11	98,22	99,22	99,37	1616,7
Z12	96,83	96,12	98,28	1524,0
Z13	94,45	98,98	98,07	1479,0
Z14	97,78	96,66	97,17	1532,9
Z15	94,70	98,91	98,26	1492,0
Z16	97,63	98,24	97,26	1541,6
Z17	97,37	97,97	94,37	1517,6
Z18	99,46	96,93	98,00	1588,0
Z19	98,55	102,30	97,26	1635,5
Z20	101,13	97,85	95,83	1585,3
Z21	96,81	99,10	97,71	1495,0

Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 8 – Cubo Representativo

Fonte: Autoria Própria (2024).

Para preparar as superfícies dos corpos de prova, foi feito o capeamento com uma camada fina de argamassa de cimento (proporção 1:2), aplicada manualmente com espátula e respeitando uma espessura máxima de 3 mm. Um vidro liso foi pressionado levemente para nivelar a argamassa ainda fresca, trazendo uniformidade nas superfícies para uma distribuição uniforme da carga no ensaio de compressão (Figura 9). Após o capeamento, os corpos de prova foram deixados para secar em ambiente controlado, garantindo que a argamassa atingisse a resistência ideal antes dos testes.

Figura 9 – Capeamento dos Corpos de Prova

Fonte: Autoria Própria (2024).

3.3.2 Ensaio de Compressão

Os ensaios de compressão foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do IFTO, utilizando a máquina universal de ensaios EMIC DL10000. Essa máquina possui um sistema computadorizado de alta precisão que aplica cargas progressivas e registra automaticamente os dados de força e deslocamento. Antes dos testes o equipamento foi calibrado para garantir resultados confiáveis, conforme exigido pelas normas técnicas.

Cada corpo de prova foi posicionado no centro do prato inferior da máquina, de forma a assegurar que a carga fosse aplicada de maneira uniforme sobre as superfícies (Figura 10). O equipamento aplicou uma carga axial crescente até o ponto em que o material se rompesse, seguindo os critérios da norma NBR 16814:2020. Durante o ensaio, a máquina registrou informações como força aplicada (em Newtons) e deslocamento (em milímetros), gerando uma curva de carga vs deslocamento para cada corpo de prova.

Figura 10 – Ensaio de Compressão



Fonte: Autoria Própria (2024).

Um diferencial importante da máquina EMIC DL10000 é seu sistema automatizado de armazenamento de dados. As informações coletadas foram salvas diretamente em planilhas digitais, eliminando a necessidade de anotações manuais e reduzindo o risco de erros. Essas

planilhas incluem variáveis como força de ruptura, deslocamento e tempo de ensaio, além de gráficos que permitem analisar o desempenho do material de forma clara e objetiva.

3.4 Caracterização Física

3.4.1 Densidade Aparente

A densidade aparente foi calculada a partir das dimensões e massas dos corpos de prova. Para isso, as amostras foram medidas com paquímetro em altura, largura e profundidade e, em seguida, pesadas em uma balança de precisão.

O volume de cada corpo de prova foi calculado pela fórmula:

$$V = a \times b \times c$$

Sendo a , b e c as dimensões em centímetros.

Com o volume e a massa (m), foi determinada a densidade aparente (ρ) pela fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

As dimensões e massas utilizadas para esses cálculos estão organizadas na Tabela 1, apresentada anteriormente neste capítulo.

3.4.2 Preparação de Material

A preparação das amostras para caracterização do solo começou com uma secagem parcial ao ar livre, aproveitando o sol e o vento. Esse método simples e eficiente ajudou a reduzir a umidade do solo até um nível ideal para o destorroamento, sem comprometer suas propriedades naturais e evitando que ficasse excessivamente seco ou úmido.

Após a secagem, o solo foi cuidadosamente desagregado em um almofariz de porcelana (Figura 11), utilizando uma mão de gral revestida com borracha. Os movimentos leves e circulares garantiram que as partículas não fossem alteradas em tamanho, mantendo o material o mais próximo possível do estado original de forma homogêneo e pronto para as análises próximas análises.

Figura 11 – Destorroamento em Almofariz de Porcelana



Fonte: Autoria Própria (2024).

Para garantir a representatividade da amostra, foi feito o quarteamento com um repartidor de amostras. O material foi dividido em duas partes iguais, descartando uma delas e reservando cerca de 1.200 g da outra para os ensaios. Esse processo eliminou possíveis variações indesejadas.

Do total reservado, 1.000 g foram separadas para os ensaios principais de caracterização, enquanto os 200 g restantes foram guardados como segurança para repetições ou testes adicionais. Esse cuidado garantiu que o material estivesse disponível para qualquer necessidade futura durante o estudo.

3.4.3 Análise Granulométrica

A análise granulométrica teve como objetivo determinar os tamanhos das partículas do solo, seguindo a norma NBR 7181:2016. Esse ensaio é fundamental para classificar o solo e entender características importantes como sua capacidade de reter água, a plasticidade e a coesão, que são essenciais para a produção de adobe.

A amostra de solo foi submetida ao peneiramento com um conjunto de peneiras padrão (Figura 12), com as seguintes aberturas: 4,75 mm, 2,0 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,425 mm, 0,25 mm, 0,15mm e 0,075 mm. O material foi colocado na peneira de maior abertura (4,75 mm) e

agitado mecanicamente, sendo pesado o que foi retido em cada peneira, e a porcentagem de material passante calculada em relação ao peso total da amostra.

Figura 12 – Peneiramento mecânico



Fonte: Autoria Própria (2025).

Os resultados do ensaio granulométrico foram utilizados para analisar a composição do solo quanto às proporções de areia e “argila + silte”, comparando com aos critérios estabelecidos pela NBR 16814:2020 para a produção de adobe, considerando sua influência na coesão, plasticidade e estabilidade estrutural.

3.4.4 Limite de Liquidez

O limite de liquidez define o teor de umidade em que o solo passa do estado plástico para o estado líquido, e é um parâmetro importante na produção de adobe, pois afeta diretamente a trabalhabilidade do material. Para determinar esse limite, foi utilizado o ensaio de Casagrande, conforme a norma NBR 6459:2016.

Para determinar o limite de liquidez, foi realizado o ensaio de Casagrande, que consiste em moldar uma pasta homogênea de solo e água na concha do aparelho de Casagrande (Figura 13 e 14).

Figura 13 – Materiais utilizados no ensaio de Casagrande.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 14 – Pasta moldada no Aparelho de Casagrande.



Fonte: Autoria Própria (2025).

No teste 100 g de solo passante na peneira nº 40 foram pesados com tara diretamente no recipiente de porcelana. A amostra foi umedecida com pequena quantidade de água destilada

até atingir consistência de pasta. A homogeneização foi feita manualmente com espátula, de 15 a 20 minutos, conforme a necessidade de cada amostra.

A pasta foi moldada no aparelho de Casagrande com espessura média de 10 mm, conforme a NBR 6459, e uma ranhura foi criada no centro da amostra com o cinzel padrão (Figura 13). O aparelho foi calibrado e operado manualmente, aplicando os golpes de queda livre até que as bordas da ranhura unissem em aproximadamente 13 mm. Nesse momento é coletado uma porção da pasta dessa região, colocada em cápsula já pesada e identificada, e encaminhada para a estufa.

Após cada tentativa, o restante da pasta foi devolvido ao recipiente e adicionado aproximadamente 3 a 5 gotas de água, homogeneizando por mais 3 minutos. O processo foi repetido até obter cinco resultados de número de golpes dentro da faixa de 15 a 35, conforme estabelece a norma. O teor de umidade correspondente a 25 golpes, analisado graficamente, foi adotado como valor do limite de liquidez.

3.4.5 Limite de Plasticidade

O limite de plasticidade foi determinado pela moldagem manual de cilindros de solo com cerca de 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento (Figura 15), sobre uma placa de vidro. O solo foi manipulado até que o cilindro começasse a apresentar fissuras significativas ou se rompesse, indicando o ponto de plasticidade do material.

Figura 15 – Cilindro moldado para ensaio de plasticidade.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Para cada um dos cinco blocos foi utilizado 100g do solo passante na peneira de nº 40, que foi umedecido com água destilada até alcançar uma consistência adequada para moldagem. Quando o cilindro se rompia, a amostra era dividida em três partes e colocada em cápsulas (pesadas e identificadas), para posterior secagem em estufa.

O procedimento foi repetido cinco vezes para cada amostra e o limite de plasticidade foi determinado pela média dos teores de umidade resultante. Esse método é baseado na observação visual do comportamento do solo enquanto ele é manipulado e a quantidade de água necessária para que o solo atinja o estado de fissuração é registrada.

O limite de plasticidade (LP) é calculado com base na razão entre a massa da água e a massa do solo seco, conforme a equação:

$$LP = \left(\frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{solo seco}}} \right) \times 100$$

Em que $m_{\text{água}}$ é a diferença entre o peso do solo úmido e do solo seco (descontado o peso da cápsula), e $m_{\text{solo seco}}$ é a massa do solo após a secagem.

A NBR 7180:2016 especifica que o índice de plasticidade (IP) é calculado pela diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). Esse índice indica a faixa de umidade em que o solo mantém suas propriedades plásticas, sendo um importante parâmetro para avaliar a qualidade do solo na produção de materiais como o adobe.

3.5 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada para compreender o comportamento geral das amostras e identificar padrões nos resultados obtidos. Foram calculadas a média aritmética, mediana, desvio padrão e o coeficiente de variação (CV), conforme recomendado por Montgomery e Runger (2012), permitindo avaliar como os dados estavam distribuídos e o grau de homogeneidade entre os corpos de prova. Já para verificar se os dados seguiam uma distribuição normal, aplicamos o teste de Shapiro-Wilk, adequado para conjuntos pequenos de amostras, com o nível de significância adotado foi de 5%.

Com a confirmação da normalidade, calculamos intervalos de confiança de 95% para as médias, utilizando métodos de estatística inferencial, permitindo estimar os valores médios com maior segurança. A resistência característica à compressão foi terminada com base na média das resistências individuais e no desvio padrão, conforme estabelece a NBR 16814:2020.

Por último, analisamos possíveis relações entre as propriedades físicas e mecânicas das amostras usando a correlação de Pearson, recomendado para variáveis contínuas que seguem distribuição normal, como descrito por Triola (2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Física e Mecânica

Esta seção apresenta os resultados da caracterização dos blocos de adobe coletados no imóvel localizado na poligonal de tombamento do município de Natividade-TO. As propriedades analisadas incluem densidade aparente (g/cm^3), resistência à compressão uniaxial (f_{ca} , em MPa), deformação específica à ruptura (%), além de parâmetros físicos do solo, como granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade.

Os corpos de prova foram extraídos de blocos irregulares e cortados manualmente, apresentando dimensões médias próximas de $95 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$, com massas variando entre 1402,5 g e 1635,5 g. Com base nessas medidas foi possível calcular o volume, a área de aplicação da carga e outras propriedades relacionadas.

Os principais resultados médios obtidos foram:

- Densidade aparente: $1,80 \text{ g/cm}^3$
- Resistência à compressão (f_{ca}): 1,13 MPa
- Deformação específica à ruptura: 2,55%

O coeficiente de variação da resistência à compressão foi de aproximadamente 11,4%, indicando que apesar de variações no processo manual de corte dos blocos, houve boa uniformidade entre os corpos de prova.

No entanto, nenhum dos blocos testados atingiu o valor mínimo de 1,5 MPa exigido pela NBR 16814:2020 para o uso de blocos de adobe em alvenaria estrutural. Esse resultado indica que os blocos analisados não são adequados para elementos estruturais que exijam maior resistência. Ainda assim, esses blocos podem ser utilizados onde não demande alto desempenho mecânico, como paredes de vedação ou outros elementos de menor carga estrutural.

4.1.1 Densidade Aparente

Com base nos dados de massa e dimensões dos 21 corpos de prova foi calculada a densidade aparente de cada amostra, variando entre 1402,5 g e 1635,5 g, enquanto os volumes apresentaram pequenas diferenças, resultado das variações naturais do corte manual.

A densidade aparente média calculada foi de $1,80 \text{ g/cm}^3$, esse valor sugere que os blocos possuem uma estrutura interna relativamente densa e homogênea, o que indica boa compactação do material e baixa presença de vazios.

Para blocos de adobe uma densidade nessa faixa é considerada favorável, pois contribui para características importantes como:

- Bom isolamento térmico, pois o material consegue armazenar e liberar, ajudando a manter a temperatura interna mais confortável e equilibrada;
- Maior resistência física, já que blocos mais compactos suportam melhor as cargas e tem menos chances de se desgastar ou quebrar ao longo do tempo, comparado a blocos mais porosos.

A concentração dos valores de densidade entre os corpos de prova indica um controle satisfatório no processo artesanal de fabricação e cura dos, mesmo sem o uso de processos industriais. Esses resultados também estão alinhados com outras pesquisas sobre construções em terra crua.

A análise estatística mais detalhada dos dados de densidade será apresentada na seção 4.3, incluindo a verificação de normalidade, intervalo de confiança e correlações com outras variáveis mecânicas.

4.1.2 Resistência Característica (f_{ca})

A resistência à compressão dos corpos de prova foi determinada seguindo os critérios estabelecidos pela NBR 16814:2020, utilizando uma prensa hidráulica com controle automatizado de carga. Para cada amostra o valor da força máxima aplicada até a ruptura foi registrado e calculado a tensão resistente usando a seguinte expressão:

$$f_{ca} = \frac{F}{A}$$

Onde f_{ca} é a resistência à compressão uniaxial (em MPa), F é a força de ruptura aplicada (em Newtons) e A é a área da seção transversal da amostra (em mm²).

Os valores obtidos variaram entre 0,87 MPa e 1,41 MPa, com uma média de 1,13 MPa. Esses resultados mostram que os blocos analisados não atingiram o valor mínimo de 1,5 MPa exigido pela NBR 16814:2020 para que sejam utilizados em alvenarias estruturais.

O resultado aponta para a necessidade de cuidado no uso desses blocos em projetos de restauração, sendo recomendável evitar sua utilização em elementos estruturais sem o devido reforço. Em contrapartida, eles podem ser uma alternativa viável para funções secundárias, como vedação, preenchimento ou para compor alvenarias mistas que não exijam resistência estrutural direta.

4.1.3 Deformação Específica à Ruptura

A deformação específica à ruptura mede o quanto o bloco de adobe consegue se deformar antes de atingir o ponto de ruptura, indicando sua capacidade de suportar deformações sem colapsar. Esse parâmetro foi calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

Onde ε onde representa a deformação em porcentagem, ΔL é a variação na altura do bloco até a ruptura L_0 e é a altura original do bloco.

Os resultados mostraram valores de deformação que variam bastante, apresentando uma média de 2,55%. O coeficiente de variação de 33% mostra que a deformação pode ser influenciada falhas internas no bloco, como rachaduras ou poros, que são comuns em materiais produzidos manualmente como o adobe.

Isso indica que cada bloco pode responder de maneira diferente na deformação antes de romper, dependendo das características internas. Apesar dessa variação, a média observada está dentro do esperado para blocos de adobe, que costumam ser rígidos mas ainda apresentam uma capacidade limitada de deformação antes de falhar.

Compreender essa deformação é importante para avaliar o desempenho do adobe em construções, especialmente em situações onde o material precisa absorver pequenas deformações sem quebrar imediatamente.

4.2 Análise Estatística

A análise estatística teve como objetivo avaliar a variabilidade dos dados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos e identificar possíveis relações entre as variáveis analisadas. Inicialmente, foram calculados parâmetros descritivos, como média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV), para verificar o grau de homogeneidade das amostras.

Os resultados mostraram que a densidade aparente apresentou pouca variabilidade, com um CV de 4,1%, também revelou consistência, com um CV de 11,4%. Já a deformação específica à ruptura apresentou maior variação, com CV de 33,4%, o que pode ser explicado por descontinuidades internas ou pequenas falhas estruturais nos blocos. A resistência característica à compressão (f_{cak}), calculada segundo os critérios da NBR 16814:2020, foi de 0,92 MPa, ficando abaixo do limite normativo de 1,5 MPa exigido para elementos estruturais.

Para verificar a adequação dos dados aos pressupostos da estatística paramétrica, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk às variáveis densidade, resistência e deformação. Os

resultados indicaram valores de $p > 0,05$, confirmando a normalidade das distribuições e permitindo o uso de métodos inferenciais. Os intervalos de confiança de 95% foram estimados como 1,76 a 1,83 g/cm³ para a densidade, 1,07 a 1,18 MPa para a resistência e 2,19% a 2,91% para a deformação à ruptura, reforçando a confiabilidade dos dados.

Na última etapa, foi analisada a correlação linear entre as variáveis por meio do coeficiente de Pearson. As associações observadas foram fracas e não significativas: densidade e resistência ($r = 0,09$), densidade e deformação ($r = 0,18$), resistência e deformação ($r = -0,43$; $p = 0,051$). Ainda que essas tendências estejam de acordo com o comportamento esperado de materiais de terra crua, os resultados não indicam relações estatisticamente robustas entre as propriedades analisadas.

Esses resultados indicam que apesar de certa uniformidade nas características físicas dos blocos, sua resistência limitada e a ausência de correlações significativas entre as variáveis podem estar relacionadas a fatores adicionais como composição do solo, processo de fabricação e controle de umidade. Estudos futuros devem considerar esses aspectos, especialmente no contexto de intervenções em edificações históricas.

4.2.1 Resistência Característica (f_{cak})

A resistência característica à compressão foi calculada para garantir um nível de confiabilidade estatística, utilizando a fórmula:

$$f_{cak} = f_{cam} - 1,645 \times Sd$$

Onde f_{cam} é a média das resistências individuais e Sd é o desvio padrão.

Com os dados obtidos, chegou-se ao valor de $f_{cak} = 0,092$ MPa. Este resultado confirma que os blocos analisados não atendem ao valor mínimo de 1,5 MPa estabelecido pela NBR 16814:2020 para alvenaria estrutural em adobe.

4.2.2 Verificação da Normalidade dos Dados

Para verificar a normalidade das variáveis densidade aparente, resistência à compressão e deformação específica à ruptura foi aplicado do teste de Shapiro-Wilk, com nível de significância de 5%. Os resultados são mostrados na Tabela 2:

Tabela 2 – Resultados do Teste de Shapiro-Wilk

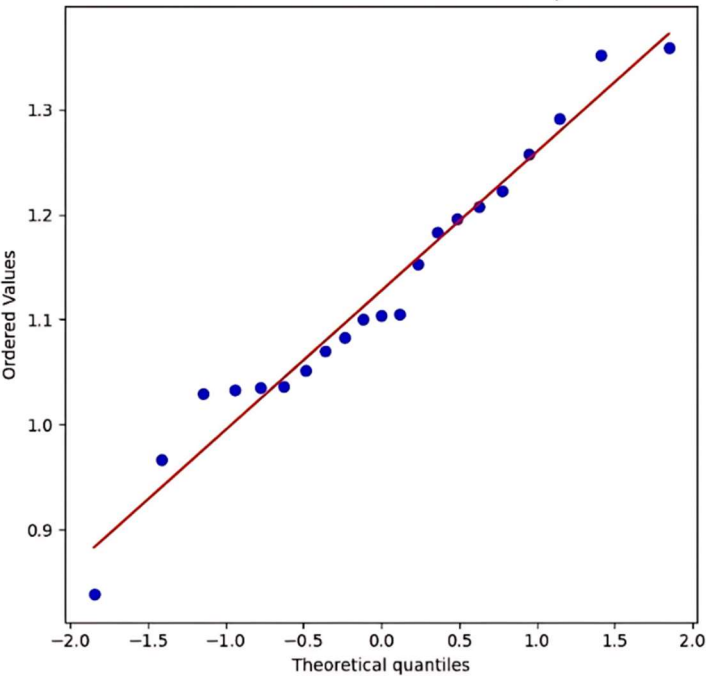
VARIÁVEL	ESTATÍSTICA	VALOR- <i>p</i>	INTERPRETAÇÃO
Densidade (g/cm³)	0,966	0,639	Distribuição normal
Fca (Mpa)	0,969	0,707	Distribuição normal
Deformação específica à ruptura (%)	0,943	0,251	Distribuição normal

Fonte: Autoria Própria (2025).

Como todos os valores- *p* ficaram acima de 0,05, é permitido afirmar que os dados seguem distribuição normal.

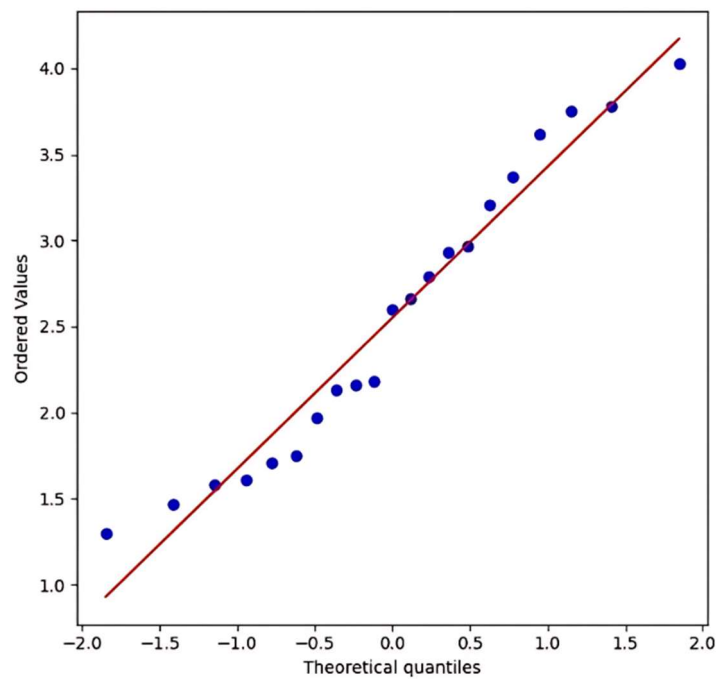
Essa interpretação também foi confirmada pela observação dos gráficos Q-Q plots (Figuras 16 a 18), onde os pontos seguem uma proximidade visual com a linha de referência, sem desvios expressivos. Isso indica que é apropriado empregar métodos estatísticos paramétricos nas análises seguintes.

Figura 16 – Probabilidade Normal – Resistência a Compressão.



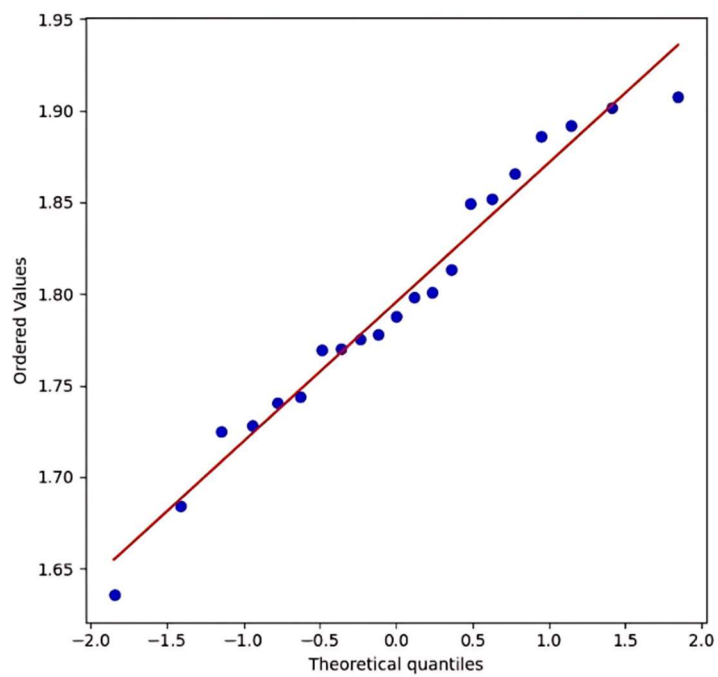
Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 17 – Probabilidade Normal - Deformação Específica à Ruptura



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 18 – Probabilidade Normal - Densidade



Fonte: Autoria Própria (2025).

4.2.3 Intervalos de Confiança

Após confirmar que as variáveis físicas e mecânicas seguem uma distribuição normal, foi possível aplicar métodos estatísticos paramétricos para estimar os intervalos de confiança de 95% para as médias, conforme apresentado na Tabela 3:

Tabela 3 – Intervalos de Confiança (95%)

PROPRIEDADE	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)
Densidade (g/cm ³)	[1,76 ; 1,83]
Fca (Mpa)	[1,07 ; 1,18]
Deformação específica à ruptura (%)	[2,19 ; 2,91]

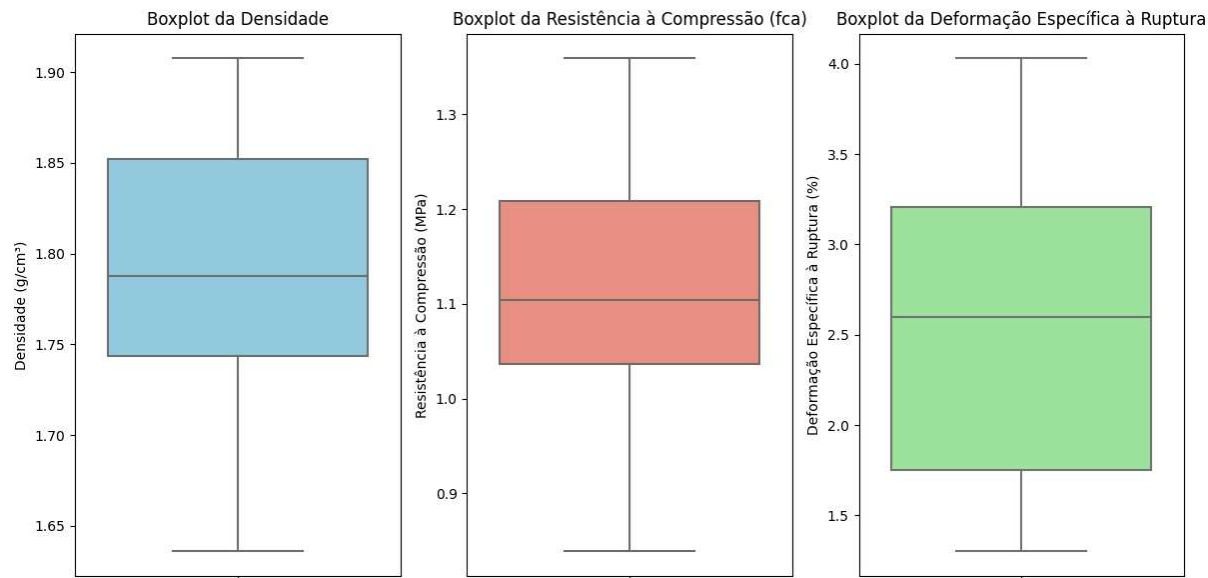
Fonte: Autoria Própria (2025).

Os valores obtidos mostram que há uma variação relativamente pequena entre os blocos analisados, principalmente em relação à densidade em que o coeficiente de variação foi de apenas 4,1%. Isso sugere uma certa uniformidade física entre os corpos de prova, mesmo com o processo manual da fabricação e do corte dos blocos.

A Figura 19 apresenta os boxplots das três propriedades avaliadas e permite observar com mais clareza os padrões de variação:

- A densidade mostra uma distribuição simétrica e concentrada, sem pontos que destoam visivelmente, o que mostra uniformidade entre os blocos.
- A resistência à compressão mostra uma leve variação, com dados próximos da mediana, também sem valores extremos.
- A deformação específica à ruptura apresenta a maior variação. Os dados estão mais espalhados, o que pode indicar que essa propriedade é mais influenciada por diferenças internas entre os blocos, como pequenas fissuras ou variações na compactação.

Figura 19 – Boxplots das Propriedades Físicas e Mecânicas Avaliadas



Fonte: Autoria Própria (2025).

Esses dados ajudam a fortalecer a confiança nos dados obtidos e possibilitam estimar com segurança como os blocos de adobe se comportam quanto às propriedades analisadas.

4.2.4 Correlação entre Variáveis

Com base nos dados normalizados, foi realizada a correlação de Pearson para verificar possíveis relações estatísticas entre as propriedades físicas e mecânicas dos blocos de adobe. A Tabela 4 resume os resultados obtidos:

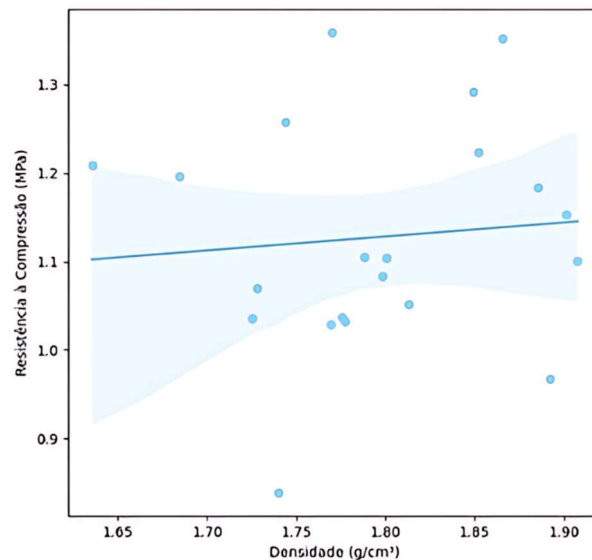
Tabela 4 - Correlações

RELAÇÃO	COEF. DE CORRELAÇÃO	VALOR-P	INTERPRETAÇÃO
Densidade vs fca	+0,09	0,697	Correlação fraca e não significativa
Densidade vs Deformação	+0,18	0,427	Correlação fraca e não significativa
fca vs Deformação	-0,43	0,051	Correlação negativa marginalmente significativa

Fonte: Autoria Própria (2025).

Os gráficos de dispersão com tendência linear ajudam a visualizar essas relações. No caso da densidade em relação à resistência à compressão (Figura 20), os pontos estão bastante espalhados, sem indicar uma tendência clara, o que confirma a correlação fraca entre essas variáveis.

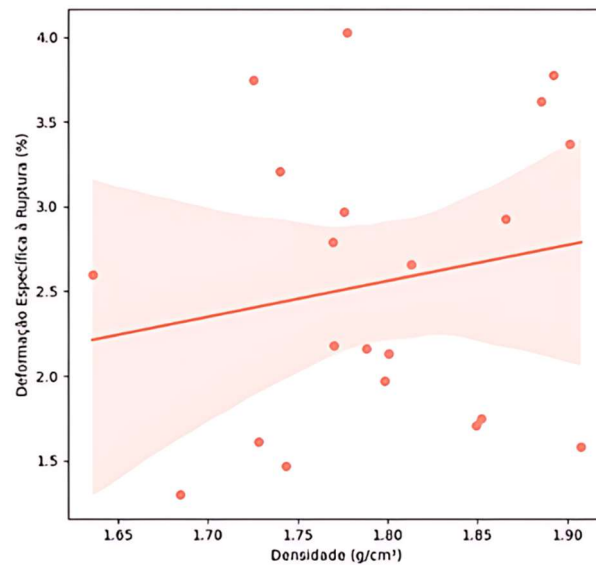
Figura 20 – Densidade vs Resistência à Compressão.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Já entre densidade e deformação específica (Figura 21), é observado uma leve inclinação positiva, mas ainda sem relevância estatística.

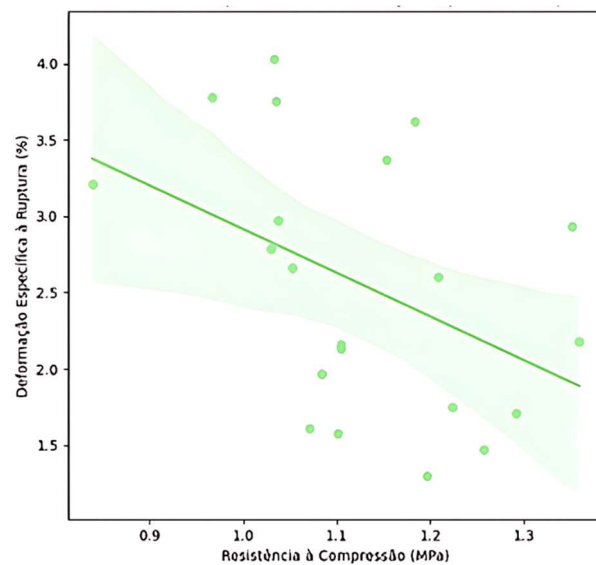
Figura 21 – Densidade vs Deformação Específica à Ruptura.



Fonte: Autoria Própria (2025).

A correlação entre resistência à compressão e deformação à ruptura foi a mais visível entre os pares analisados (Figura 22). A tendência negativa indica que blocos com maior resistência tendem a se deformar menos até a ruptura, o que está de acordo com o comportamento típico de materiais frágeis. Ainda assim, o valor- p (0,051) ficou um pouco acima do limite de 5%, o que não permite confirmar essa relação com segurança estatística.

Figura 22 – Resistência à Compressão vs Deformação Específica à Ruptura.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Apesar dos resultados não apontarem correlações estatisticamente significativas, eles fazem sentido dentro do contexto dos materiais estudados. Isso sugere que outras variáveis, como as características do solo, a umidade durante a moldagem e a natureza artesanal da produção dos blocos, podem estar influenciando mais fortemente as propriedades analisadas.

4.2.5 Considerações finais

Os resultados estatísticos indicaram uma boa uniformidade física entre os blocos analisados, com valores próximos de densidade e uma resistência à compressão relativamente estável, embora abaixo dos limites estabelecidos por norma. A deformação específica à ruptura apresentou maior variação, o que pode estar relacionado a pequenas falhas internas nos blocos.

As variáveis seguiram distribuição normal, o que justificou o uso de testes paramétricos. No entanto, as correlações entre as propriedades avaliadas foram fracas ou não significativas, o que aponta para a possibilidade de que fatores externos, como a composição do solo utilizado ou o controle manual durante a fabricação, tenham maior impacto sobre o comportamento dos blocos de adobe.

4.3 Parâmetros Físicos do solo

A caracterização do solo utilizado na fabricação dos blocos de adobe é uma etapa importante para entender seu comportamento, desde a moldagem até o desempenho final na estrutura. Foram avaliadas a granulometria e os limites de consistência (liquidez, plasticidade e índice de plasticidade), que são parâmetros que afetam diretamente a trabalhabilidade, coesão e estabilidade dos blocos após a secagem.

Os resultados obtidos mostram variações entre as amostras, especialmente em na percentagem de partículas finas e ao comportamento plástico do solo. Essa variabilidade pode estar associada a fatores como a origem geológica do material, heterogeneidade da amostragem ou mesmo à complexidade dos métodos construtivos tradicionais empregados na região.

Embora alguns valores estejam abaixo do que as normas técnicas recomendam para a produção de adobe, é importante observar que a edificação analisada permanece estável há décadas. Esse contraste entre os dados laboratoriais e o desempenho real da construção indica que o conhecimento prático acumulado na comunidade pode ter compensado eventuais limitações do solo. Ajustes manuais na mistura, uso de aditivos naturais ou técnicas locais de secagem e cura podem ter influenciado positivamente o resultado final.

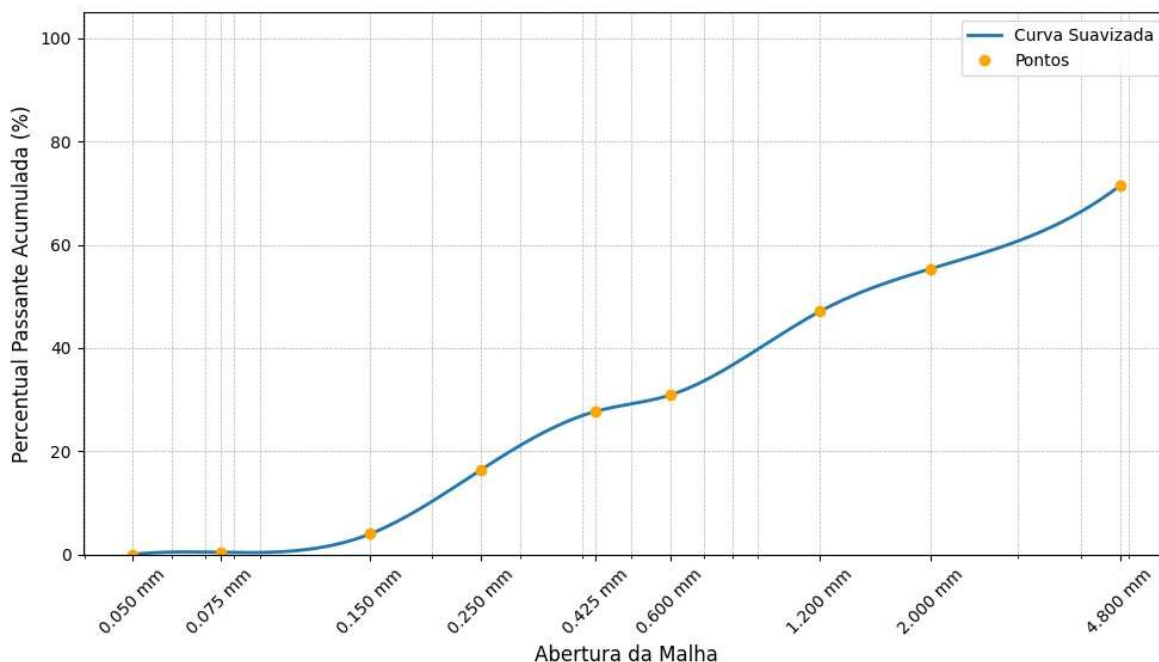
Esses aspectos reforçam a importância de pesquisas futuras que investiguem mais profundamente as características dos solos da região, visando entender melhor sua adequação ao uso em alvenarias de terra crua e contribuir com soluções técnicas que valorizem o saber tradicional aliado à conservação e ao reaproveitamento dessas construções.

4.3.1 Granulometria

O ensaio de granulometria foi feito para entender a composição do solo usado nos blocos de adobe. A análise foi realizada com base na pesagem do material retido em peneiras conforme os critérios da NBR 7181:2016. Os resultados mostraram que o solo é formado principalmente por areia, especialmente nas faixas fina e média. Em algumas amostras a areia passou de 90% do total, já os teores de silte e argila ficaram bem baixos, entre 3% e 4% da amostra seca.

A Figura 23 mostra a curva granulométrica média do solo analisado:

Figura 23 – Curva Granulométrica Média dos Blocos de Adobe



Fonte: Autoria Própria (2025).

Com esses dados, foi possível calcular a média dos materiais presentes no solo. A areia fina e média foi predominante, ultrapassando 90% em algumas amostras, já a parte mais fina, formada por silte e argila, apareceu em pequena quantidade variando entre 3% e 4% da amostra seca.

Isso está fora do que é recomendado pela NBR 16814:2020, que sugere uma composição com 45% a 65% de areia, até 30% de silte e entre 25% e 35% de argila. Os dados estão comparados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ensaios vs Recomendações da NBR 16814

	ENSAIOS (média) (%)	NORMA (mín.) (%)	NORMA (máx.) (%)
Pedregulho	7,7	0	0
Areia Grossa	16,5	10,0	25,0
Areia Média	29,0	15,0	35,0
Areia Fina	45,8	20,0	30,0
Silte + Argila	3,5	35,0	55,0

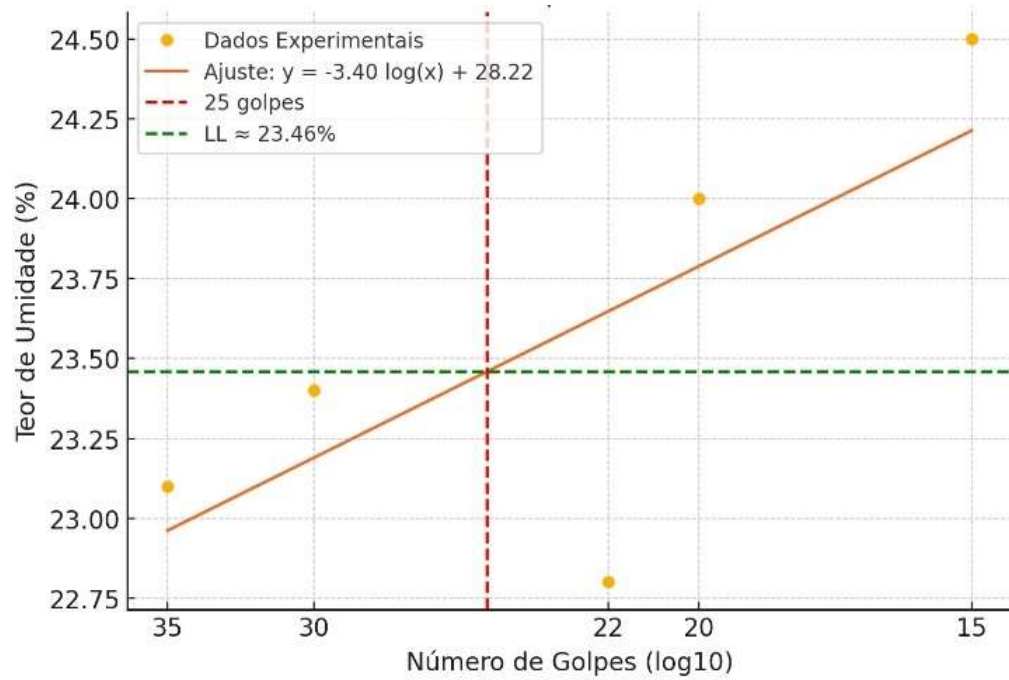
Fonte: Autoria Própria (2025).

A baixa porcentagem de partículas finas, especialmente argila, pode comprometer a integridade dos blocos, já que a argila funciona como aglomerante, ligando os grãos de areia e garantindo a resistência do adobe após a secagem.

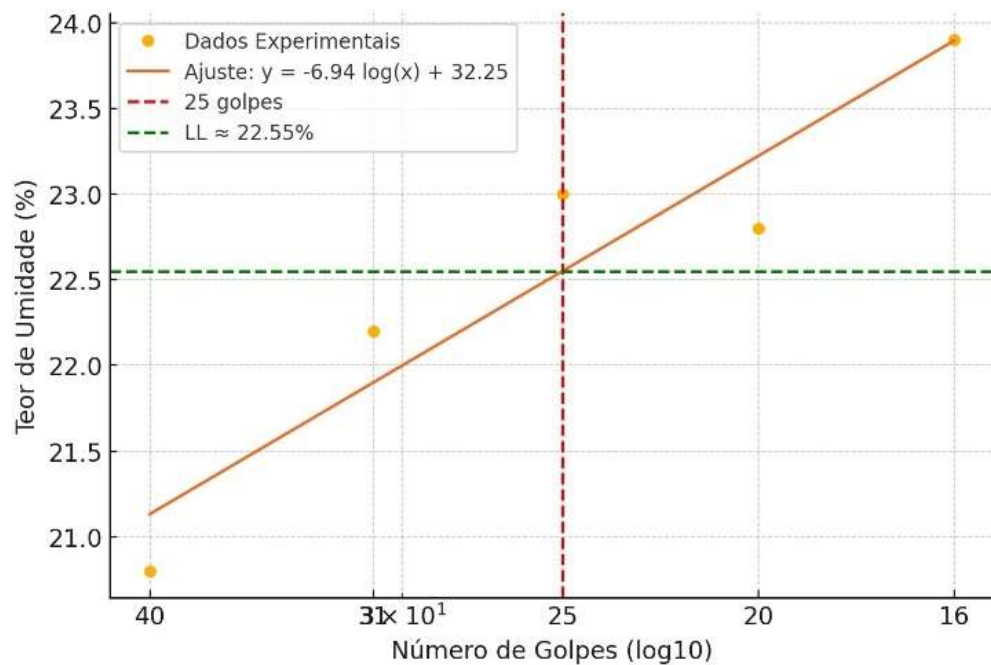
Mesmo com essa composição fora do padrão, os blocos fazem parte de uma casa antiga que ainda está em pé e em boas condições. Isso mostra que na prática o material funcionou bem, mesmo sem seguir os parâmetros da norma. Pode ser que outros fatores tenham ajudado, como a forma de produção tradicional, a presença de aditivos, o tempo de cura ou até as condições do local. Essa diferença entre o que diz a norma e o que foi observado na construção indica que mais estudos precisam ser feitos sobre o solo e os métodos usados na região.

4.3.2 Limite de Liquidez

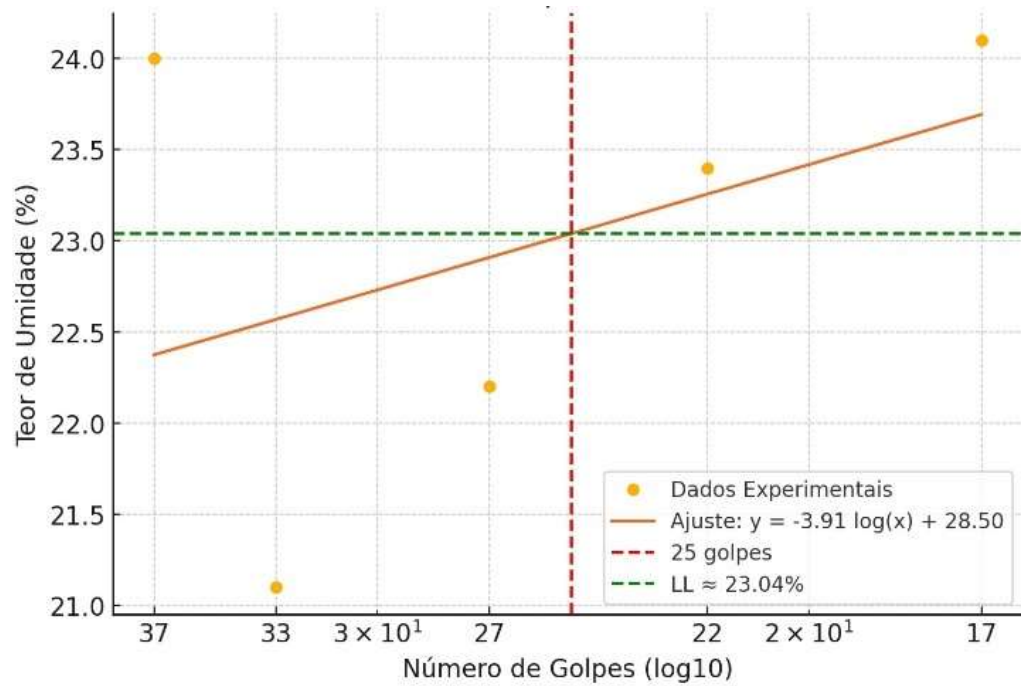
O ensaio do limite de liquidez foi realizado conforme a ABNT NBR 6459:2016, que determina o número de golpes necessários para fechar a ranhura no solo colocado na cápsula. A relação entre o número de golpes e a umidade foi usada para criar os gráficos das Figuras 24 a 28, que mostram os resultados dos cinco blocos analisados.

Figura 24 – Limite de Liquidez – BLOCO 1

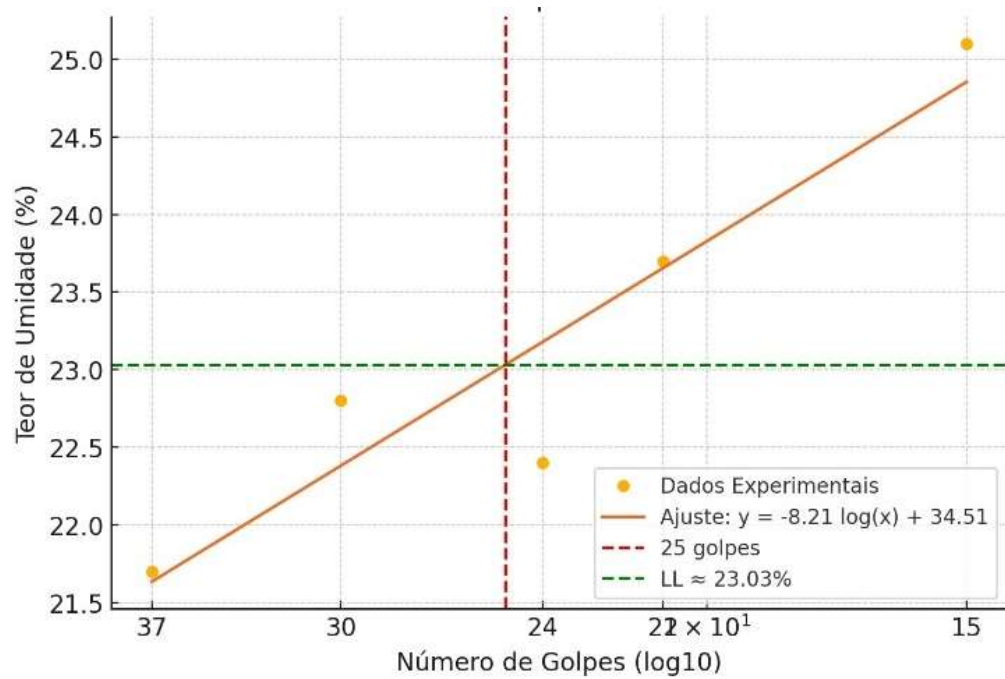
Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 25 – Limite de Liquidez – BLOCO 2

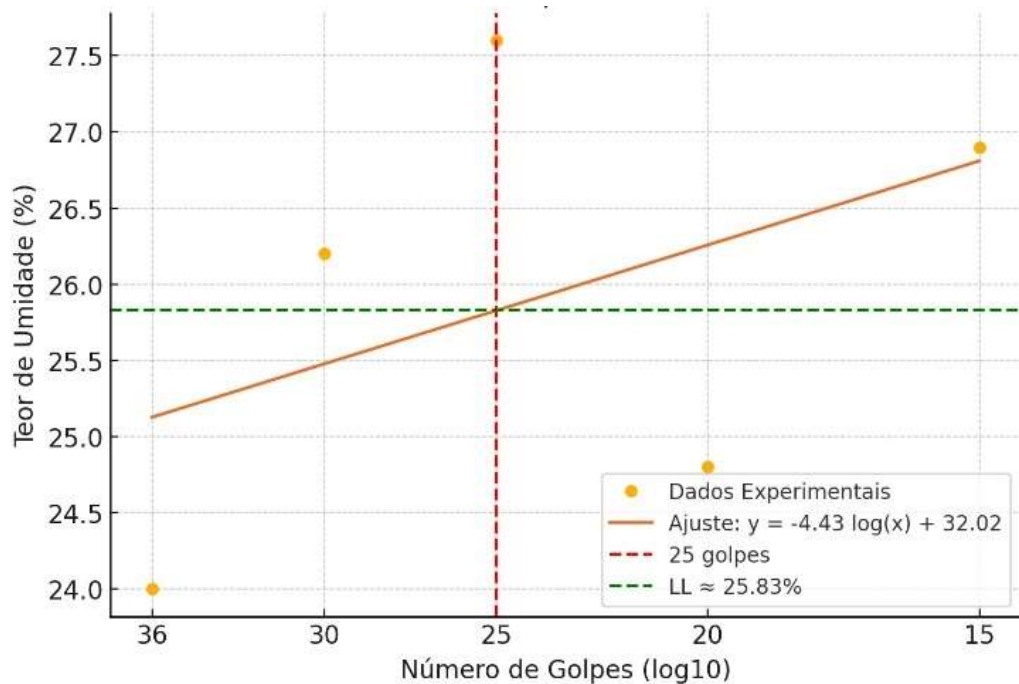
Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 26 – Limite de Liquidez – BLOCO 3

Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 27 – Limite de Liquidez – BLOCO 4

Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 28 – Limite de Liquidez – BLOCO 5.

Fonte: Autoria Própria (2025).

A média dos resultados foi de 23,04%, com variações entre 23,03% a 25,83%, considerada pequena entre as amostras. Esses valores mostram que o solo tem baixa liquidez, o que quer dizer que ele precisa de pouca água para mudar do estado plástico para o líquido. Esse comportamento normalmente aparece em solos com pouca argila.

Esse resultado está de acordo com o que foi observado no ensaio de granulometria, que mostrou uma baixa porcentagem de frações finas (silte e argila). No caso da produção de adobe, esse tipo de solo pode dificultar a moldagem e reduzir a coesão dos blocos, já que a argila é importante para ligar as partículas.

Também é importante lembrar que as amostras foram retiradas de uma construção antiga, onde as paredes ficaram expostas ao clima por muitos anos. Fatores como chuva, sol e variações de temperatura podem ter alterado as características do solo original, inclusive diminuindo a quantidade de materiais mais finos.

4.3.2 Limite de Plasticidade

Os ensaios realizados com vinte e cinco amostras extraídas de cinco blocos distintos revelaram um teor médio de umidade no limite de plasticidade igual a 18,2%, conforme mostrado na Tabela 6. Os valores individuais variaram entre 13,3% e 23,7%, com maior concentração entre 17% e 20%, indicando uma distribuição relativamente uniforme, exceto por uma amostra atípica (L25 com 13,3%), cujo valor mais baixo sugere possível falha na homogeneização ou inconsistência pontual do material.

Tabela 6 – Limite de Plasticidade

BLOCO	TEOR DE UMIDADE MÉDIA (%)
1	21,3
2	18,8
3	18,2
4	17,8
5	18,2
MÉDIA	18,2

Fonte: Autoria Própria (2025).

Segundo a Classificação Unificada de Solos (USCS), solos com LP abaixo de 20% são considerados de baixa plasticidade. Com uma média de 18,2%, o solo analisado se encaixa nessa categoria. Essa baixa plasticidade pode ter contribuído para a resistência mecânica reduzida observada nos blocos, que ficou abaixo do valor recomendado pela NBR 16814:2020.

Esse resultado também confirma os dados do ensaio granulométrico, que apontou baixa quantidade de partículas finas (silte e argila). Isso indica que o solo por si só pode não ser ideal para a fabricação de blocos de adobe. Mesmo assim é possível que a moldagem dos blocos tenha sido facilitada por técnicas locais ou por algum tipo de aditivo, que não foi identificado nos ensaios.

4.3.2 Índice de Plasticidade

O índice de plasticidade médio foi de 4,8%, conforme mostra a Tabela 7. De acordo com a Classificação Unificada de Solos (USCS), valores abaixo de 7% indicam solos com

plasticidade muito baixa. Esse resultado está ligado à pouca quantidade de argila no solo, o que pode dificultar a moldagem e a ligação entre as partículas quando o material ainda está úmido.

Tabela 7 – Índice de Plasticidade

BLOCO	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	23,46	21,3	2,2
2	22,55	18,8	3,8
3	23,04	18,2	4,8
4	23,03	17,8	5,2
5	25,83	18,2	7,6
MÉDIA		4,8	

Fonte: Autoria Própria (2025).

A baixa plasticidade está diretamente relacionada à composição granulométrica observada, que mostraram que o solo é formado principalmente por areia, com pouca presença de silte e argila. Esse tipo de solo tende a gerar blocos mais frágeis, especialmente durante a secagem, e com menor resistência à compressão, a não ser que sejam usadas técnicas específicas ou aditivos para melhorar o desempenho.

4.3.3 Conclusão

Os resultados dos ensaios mostraram que o solo usado nos blocos de adobe tem muita areia e pouca presença de partículas finas, como silte e argila. Além disso, os índices de consistência também foram baixos. De acordo com as normas técnicas esse tipo de solo não é o mais indicado para fabricar adobe, pois não oferece boa plasticidade nem coesão, características importantes para a resistência dos blocos.

Mesmo assim, a casa estudada continua bem conservada, o que chama atenção já que os dados de laboratório indicariam o contrário. Essa diferença pode ser explicada por outros fatores como a escolha do solo com base na experiência, o modo artesanal de produção, o controle da umidade ou outras técnicas locais que não foram medidas nos testes.

Com isso, fica claro que os resultados físicos são importantes, mas não são suficientes para entender completamente o desempenho do adobe em construções reais. É necessário considerar também o conhecimento tradicional e o contexto da construção para valorizar esse tipo de técnica e orientar pesquisas futuras com uma visão mais completa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos de adobe de uma edificação histórica localizada na poligonal de tombamento de Natividade-TO, contribuindo para o conhecimento técnico e preservação desse tipo de construção tradicional. Os ensaios mostraram que os blocos tem resistência à compressão abaixo do mínimo exigido pelas normas para uso estrutural, ao mesmo tempo que a casa estudada continua de pé e em boas condições, mesmo após muitos anos, o que indica que o comportamento do adobe na prática pode ser mais complexo do que os dados de laboratório sugerem.

Essa diferença entre o desempenho medido e o real levanta a possibilidade de que outros fatores também estejam envolvidos na durabilidade da construção, como o conhecimento popular usado na escolha do solo, o modo de preparo, o uso de aditivos naturais e as técnicas de fabricação e secagem dos blocos. Essas práticas desenvolvidas com o tempo parecem ajudar a compensar as limitações do material e garantir a estabilidade da estrutura.

Por isso, é importante que os estudos sobre o adobe levem em conta não só os aspectos técnicos, mas também os fatores culturais e práticos que fazem parte do processo de construção. A integração dessas dimensões ajuda a entender melhor o desempenho do material e a planejar formas de conservação que respeitem a originalidade das construções.

A continuidade da pesquisa pode trazer novas respostas, principalmente se forem feitos ensaios mais detalhados, como o estudo da composição química do solo, testar a resistência do material em diferentes condições de clima e analisar o efeito de possíveis aditivos ou estabilizantes usados regionalmente.

Por fim, reforça-se a importância de preservar as construções em adobe, pois elas são parte do patrimônio histórico e cultural da região e representam soluções que se adaptam bem ao ambiente local. Valorizar essas técnicas e investir em pesquisas são formas de garantir que essas edificações continuem existindo no futuro, com função e significado para as próximas gerações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459:2016 – **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181:2016 – **Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16814:2020 – **Terra crua para a construção – Blocos de terra comprimida – Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2020.

ANDRADE, Mário de. **Proteção e revitalização do patrimônio histórico e artístico nacional**. São Paulo: Ed. UNESP; Brasília: INL, 1990.

AVRAMI, Erica; GUILLAUD, Hubert; HARDY, Mary (Ed.). *Terra literature review: an overview of research in earthen architecture conservation*. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2008.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. **Terra Crua para Edificações. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, v. 2, p. 1505-1557, 2007.

BARAYA, Santiago. **Aplicação em interiores com diversos formatos**. [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. Fotografia. Disponível em:
<https://inbec.com.br/blog/adobe-material-reciclavel-mais-sustentavel>.
Acesso em: 18 jan. 2025.

BUSSAB, Wilton O.; MORETTIN, Pedro A. **Estatística básica**. 9. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2017.

CAMPOS, Alessandro; NASCIMENTO JUNIOR, João Batista do; BRITO, Larissa Tessari. **Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura**. Interações, Campo Grande, v. 20, n. 1, p. 283–296, jan. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/5frdf4yHMR6ptgG4WBmzcRs/?lang=pt>. Acesso em: 20 jan. 2025.

CATTANI, Michele. **Grande Mesquita de Djenne durante a cerimônia anual de renderização**. [S.l.]: [s.n.], 28 abr. 2019. Fotografia. Disponível em: <https://www.monitordo Oriente.com/20210712-descubra-a-grande-mesquita-de-djenne-em-mali/>. Acesso em: 18 jan. 2025.

GALVÃO JR., José Leme. **O adobe e as arquiteturas**. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN, [s.d.]. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/Adobe_e_as_Arquiteturas.PDF. Acesso em: 10 dez. 2024.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Manual de conservação da arquitetura nativitana**. Natividade/TO: IPHAN, 2008.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Conservação preventiva de imóveis antigos em núcleos históricos**. Florianópolis: IPHAN, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/iphan/pt-br/assuntos/noticias/iphan-lanca-material-sobre-a-preservacao-da-cultura-catarinense/conservacao-preventiva-de-imoveis-antigos-em-nucleos-historicos.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2024.

LOPES, M. M.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOARES, J. B. **Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação**. Transportes, v. 21, n. 1, p. 59–66, 2013. DOI: 10.4237/transportes.v21i1.566

LOPES, C. Q. P. **Estudo para conservação das edificações históricas de Natividade – TO**. 2019. 121 f. Dissertação (Mestrado em Preservação do Patrimônio Cultural) – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Rio de Janeiro, 2019.

MINKE, Gernot. ***Building with earth: design and technology of a sustainable architecture***. Basel: Birkhäuser, 2006.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

PAZ, Francisco Phelipe Cunha. **Retalhos de sabença: ofícios, saberes e modos de fazer dos mestres e artífices da construção tradicional em Natividade – Tocantins**. 2013.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2013. Disponível em:

<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Francisco%20Phelipe%20Cunha%20Paz.pdf>.

Acesso em: 15 jan. 2024.

PEREIRA, Luiz Henrique Meneses. **Edificações sustentáveis: construções com tijolo de adobe**. 2019. 34 f. Monografia (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído, ênfase em Sustentabilidade) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PONTE, Maria Manuel Correia Costa da. **Arquitetura de terra: o desenho para a durabilidade das construções**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2012. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/23293>.

Acesso em: 27 jan. 2025.

PULIDO, Ignacio Gomez. **Formação artesanal de blocos de adobe**. [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. Fotografia. In: BARESCH, Herbert. O homem e o arquiteto. Disponível em: <https://inbec.com.br/blog/adobe-material-reciclavel-mais-sustentavel>.

Acesso em: 18 jan. 2025.

REALI, Heitor. **Natividade: conjunto arquitetônico, urbanístico e paisagístico.** [S.l.]: IPatrimônio, [s.d.]. 1 imagem. Disponível em: <https://www.ipatrimonio.org/natividade-conjunto-arquitetonico-urbanistico-e-paisagistico/natividade-imagem-heitor-reali-6/>. Acesso em: 27 jan. 2025.

REZENDE, Marco Antônio Penido. **Apontamentos para uma história da substituição das técnicas construtivas com terra pelo tijolo cerâmico.** Seminário Ibero-americano de Arquitetura e Construção com Terra, 19., 2019, Oaxaca. Memórias [...]. San Salvador, El Salvador: FUNDASAL: Proterra. p. 509-515, 2019.

SANTOS, Daniel Pinheiro; BESSA, Sofia Araújo Lima. **O uso do adobe no Brasil: uma revisão da literatura.** MIX Sustentável, v. 6, n. 1, p. 53–66, mar. 2020. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n1.53-66>. Acesso em: 12 jan. 2025.

SILVA, M. B. A. **A valorização do patrimônio cultural imaterial em Natividade – TO: a atuação da ASCCUNA na preservação dos saberes tradicionais.** 2008. 120 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2008.

TILLER, Teel Patterson; LOOK, David W. **Conservação de edifícios históricos em adobe.** *Preservation Briefs*, n. 5, 1978. Tradução de António de Borja Araújo. Disponível em: <https://5cidade.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/04/conservacao-de-edificios-historicos-em-adobo.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2024.

TORGAL, F. Pacheco; EIRES, Rute M. G.; JALALI, Said. **Construção em terra.** Guimarães: Publidisa, 2009. Edição: TecMinho. ISBN 978-972-8692-40-7. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/28940>. Acesso em: 29 dez. 2024.

TRIOLA, Mario F. **Introdução à estatística**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

ROCHA, Giana Flores da. **O uso do adobe em Pirenópolis/GO: difusão, descontinuidade, manutenção e ressurgência**. 2023. 228 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.