



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
MESTRADO ACADÊMICO

**RESILIÊNCIA AO CLIMA: A RESPONSABILIDADE DOS ELEMENTOS DE  
ENVOLTÓRIA EM CONSTRUÇÕES VERNACULARES DO SEMIÁRIDO**

Discente: Lorena Séfora Silva Nicolau Maia

Orientadora: Profa. Dra. Edna Moura Pinto

NATAL - RN

2025

LORENA SÉFORA SILVA NICOLAU MAIA

RESILIÊNCIA AO CLIMA: A RESPONSABILIDADE DOS ELEMENTOS DE ENVOLTÓRIA EM CONSTRUÇÕES VERNACULARES DO SEMIÁRIDO

Defesa de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, área de Tecnologia e conforto no ambiente construído da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito para o título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profª Dra. Edna Moura Pinto

NATAL - RN

2025

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Dr. Marcelo Bezerra de Melo Tinôco - DARQ - -CT

Maia, Lorena Séfora Silva Nicolau.

Resiliência ao clima: a responsividade dos elementos de  
envoltória em construções vernaculares do semiárido / Lorena  
Séfora Silva Nicolau Maia. - 2025.

142f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande  
do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Arquitetura.  
Natal, RN, 2025.

Orientadora: Profa. Dra. Edna Moura Pinto.

1. Arquitetura vernacular - Dissertação. 2. Resiliência -  
Dissertação. 3. Semiárido - Dissertação. I. Pinto, Edna Moura.  
II. Título.

RN/UF/BSE15

CDU 72.02

Lorena Séfora Silva Nicolau Maia

RESILIÊNCIA AO CLIMA: A RESPONSABILIDADE DOS ELEMENTOS DE ENVOLTÓRIA EM CONSTRUÇÕES VERNACULARES DO SEMIÁRIDO

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Dr.(a) Edna Moura Pinto

Instituição: UFRN- PPGAU

Prof. Dr. Rubenilson Brasao Teixeira

Instituição: UFRN- PPGAU

Prof.(a) Dr.(a) Rafaela Santana Balbi

Instituição: UFERSA

Certificamos que esta é a **versão final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Programa de pós graduação em Arquitetura e Urbanismo.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Profª Dra. Edna Moura Pinto

Orientadora

Natal, 2025.

## AGRADECIMENTOS

A conclusão desta dissertação marca o fim de uma jornada repleta de aprendizado, desafios, crescimento pessoal e acadêmico. Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão a aqueles que tornaram esta realização possível.

Primeiramente, desejo expressar minha sincera gratidão a minha orientadora, Edna Moura, cuja disposição foi essencial para moldar este trabalho. Obrigada por seguir ao meu lado, e a ajudar a formar uma pesquisadora.

À UFRN, expresso minha gratidão por fornecer um ambiente propício para os momentos de escrita. Agradeço também à CAPES pelo financiamento que tornou possível essa pesquisa.

Agradeço ao meu colega de mestrado, acariense e historiador Cícero Araújo, por sua disponibilidade e por me guiar em Acari pelas casas de fazenda. A Maria Xavier, pelas tardes de estudo e escrita no laboratório, e para além disso.

Meus sinceros agradecimentos aos participantes do laboratório de pesquisa, LABCON, cujas discussões enriqueceram este trabalho. Assim como aos professores que, ao longo desta jornada acadêmica, compartilharam seu conhecimento e experiência.

Aos colegas do Grupo de Estudos Transdisciplinares de Comunicação e Cultura- Marginália, também da UFRN. Por oferecer um ambiente acolhedor e de troca de ideias.

Ao meu marido, família e amigos por todo apoio e compreensão nos momentos de ausência. O apoio e incentivo de todos foi constante fonte de motivação, agradeço por estarem ao meu lado durante os momentos alegres e desafiadores.

Por fim, expresso minha sincera gratidão aos proprietários das habitações, cuja generosidade e disposição em abrir as portas do Casarão da Cachoeira, Fazenda Ingá e Fazenda Caiçarinha foram de grande contribuição para essa pesquisa.

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e contribuições de todos vocês. A todos, muito obrigada.

“Se há um futuro a ser cogitado, esse futuro é ancestral, porque já estava aqui”

Ailton Krenak

## RESUMO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas tem impulsionado a busca por soluções resilientes na arquitetura. A presente dissertação investiga a resiliência em três edificações vernaculares, situadas no semiárido do estado do Rio Grande do Norte, tendo como objetivo determinar os aspectos dessas construções que contribuem para superar eventos climáticos severos como a seca. Para tanto, utilizou-se as seguintes metodologias: revisão de literatura e estudo de caso. Assim, foram selecionadas edificações representativas da arquitetura vernacular do semiárido do estado do Rio Grande do Norte, de acordo com critérios de seleção fundamentados a partir das investigações de Feijó (2014), Diniz (2008) e Borges (2015). A análise de resiliência obedeceu a critérios estabelecidos por literatura, e foi dividida em quatro estágios: vulnerabilidade, resistência, robustez e recuperação. Para a vulnerabilidade, foram identificadas as ocorrências de seca desde a construção das edificações e os dados climáticos que contribuem para a análise das demais etapas. A análise da resistência dos materiais e técnicas construtivas considerou a responsividade da edificação e do entorno de acordo com o método proposto por Borges (2015). Assim como a quantidade de carbono estocado nos elementos de madeira, a transmitância térmica, absorvância e porcentagem de abertura da fachada, de acordo com as recomendações da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). A detecção de manifestações patológicas nas edificações vernaculares, como reflexo da robustez, foram realizadas por meio de imagens termográficas, diagramas e a recuperação considerou, a análise da deterioração dos materiais construtivos, uso de materiais locais e manutenção. Os resultados demonstram que as edificações investigadas possuem potencial para enfrentar os efeitos das mudanças climáticas, sobretudo no que diz respeito à desertificação e ao aumento das temperaturas. Esse potencial está relacionado à habilidade dessas construções em se ajustarem às condições climáticas locais, bem como à integração entre o saber tradicional e o conhecimento científico-tecnológico, principalmente no uso de sistemas construtivos e técnicas vernaculares. A resiliência dessas habitações se manifesta por meio de suas soluções arquitetônicas e ambientais adaptadas ao contexto do semiárido.

Palavras-chave: Resiliência, arquitetura vernacular, semiárido.

## ABSTRACT

The growing concern about climate change has driven the search for resilient solutions in architecture, especially in the Brazilian semi-arid region. This dissertation investigates resilience in three vernacular buildings located in the semi-arid region of the state of Rio Grande do Norte, aiming to identify the aspects of these constructions that help them withstand severe climatic events, such as droughts. To achieve this, the following methodologies were employed: literature review and case study. Representative buildings of the vernacular architecture in the semi-arid region of Rio Grande do Norte were selected based on criteria derived from the research of Feijó (2014), Diniz (2008), and Borges (2015). The resilience analysis followed the criteria established in the literature, divided into four stages: vulnerability, resistance, robustness, and recovery. To assess vulnerability, occurrences of drought since the construction of the buildings were identified, along with climatic data that contribute to the analysis of the other stages. The analysis of material resistance and construction techniques considered factors such as the responsiveness of the building and its surroundings, according to the method proposed by Borges (2015), the amount of carbon stored in the timber elements, and thermal transmittance, absorptance, and the window to wall ratio, according to the recommendations of NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). The detection of pathological manifestations in the vernacular buildings, as a reflection of robustness, was carried out using thermographic images and diagrams, while recovery was analyzed through the assessment of material deterioration, use of local materials, and maintenance practices. The results demonstrate that the investigated buildings possess significant potential to withstand the impacts of climate change, particularly with regard to desertification and rising temperatures. This potential is linked to the ability of these structures to adapt to local climatic conditions, as well as to the integration of traditional knowledge with scientific and technological expertise, especially in the use of vernacular construction systems and techniques. The resilience of these dwellings is evident in their architectural and environmental solutions, which are specifically adapted to the semi-arid context.

Key words: Resilience, vernacular architecture, semi-arid.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1- Áreas áridas globais .....	20
Figura 2-2- Delimitação do Semiárido brasileiro .....	21
Figura 3-1- Método de pesquisa .....	51
Figura 3-2- Delimitação do local de estudo .....	52
Figura 3-3- Delimitação de resiliência .....	54
Figura 3-4- Critérios de análise da resiliência .....	54
Figura 3-5- Escala de avaliação de responsividade .....	56
Figura 3-7- Espectrômetro Alta II .....	58
Figura 3-8- Desenho da projeção das ripas e caibros para cálculo de volume das madeiras .....	59
Figura 3-9- Câmera termográfica do modelo Flir C2 .....	61
Figura 3-10- Escala de avaliação de recuperação .....	62
Figura 4-1- Casarão da Cachoeira .....	63
Figura 4-2- Localização do Casarão da Cachoeira .....	64
Figura 4-3- Fazenda Caiçarinha .....	66
Figura 4-4- Localização da Fazenda Caiçarinha .....	66
Figura 4-5- Fazenda Ingá .....	68
Figura 4-6- Localização da Fazenda Ingá .....	68
Figura 4-7- Linha do tempo dos episódios de secas do semiárido brasileiro no século XIX a partir da construção da primeira habitação estudada .....	70
Figura 4-8- Implantação do Casarão da Cachoeira .....	72
Figura 4-9- Planta baixa e arranjo do espaço: Casarão da Cachoeira .....	75
Figura 4-10- Paredes externas com (a) porta e (b) janela .....	76
Figura 4-11- Vista das portas (a) e janelas (b) .....	77
Figura 4-12- Estrutura da cobertura: Casarão da Cachoeira .....	79
Figura 4-13- Resiliência dos materiais construtivos: Casarão da Cachoeira ..	81

Figura 4-14- Implantação da Fazenda Caiçarina .....	86
Figura 4-15- Planta baixa e arranjo do espaço: Fazenda Caiçarina .....	88
Figura 4-16- Croqui das vistas interna e externa das esquadrias da Fazenda Caiçarina.....	90
Figura 4-17- Detalhe de madeira nas esquadrias .....	91
Figura 4-18- Estrutura da cobertura: Fazenda Caiçarina .....	92
Figura 4-19- Carbono estocado nas esquadrias e cobertura da Fazenda Caiçarina.....	93
Figura 4-20- Resiliência dos materiais construtivos: Fazenda Caiçarina.....	94
Figura 4-21- Implantação da Fazenda Ingá .....	99
Figura 4-22- Planta baixa e arranjo do espaço: Fazenda Ingá .....	101
Figura 4-23- Parede externa: Fazenda Ingá .....	102
Figura 4-24- Croqui das vistas interna e externa das esquadrias da Fazenda Ingá.....	103
Figura 4-25- Estrutura da cobertura: Fazenda Ingá .....	104
Figura 4-26- Resiliência dos materiais construtivos: Fazenda Ingá.....	107
Figura 4-27- Análise comparativa de responsividade das três habitações estudadas .....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1- Recomendações da NBR 15.220-3 para a zona bioclimática 7 ..	42
Tabela 2-2- Transmitância térmica de parede e cobertura.....	43
Tabela 2-3- Absortância de superfícies .....	43
Tabela 2-4- Condutividade térmica de materiais de acordo com a NBR 15.220-3.....	44
Tabela 3-1- Densidade básica das espécies de madeira.....	60
Tabela 4-1- Características representativas Casarão da Cachoeira .....	65
Tabela 4-2- Características representativas Fazenda Caiçarina .....	67
Tabela 4-3- Características representativas Fazenda Ingá.....	69
Tabela 4-4- Resumo dos dados climáticos .....	71
Tabela 4-5- Porcentagem de aberturas: casarão da cachoeira.....	78
Tabela 4-6- Carbono estocado nas esquadrias e cobertura do Casarão da cachoeira .....	80
Tabela 4-7- Organização de dados das variáveis climáticas, horário da realização dos termogramas e manifestação patológica: Casarão da Cachoeira.....	82
Tabela 4-8- Porcentagem de aberturas: Fazenda Caiçarina.....	91
Tabela 4-9- Organização de dados das variáveis climáticas, horário da realização dos termogramas e manifestação patológica: Fazenda Caiçarina .....	95
Tabela 4-10- Porcentagem de aberturas: Fazenda Ingá.....	104
Tabela 4-11- Carbono estocado nas esquadrias e cobertura da Fazenda Ingá .....	105
Tabela 4-12- Organização de dados das variáveis climáticas, horário da realização dos termogramas e manifestação patológica: Fazenda Ingá .....	108
Tabela 4-13- Características de resistência das habitações .....	114
Tabela 4-14- Carbono estocado das três habitações.....	115
Tabela 4-15- Recuperação das três habitações.....	116

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1- Madeiras utilizadas na envoltória.....	28
Quadro 2-2- Características de análise de responsividade.....	34
Quadro 2-3- Resiliência: fase pré-crise, crise e pós-crise .....	38
Quadro 2-4- Impacto climático nas edificações.....	45
Quadro 2-5- Patologias de biodeterioração e umidade em fachadas de alvenaria argamassada.....	48
Quadro 3-1- Características das edificações vernaculares para seleção de representatividade .....	53
Quadro 4-1- Responsividade do casarão da cachoeira .....	73
Quadro 4-2- Termogramas do Casarão da Cachoeira .....	83
Quadro 4-3- Materiais construtivos do Casarão da Cachoeira .....	84
Quadro 4-4- Escala de recuperação do Casarão da Cachoeira .....	85
Quadro 4-5- Responsividade Fazenda Caiçarina .....	87
Quadro 4-6- Termogramas da Fazenda Caiçarina.....	96
Quadro 4-7- Materiais construtivos da Fazenda Caiçarina.....	97
Quadro 4-8- Escala de recuperação Fazenda Caiçarina .....	98
Quadro 4-9- Responsividade Fazenda Ingá .....	100
Quadro 4-10- Termogramas da Fazenda Ingá.....	109
Quadro 4-11- Materiais construtivos da Fazenda Ingá.....	111
Quadro 4-12- Escala de recuperação da Fazenda Ingá.....	111
Quadro 4-13- Comparativo da recuperação nas três habitações .....	117

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NBR	Normas Brasileiras
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
U	Transmitância térmica
UIA	Union Internationale des Architectes
UR	Umidade relativa
USGBC	United States Green Building Council
$\alpha$	Absortância térmica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	Objetivo geral	18
1.2	Objetivos específicos	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO</b>	<b>19</b>
2.1	O semiárido brasileiro como reflexo do clima mundial	19
2.2	Arquitetura vernacular e seus desdobramentos no Semiárido	22
2.2.1	Influência do entorno e microclima	23
2.2.2	Características construtivas	23
2.2.3	Componentes e materiais construtivos da envoltória	27
2.3	Responsividade ao clima	32
2.4	Resiliência	36
2.4.1	Vulnerabilidade	39
2.4.2	Resistência	40
2.4.3	Robustez	46
2.4.4	Recuperação	49
<b>3</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>51</b>
3.1	Seleção dos locais de pesquisa e edificações representativas	52
3.2	Procedimentos metodológicos para análise de resiliência das edificações vernaculares	54
3.2.1	Vulnerabilidade	55
3.2.2	Resistência	55
3.2.3	Robustez	60
3.2.4	Recuperação	62
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>63</b>
4.1	Habitações selecionadas para estudo de caso	63
4.1.1	Vulnerabilidade	70
4.2	Casarão da Cachoeira	72

4.2.1	Resistência .....	72
4.2.2	Robustez .....	80
4.2.3	Recuperação .....	84
4.3	Fazenda Caiçarinha .....	85
4.3.1	Resistência .....	85
4.3.2	Robustez .....	93
4.3.3	Recuperação .....	97
4.4	Fazenda Ingá .....	98
4.4.1	Resistência .....	98
4.4.2	Robustez .....	105
4.4.3	Recuperação .....	110
4.5	Análise comparativa das habitações .....	112
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>118</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>122</b>
	<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>128</b>
	<b>APÊNDICE A: Habitações analisadas para as características representativas .....</b>	<b>129</b>
	<b>APÊNDICE B: Ficha de campo.....</b>	<b>130</b>
	<b>APÊNDICE C: Memória de cálculo de transmitância térmica .....</b>	<b>137</b>
	<b>APÊNDICE D: Memória de cálculo do carbono estocado.....</b>	<b>140</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da severidade das mudanças climáticas impacta nas exigências das edificações quanto a sua estrutura e ocupação humana. Episódios de secas na região do semiárido brasileiro têm sido relatados desde o século XVI (Marengo; Cunha; Alves, 2016) e esses eventos têm se tornado cada vez mais frequentes e com maiores impactos. A década de 90 foi a mais quente desde o fim do século XIX, segundo (Marengo e Soares, 2003), somado a esse episódio, a seca que iniciou no ano 2012 teve grande intensidade e impacto no semiárido nordestino, o que foi agravado pela influência do evento El Niño em 2015.

A análise de desempenho das edificações em resposta aos eventos extremos do clima vem cada vez mais sendo considerados em especial os estudos sobre responsividade ao clima (Yang et al., 2022; Osman, Sevinc, 2019) e a resiliência das edificações (Attia *et al.*, 2021; Villa, Oliveira, 2021; Fujita, Takewaki, 2012; Bothara, Ingham, Dizhur, 2022; Takewaki, 2013; Yenidogan, 2021; Krelling et al., 2023), ganha destaque. Por responsividade, se entende a integração entre o edifício e o clima por meio de estratégias passivas, que refletem características simultaneamente climáticas e culturais (Kaihoul et al., 2021; Mascaró, 1983). Já o termo resiliência vem sendo aplicado no contexto da arquitetura para tratar de edificações cujo desempenho é satisfatório (Henna et al., 2021), assim, a resiliência de uma edificação-diz respeito a sua capacidade de atravessar eventos disruptivos mantendo suas características e integridade, sem comprometer ou danificar a infraestrutura e os materiais construtivos (United Nations Environment Programme, 2021).

Os edifícios vernaculares tendem a ser mais resilientes e responsivos frente aos edifícios convencionais (Henna et al., 2021) devido à capacidade de se adaptarem ao clima (Gupta et al., 2023), uma vez que correspondem à síntese entre conhecimento popular, sistemas construtivos e técnicas locais, bem como sua responsividade testada por décadas ou mesmo séculos (Philokyrou; Michael; Thravalou, 2013). O potencial das edificações vernaculares frente às mudanças climáticas (Attia *et al.*, 2021), vêm sendo constatados, ainda que sejam pouco conhecidos (Bhaumik *et al.*, 2022; Michael, Demosthenous e Philokyrou, 2017), e corram o risco de serem perdidos devido à falta de documentação de práticas construtivas tradicionais (Bodach, Lang e Hamhaber, 2014).

O uso dos materiais e técnicas disponíveis localmente, critérios econômicos e determinantes culturais (Kaihoul et al., 2021; Mascaró, 1983) estão refletidos nas edificações vernaculares. A utilização da madeira proveniente de árvores nativas do sertão potiguar, por exemplo, é conhecida pela resistência e durabilidade sendo amplamente empregadas na edificação (Feijó, 2014) e reforçam a adaptação da edificação às condicionantes e mão de obra locais, além de sua disponibilidade para manutenção e reparos (Borges, 2015; United Nations Environment Programme., 2021). As edificações com grossas paredes de tijolos maciços, telhas cerâmicas espessas, produzidas com insumos regionais também contribuem para a responsividade frente ao clima (Nascimento *et al.*, 2013), em face a sua alta massa térmica desses elementos de entorno.

De acordo com o IPCC (2023) as regiões hiperáridas, áridas, semiáridas e secas sub-úmidas ocupam entre 45% a 47% da área global e vêm crescendo nos últimos anos. No sertão nordestino há uma área denominada polígono das secas, uma microregião de clima semiárido. Em nível estadual nos deparamos no centro-sul do estado do rio grande do norte, com uma região com clima semiárido com uma área de 6.970,60 km<sup>2</sup>, compreendendo 23 municípios, entre eles acari e currais novos.

Diante dessa realidade climática seriam as habitações vernaculares do semiárido nordestino brasileiro resilientes? Os períodos de seca aos quais essas habitações foram e são submetidas ajudam a compreender como as construções tradicionais se adaptam às condições climáticas adversas e quais aspectos de resiliência foram encontrados? O recorte espacial da pesquisa é delimitado pelo semiárido, restrito ao estado do Rio Grande do Norte, e abrange os municípios de Acari e Currais Novos. Os critérios para a seleção das localidades consideraram edificações encontradas em revisão de literatura nos estudos de Diniz (2008), Feijó (2014) e Borges (2015); relatos orais, e aspectos como a preservação e a presença de características representativas encontradas na revisão de literatura.

A pesquisa realiza o estudo de caso em três habitações vernaculares do semiárido do Rio Grande do Norte. Duas no município de Acari e uma no município de Currais novos. O estudo inicia com uma revisão bibliográfica sobre o semiárido, permeia a arquitetura vernacular e resiliência. A coleta de dados ocorre por meio de

visitas *in loco* nos locais selecionados, utilizando ficha de campo e os demais procedimentos metodológicos descritos no método.

### **1.1 Objetivo geral**

O objetivo deste estudo é determinar aspectos de resiliência em edificações vernaculares do semiárido nordestino brasileiro.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Identificar características representativas das edificações vernaculares do semiárido nordestino;
- Analisar as etapas de resiliência em edificações vernaculares ainda preservadas;
- Avaliar se a envoltória das edificações apresenta aspectos de resiliência.

A pesquisa foi ordenada em 5 capítulos. No capítulo 1 é apresentada a introdução da pesquisa, com delimitação do recorte espacial, problema de pesquisa, objeto de estudo, objetivo geral e objetivos específicos. O capítulo 2 aponta a fundamentação teórica: Contextualização do semiárido brasileiro e sua relação com as mudanças climáticas, responsividade, resiliência e o ambiente construído da habitação vernacular. No capítulo 3 são descritos os procedimentos metodológicos adotados para o estudo de caso. O capítulo 4 se detém aos resultados e discussões. O capítulo 5 é referente às conclusões e limitações da pesquisa. Por fim, são apresentados os referenciais empregados e os apêndices utilizados na pesquisa.

## **2 REVISÃO**

A revisão de literatura contextualiza a fundamentação teórica, articulando a arquitetura vernacular do semiárido e sua capacidade de responsividade e sua relação com a resiliência.

### **2.1 O semiárido brasileiro como reflexo do clima mundial**

Em um contexto de crescimento populacional, escassez de recursos e incertezas relacionadas às mudanças climáticas (Walker; Salt, 2006), surgem novas oportunidades e uma crescente necessidade de adaptação tanto no modo de consumir, quanto no modo de construir em escala global (Henna et al., 2021).

As adaptações buscam ajustar o ambiente construído e social de modo a reduzir inevitáveis efeitos negativos das alterações climáticas. Efeitos que se manifestam por meio de eventos disruptivos, fenômenos extremos do clima resultantes das mudanças climáticas globais como poluição, terremotos, furacões, enchentes, ondas de calor, quedas de energia, secas e pandemia (Attia et al., 2021). Esses fenômenos estão afetando as condições meteorológicas em todas as regiões do globo, e em particular, tem-se atribuído sua influência à ação humana IPCC (2023).

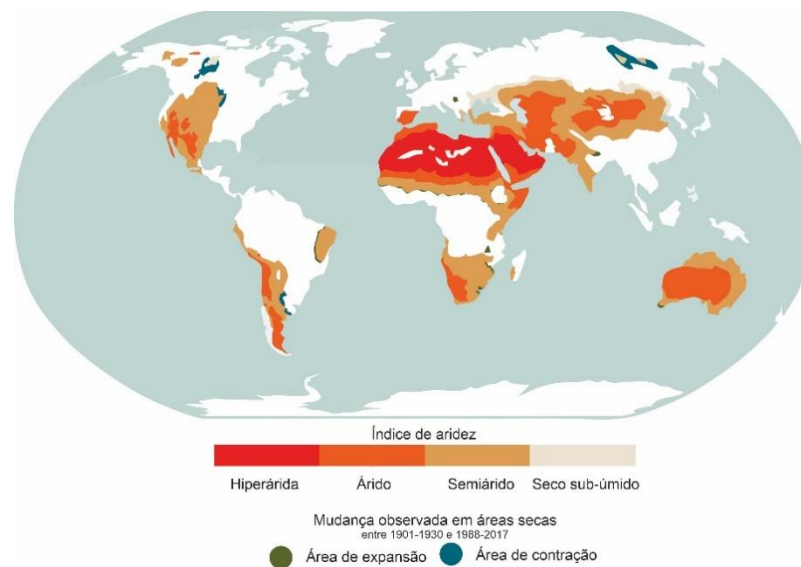
De acordo com o IPCC (2023), houve um aumento de secas a partir de 1950 até hoje na região nordeste da América do Sul, onde se localiza o semiárido. A partir do fim do século XIX, observou-se um aumento gradual das temperaturas. No século seguinte, culminou na década de 90, a qual se destacou como a mais quente, conforme documentado por Marengo e Soares (2003). Embora haja ocorrência de períodos de estiagem na região semiárida nordestina desde o século XVI (Marengo; Cunha; Alves, 2016), a seca de 2012 se manifestou com uma intensidade e impacto sem precedentes em várias décadas, sendo agravada pelo fenômeno El Niño em 2015. Dados que compreendem o período de 1849 a 1992, registram 21 eventos de El Niño associados às secas no Norte do Nordeste do Brasil (Marengo; Cunha; Alves, 2016).

As secas causam impactos diretos nas edificações, podendo acarretar retração do solo e danos à estrutura e infraestrutura. Ademais, a seca e o calor extremo podem deteriorar os materiais de construção, reduzindo sua vida útil ou levando a retração e quebra quando a umidade é perdida (United Nations Environment Programme, 2021), o que impacta diretamente na resiliência da construção de forma geral.

A região do semiárido apresenta intensa radiação solar, aridez, céu predominantemente limpo e elevadas temperaturas. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, é caracterizada como Bwh, o que significa dizer que a região está inserida no grupo árido, subgrupo semiárido e quente (Marinho et al., 2022).

De acordo com o relatório de 2023 “Desertos, áreas semiáridas e Desertificação” do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023) da ONU (Organização das Nações Unidas), no período compreendido entre 1982 e 2015, a combinação de práticas de uso insustentáveis da terra e as mudanças climáticas resultou em uma desertificação que afetou aproximadamente 6% da área global das terras áridas. Com base no índice de aridez, os desertos e as áreas semiáridas são classificadas como “zonas áridas”, elas compreendem áreas hiperáridas, áridas, semiáridas e secas sub-úmidas. As zonas áridas cobrem cerca de 45-47% da área terrestre global, e no último século apresentaram zonas de expansão e contração devido às mudanças climáticas (Figura 2-1).

Figura 2-1- Áreas áridas globais



FONTE: Adaptado de IPCC (2023).

Diversas regiões ao redor do mundo compartilham condições climáticas semelhantes às encontradas no Brasil. Na América do Sul, países como Argentina, Paraguai e Uruguai, juntamente com partes do Chile, apresentam características climáticas comparáveis devido à proximidade geográfica e à influência de correntes oceânicas comuns. Além disso, certas áreas da África, como o nordeste africano e partes da África Ocidental, assim como no norte da Austrália, compartilham climas tropicais e semiáridos similares aos do Brasil (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2023).

No Brasil, a região semiárida abrange os nove estados do nordeste e parte do norte de Minas Gerais que pertence a região sudeste (Figura 2-2). Ela compreende 12% do território do Brasil e é lar de aproximadamente 28 milhões de pessoas, distribuídas entre áreas urbanas (62%) e rurais (38%). O que significa que aproximadamente 10,64 milhões de pessoas vivem em áreas rurais do semiárido, e por essa razão é considerada a região semiárida mais densamente povoados globalmente (Instituto Nacional do Semiárido- INSA, 2023).

Figura 2-2- Delimitação do Semiárido brasileiro



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Ainda que não haja registros antigos de medições do clima, os registros sociais, a cultura, a memória e a arquitetura preservadas alegam vestígios para a compreensão do clima nos últimos séculos. O Semiárido brasileiro é uma região caracterizada por forte insolação, altas temperaturas e regime escasso de chuvas, propenso ao processo de

desertificação<sup>1</sup>. Uma região de quadros climáticos extremos (Travassos, Souza, Silva, 2013), além de ser demarcado como uma das regiões brasileiras mais vulneráveis às mudanças climáticas (Angelotti, Sá, Melo, 2009).

De acordo com dados no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) referentes a estação climática de Caicó, município do semiárido, a região caracteriza-se por uma temperatura de bulbo seco que varia de 25 °C a 29 °C, com uma umidade relativa entre 47% e 79%. Os ventos apresentam velocidade de 1 m/s a 4 m/s, com direção predominante no Sudeste. A radiação direta apresenta variação sazonal, sendo mais intensa nos meses de fevereiro, outubro e novembro, com valores entre 171 Wh/sq.m e 321 Wh/sq.m ao longo do ano e os períodos de chuva são delimitados pelos meses de março, abril e maio.

## **2.2 Arquitetura vernacular e seus desdobramentos no Semiárido**

Em termos de etimologia, a palavra “vernáculo” deriva do latim *vernaculus*, significado de 'nativo' (Oliver, 2006). Para Rapport (1969), a arquitetura vernacular é uma forma de expressão e identidade, criada com base no conhecimento prático e na tradição oral, refletindo a adaptabilidade e a resiliência das sociedades ao longo do tempo. De acordo com Oliver (2006) a arquitetura vernacular é mais fácil de ser exemplificada do que definida. É destacada como uma forma de construção que surge organicamente das práticas tradicionais de uma região específica, portanto, são adaptadas às necessidades práticas dos habitantes e ao clima local. O autor sugere a palavra 'abrigo', para tratar de casas populares onde o arquiteto não participa do processo. Weimer (2012), também destaca a importância da arquitetura vernacular como um reflexo da diversidade de climas e ecossistemas, que propiciaram múltiplas adaptações dos modelos trazidos pelos imigrantes para o Brasil.

A arquitetura vernacular é influenciada significativamente pelas condições climáticas locais, sendo o clima um dos principais condicionantes de suas características (Teixeira, 2017). Este tipo de arquitetura refere-se a edifícios construídos por indivíduos cujas escolhas de design são influenciadas por fatores ambientais e culturais (Bhaumik *et al.*, 2022). Estas construções são adaptadas às condições locais de recursos naturais,

---

<sup>1</sup> A desertificação, prevista há décadas, é uma degradação que se processa em regiões de clima árido, semiárido e sub-úmido seco relacionada as mudanças climáticas (Soares Travassos, Israel de Souza e Barbosa Da Silva, 2013).

topografia e clima, manifestando-se como uma expressão tangível das necessidades sociais, domésticas e agrícolas das comunidades locais. A partir de referências documentais e relatos verbais, é viável discernir um conjunto de características formais e construtivas empregadas (Feijó, 2014). Nas investigações conduzidas por Feijó (2014), Diniz (2008) e Borges (2015) que abordam casas de fazenda rurais do século XIX, a utilização de materiais locais e a aplicação da sabedoria cultural e empírica nessas edificações as categorizam como vernaculares.

### 2.2.1 Influência do entorno e microclima

Compreender como as tendências climáticas impactam os edifícios e identificar maneiras de adaptação para o futuro (Osman & Sevinc, 2019), por meio de edificações responsivas e resilientes, que devem considerar diversos atributos físicos do edifício: geometria, orientação, tamanho, altura, durabilidade da estrutura, disposição dos ambientes e envoltória (Aysha & Mani, 2017). Além dos atributos físicos, o comportamento da ventilação, que dependente de vários fatores, como o microclima externo, a topografia e o design dos elementos de construção, resultam em uma melhor resposta térmica interna (Michael et al., 2017). Como observado por Mascaró (1983), os habitantes dos trópicos geralmente interagem com o ambiente externo às suas habitações. Isso pode levar a adaptações comportamentais, como a necessidade de muros ou barreiras visuais para privacidade, que por sua vez afetam o microclima.

Elementos existentes ou planejados, como árvores e outras construções, podem oferecer sombreamento ou bloquear a incidência direta do sol quando necessário, assim como, a vegetação plantada estrategicamente no local pode capturar e direcionar o fluxo de vento para proporcionar ventilação natural (United Nations Environment Programme., 2021). Porém, se o ar externo é muito mais quente que a temperatura interna, o que acontece no clima quente e seco, ao entrar no edifício a temperatura interna aumentará (Hertz, 1998), por isso, a ventilação noturna é a estratégia mais eficaz para resfriamento passivo em residências vernaculares (Michael et al., 2017).

### 2.2.2 Características construtivas

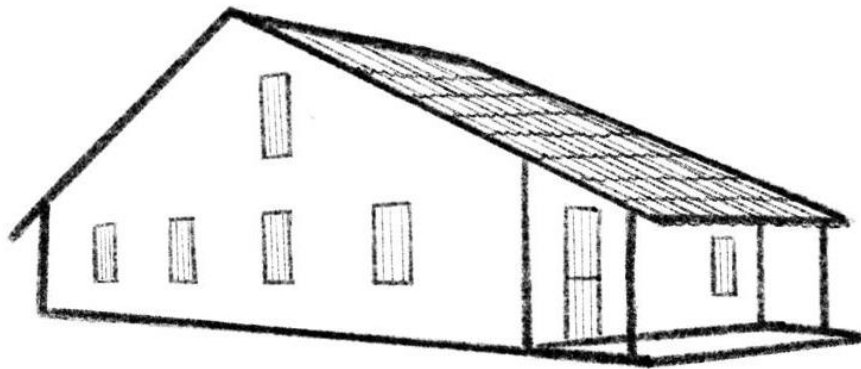
A madeira era amplamente utilizada no Brasil através da arquitetura indígena, com a chegada dos portugueses e o processo de colonização, passou a ser utilizada de forma secundária em um sistema construtivo composto por fundação de pedras, paredes de alvenaria e vedação da cobertura com telhas cerâmicas e a madeira (Ino e Shimbo, 2024).

No século XVIII, surgiram as primeiras residências na região do Seridó, construídas principalmente com taipa, posteriormente foi adicionada a alvenaria apenas na fachada principal (Diniz, 2008). Apesar de também serem encontrados alguns exemplares de construções em alvenaria de rocha com junta seca, concentrada predominantemente na Microrregião do Seridó Ocidental (Ferreira *et al.*, 2017). Estas habitações eram caracterizadas por sua estrutura térrea, possuíam um formato retangular com cobertura de duas águas (Weimer, 2012) com elevado pé direito de proporção 2:8 denominado “telhado de arrasto” (Feijó, 2014). A transição das casas de taipa para estruturas de alvenaria com tijolo cerâmico possibilitou a construção de edifícios maiores e telhados mais altos (Diniz, 2008).

A partir da segunda metade do século XIX, ocorreram mudanças econômicas significativas no país, o que resultou na importação de equipamentos pesados, na expansão das ferrovias e na chegada dos primeiros imigrantes não portugueses. Esses imigrantes começaram a substituir a mão de obra dos escravizados que predominava até então (Iino e Shimbo, 2024). Antes, as residências situadas em fazendas da região assumiram um papel de destaque com atividades de agropecuária, como a criação de gado bovino e o cultivo de alimentos como feijão, milho e mandioca. Além disso, algumas dessas propriedades rurais também abrigavam estruturas adicionais, como casas de farinha e engenhos de rapadura (Diniz, 2008).

De acordo com as pesquisas de Feijó (2014), Philokyprou *et al.*, (2017) e Hertz, (1998), as casas urbanas vernaculares de clima semiárido são predominantemente lineares, o que pode ser atribuído aos recuos estabelecidos, dimensões de terreno disponíveis e à presença frequente de casas geminadas em pelo menos um dos lados, além de possuírem uma menor quantidade de aberturas. Enquanto isso, as casas grandes de fazenda devido ao amplo espaço disponível, geralmente estão completamente isoladas no terreno, permitindo a presença de janelas em todas as fachadas, mas o formato linear também é muito empregado, principalmente em casas que não foram submetidas a reformas (Feijó, 2014) (Figura 2-3).

Figura 2-3-Casa vernacular predominantemente linear e isolada no terreno



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O arranjo do espaço interno parte de três compartimentos principais: a sala na frente, cozinha nos fundos e a presença de um corredor interligando os dois e com acesso para os quartos, além de em alguns exemplares possuir uma varanda para a sala (Weimer, 2012), denominada alpendre (Diniz, 2008; Feijó, 2014; Borges, 2015). Essa configuração também é a típica encontrada nas casas tradicionais de fazenda (Figura 2-4), com adição do sótão e paiol. O alpendre, extensão coberta da casa, é aberto em três dos seus lados e suportado pela parede da fachada principal e pilares de madeira ou concreto; sua orientação é para o sol nascente e suas paredes são permeáveis. A sala de estar é o primeiro espaço fechado da casa e geralmente se estende ao longo do alpendre. As janelas são geralmente posicionadas nas laterais, enquanto os quartos, localizados entre a sala de estar/jantar e a cozinha, estão frequentemente próximos ao ponto mais alto do telhado (Diniz, 2008; Feijó, 2014; Borges, 2015).

Figura 2-4- Exemplo tipológico das casas de fazenda encontradas no Seridó potiguar



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A envoltória da construção apresenta alta massa térmica, proporcionada pelas paredes externas de alvenaria de “tijolo dobrado”, que medem aproximadamente 60 cm de largura (Feijó, 2014; Diniz, 2008) e é capaz de oferecer estabilidade térmica, além do número e tamanho limitados de aberturas que auxiliam na redução dos ganhos solares na edificação (Philokyrou et al., 2017; Cuce; Riffat, 2015). Em um clima quente e seco com ampla variação de temperatura entre o dia e a noite, a construção de alta massa térmica confere condições confortáveis no ambiente interno sem necessidade de resfriamento mecânico ou aquecimento noturno (Szokolay, 2019). O uso de paredes grossas em tijolo maciço, telhas cerâmicas espessas com alta massa térmica, pé-direito elevado e paredes internas que não alcançam o teto contribuem com a permeabilidade interna (Nascimento et al., 2013).

A cobertura das casas de fazenda é principalmente composta por duas águas, com beirais para a fachada principal e para os fundos. Os beirais possuem um pé-direito reduzido, com uma cumeeira alta e um telhado de elevada inclinação (Feijó, 2014; Diniz,

2008). Esses espaços de pé-direito alto contribuem com o resfriamento passivo do interior da edificação quando combinado a uma envoltória de alta massa térmica (Philokyprou et al., 2017). As paredes mais longas costumam estar voltadas para norte-sul e as paredes mais curtas voltadas para Leste-Oeste, pois recebem sol direto a manhã e à tarde, assim, ambientes de menor permanência localizados nas direções leste e oeste, podem funcionar como áreas de barreira de calor nos demais ambientes (United Nations Environment Programme, 2021).

### 2.2.3 Componentes e materiais construtivos da envoltória

Os materiais construtivos comuns nos estudos de Feijó (2014), Diniz (2008) e Borges (2015) incluem fundação ou alicerce de pedra granítica em formato irregular, também chamada de pedra marroada. Piso de pedra ou de tijoleira de barro. Alvenaria autoportante com tijolos de barro maciços, rebocados com argamassa de argila, cal, areia e pintada na cor branca. As paredes externas são mais grossas, enquanto as paredes internas são mais finas. A cobertura é estruturada com madeiramento proveniente de árvores nativas, e elementos como brabos, terças, frechais, pontaletes, caibros e ripas. Sendo os brabos utilizados para viabilizar os grandes vãos. As telhas de barro espessas com 1,5 cm, cerca de 60 cm de comprimento e 20 cm de largura na parte mais larga e 16cm na parte mais estreita. Pilares em madeira ou em alvenaria, de seção quadrada, circular ou retangular com bordas arredondadas.

As madeiras regionais, conhecidas por sua resistência e durabilidade, são empregadas em várias partes da edificação, desde a estrutura até detalhes como marcos em portas e janelas, dobradiças, cobertura, brabo curvo, pontalete esculpido, terça lavrada, caibro roliço, caibro lavrado, ripa lavrada, armador de madeira serrada, armador mofumbo e cabide de madeira (Figura 2-5). A utilização específica de cada tipo de madeira variava de acordo com a espécie e o uso (Quadro 2-1), sendo a aroeira encontrada em grande parte das coberturas (Feijó, 2014) e cumaru nas esquadrias (Diniz, 2008).

Figura 2-5- Utilização de elementos de madeira na arquitetura vernacular do semiárido:  
(a) marco de porta (b) armador de rede



(a)

(b)

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Quadro 2-1- Madeiras utilizadas na envoltória

Função	Tipo de madeira
Esquadrias	Cedro, cumaru, craibeira e umburana
Cobertura	Aroeira, angico, braúna, craibeira, brejuí, pereiro e gachumbo

FONTE: Adaptado de Feijó (2014)

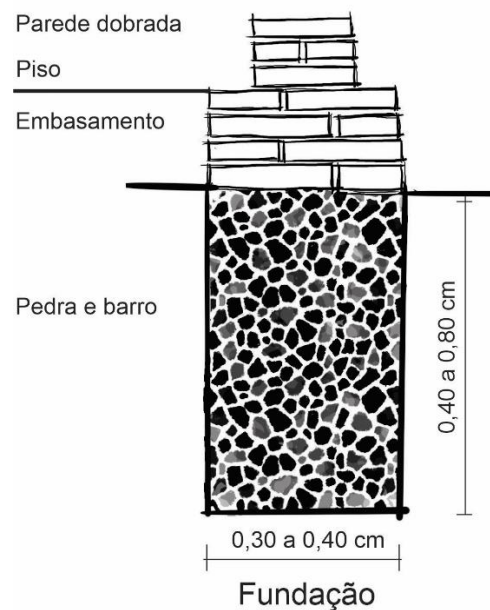
A madeira possui baixa condutividade térmica, conseqüentemente é um isolante térmico natural, principalmente sob baixa umidade (Iino e Shimbo, 2024). O comportamento higroscópico<sup>2</sup> é uma das principais características que favorecem o desempenho dessas madeiras regionais, pois a durabilidade e resistência são diretamente afetadas pela variação de umidade (Borges, 2015).

<sup>2</sup> Capaz de absorver rapidamente a umidade do ar.

### Componentes construtivos:

A fundação é construída com pedras e barro (Mesquita e Mota, 2017; Diniz, 2008) depositados em uma vala cavada juntamente com pedras, argamassa de areia, cal e cimento utilizando a proporção 12:1. Essa fundação é o embasamento de alvenaria de tijolos, com mesmo alinhamento e delimitando o nível do piso (Figura 2-6). Como o terreno costumeiramente não passa por nivelamento, o embasamento é construído com alturas variadas, compensando os diferentes níveis da topografia (Mesquita e Mota, 2017).

Figura 2-6- Fundação

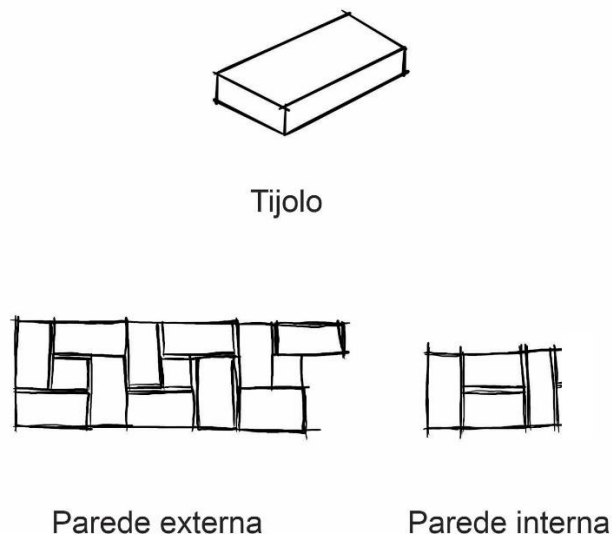


FONTE: Adaptado de Mesquita e Mota (2017).

As paredes são autoportantes, suportam as cargas da cobertura e as transmitem para a fundação, além de servir como elemento de vedação. A espessura varia entre 30 e 60 centímetros e são construídas com duas camadas de tijolos (Figura 2-7), com variações no assentamento, podendo ser dispostas de forma perpendicular ou longitudinal. Os tijolos medem aproximadamente 40 cm de comprimento, 16 cm de largura e 8 cm de espessura. A argamassa utilizada consiste em uma mistura de barro, cal e areia, mas, devido à dificuldade de obtenção de cal na região, algumas estruturas são construídas sem este material. Os pilares do alpendre, inicialmente feitos de madeira, são frequentemente substituídos por pilares de alvenaria (Feijó, 2014; Mesquita e Mota, 2017; Diniz, 2008).

Apesar da disponibilidade de terreno, a área construída é geralmente reduzida, com a planta baixa quase sempre apresentando um formato retangular (Feijó, 2014; Diniz, 2008). A largura da construção é determinada principalmente pelas dimensões dos materiais de construção utilizados, como as peças de madeira da cobertura (Mesquita e Mota, 2017).

Figura 2-7- Tijolo e formas de assentamento



FONTE: Adaptado de Mesquita e Mota (2017).

O piso é a parte da edificação com um menor número de relatos, frequentemente aparece como elemento reformado. O revestimento é originalmente feito de ladrilhos de barro na área interna e de pedra no alpendre, porém, é comum substituí-los por cimento queimado ou cerâmica. Nos exemplares que possuem sótão, o piso é geralmente de tábua corrida (Feijó, 2014; Diniz, 2008).

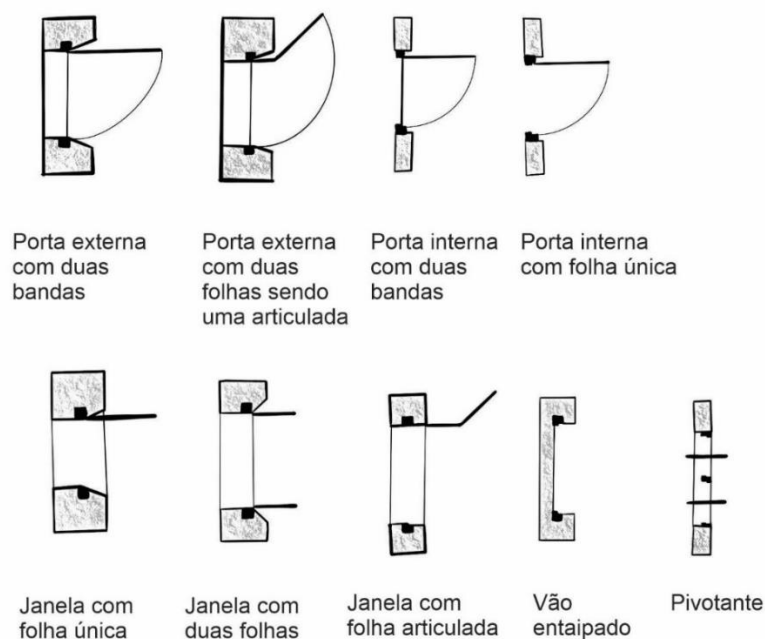
As esquadrias são em madeira, e o Cumaru (*Amburana cearenses*) é a espécie mais presente nas edificações. Para confeccionar esses componentes, são empregadas folhas de madeira com cerca de 2,5 cm de espessura, que podem ser divididas horizontalmente ao meio, formando assim uma porta-janela. A configuração mais comum é uma folha única ou dupla para janelas, a porta externa se apresenta com duas bandas e a porta interna com folha única, mas, existem outras variações como as demonstradas na figura 2-8 (Feijó, 2014; Diniz, 2008). É frequente encontrar uma combinação de porta-janela e janela na fachada principal das construções. As vergas dos vãos, por sua vez, poderiam ser retas ou em formato de arco abatido, sendo construídas com tijolos ou uma

prancha de madeira para oferecer suporte (Feijó, 2014; Mesquita e Mota, 2017; Diniz, 2008).

“Os vãos das portas e janelas medem aproximadamente 1,0 m de largura e tem como elemento de vedação uma folha cega, inteira ou dividida em duas bandas. Na confecção dessas folhas era utilizadas tábuas que variam de 2,0 cm a 2,5 cm de espessura [...] As folhas de portas e janelas eram feitas de tábuas de madeira, unidas por travessas também de madeira [...] Suas faces internas fixadas com cravos de ferro ou mesmo com pinos de madeira [...] Como elemento complementar na segurança das casas, no fechamento das esquadrias são bastante utilizadas tranças ou traves, que se constituem de peças de madeira que se encaixam horizontalmente nos dois marcos das portas e janelas”.

(Feijó, 2014, p. 85 e 86).

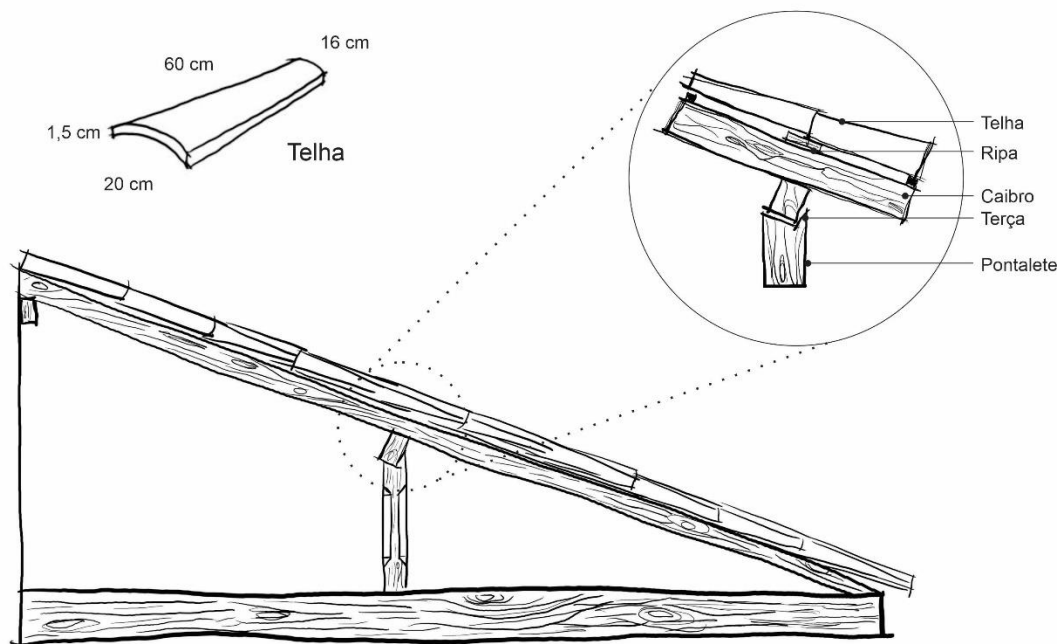
Figura 2-8- Detalhes construtivos das esquadrias em planta



FONTE: Adaptado de Feijó (2014).

A estrutura do telhado é composta por brabos, terças, pontaletes, caibros e ripas. As telhas vernaculares tradicionais apresentam dimensões maiores do que as utilizadas atualmente, com aproximadamente 60 cm de comprimento, 20 cm de largura na parte mais larga, 16 cm na parte mais estreita (ponta), 9 cm de altura em seu ponto mais alto e espessura de 1,5 cm (Figura 2-9).

Figura 2-9- Estrutura do telhado



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Nestas construções, o uso de forro é praticamente inexistente, com exceção dos espaços situados abaixo do sótão ou do paiol, que utilizam o próprio assoalho como forro (Feijó, 2014; Diniz, 2008). Na ausência de forro, as telhas ficam aparentes, o que é denominado de telha vã (Diniz, 2008).

### 2.3 Responsividade ao clima

O design responsivo ao clima envolve a harmonia entre o edifício e as condições climáticas por meio de estratégias passivas. Ele se inspira na arquitetura tradicional local, que emergiu da cultura e da experiência empírica, especialmente em períodos em que recursos eram escassos e o conhecimento arquitetônico e tecnológico não era

amplamente difundido, resultando frequentemente em construções autoconstruídas (Yang et al., 2022).

Enquanto isso, a arquitetura difundida internacionalmente assume um mesmo tipo de construção como adequado para qualquer local e clima. Isso significa que os aspectos formais ganham mais destaque do que a arquitetura regional adaptada ao lugar (Hertz, 1998). Embora a tendência de uma arquitetura padronizada e de alto consumo energético esteja se disseminando, é inevitável promover a adaptação de recursos de design responsivos ao clima (Kaihoul et al., 2021), principalmente diante de novas demandas impulsionadas pelas rápidas alterações climáticas.

A abordagem de design responsivo incorpora características específicas que refletem tanto os aspectos climáticos quanto culturais, como a utilização eficiente dos materiais disponíveis e considerações econômicas e culturais (Kaihoul et al., 2021; Mascaró, 1983), ele enfatiza a resposta do edifício às condições climáticas, visando otimizar seu desempenho ambiental. Essa integração entre sustentabilidade, clima e design responsivo busca reduzir o consumo de energia e garantir o conforto dos ocupantes (Motealleh, Zolfaghari, Parsaee, 2018). Para tanto, a avaliação da capacidade de resposta climática serve como base e inspiração para o desenvolvimento de projetos habitacionais energeticamente eficientes e confortáveis (Yang et al., 2022).

A capacidade de resposta é desenvolvida a partir das características da habitação, responsividade, visando incorporar o conhecimento tradicional na construção atribuídos a fatores empíricos, climáticos, culturais e econômicos (Figura 2-10). Por outro lado, a análise bioclimática examina os fatores climáticos antes da construção, bioclimatismo (Yang et al., 2022; Motealleh et al., 2018). Em termos de metodologia, os princípios bioclimáticos se fundamentam desde o estágio inicial de estudo até a construção do ambiente, enquanto a responsividade parte da análise do ambiente construído.

Figura 2-10- Bioclimatismo e responsividade



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A maior parte dos estudos sobre responsividade adota uma abordagem qualitativa, concentrando-se nas estratégias climáticas de habitações existentes. Eles exploram diversas características, como tipologia de construção, padrão do entorno e localização, orientação, forma da construção, disposição dos ambientes, materiais utilizados na envoltória, aberturas, bem como a presença de elementos como água e vegetação nas proximidades entorno (Aflaki et al., 2015; Yang et al., 2022; Philokyprou et al., 2013; Bodach et al., 2014; Bahramifar et al., 2022; Szokolay, (1983). Esses aspectos foram resumidos no Quadro 2-2.

Quadro 2-2- Características de análise de responsividade

Referência	Características
Aflaki <i>et al.</i> , 2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sombreamento</li> <li>•Orientação da edificação</li> <li>•Forma da edificação</li> <li>•Tamanho e localização das aberturas</li> <li>•Vegetação próxima</li> <li>•Materiais de envoltória</li> <li>•Massa térmica e isolamento das paredes externas</li> </ul>
Yang <i>et al.</i> , 2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Relação da edificação com o entorno</li> <li>•Tipologia da edificação</li> <li>•Envoltória</li> </ul>
Philokyprou <i>et al.</i> , 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Orientação da edificação</li> <li>•Tamanho e localização das aberturas</li> <li>•Materiais da envoltória</li> <li>•Relação da edificação com o entorno</li> <li>•Projeções de proteção contra radiação solar</li> <li>•Presença de ventilação cruzada e efeito chaminé</li> <li>•Existência de água nas proximidades</li> </ul>
Bahramifar <i>et al.</i> , 2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Andares</li> <li>•Forma da edificação</li> <li>•Orientação da edificação</li> <li>•Tamanho e localização das aberturas</li> <li>•Espaços semi-abertos</li> </ul>

Bodach <i>et al.</i> , 2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Padrão do entorno</li> <li>•Forma da edificação</li> <li>•Orientação da edificação</li> <li>•Arranjo do espaço interno</li> <li>•Espaços semi-abertos</li> <li>•Materiais da envoltória</li> <li>•Espessura da envoltória</li> </ul>
Szokolay, 1983	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Forma da edificação</li> <li>•Orientação da edificação</li> <li>•Qualidade das superfícies (absortância e refletância)</li> <li>•Inércia térmica</li> <li>•Sombreamento</li> <li>•Tamanho, localização e orientação das aberturas</li> </ul>

---

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Além das análises de responsividade, é importante ter em conta as recomendações construtivas para as diferentes zonas bioclimática previstas por normas, tal como a NBR 15.220-3 Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005) como instrumentos para propiciar a leitura e interpretação da potencial responsividade das edificações.

Borges (2015) realizou uma análise das construções vernaculares do semiárido, utilizando critérios de responsividade baseados nas diretrizes bioclimáticas estabelecidas pela norma NBR 15.220-3 (2005). A pesquisa identificou as estratégias passivas adotadas, abrangendo tanto as técnicas de resfriamento passivo, bem como as estratégias destinadas ao controle do microclima externo, analisando os resultados de cada edificação separadamente e atribuindo os resultados a uma escala de aderência.

A região compreendida no estudo Borges (2015), fica localizada em uma porção do semiárido do estado do Rio Grande do Norte, classificada como zona bioclimática 7 (Figura 2-11) com recomendações construtivas que incluem a utilização de aberturas pequenas e sombreadas e paredes e coberturas pesadas. Para o condicionamento térmico passivo foram recomendados o resfriamento evaporativo e o uso de massa térmica para proporcionar resfriamento, juntamente com a implementação de ventilação seletiva durante os períodos quentes, nos quais a temperatura interna excede a externa.

Figura 2-11- Zona bioclimática 7

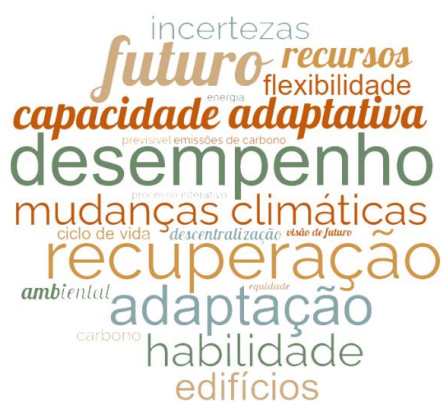


Fonte: Adaptado de NBR 15.220-3 (2005).

## 2.4 Resiliência

Os estudos iniciais sobre resiliência na arquitetura são datados no final do século XX, por volta na década de 1970, quando o conceito começou a ganhar força em várias frentes (Klein et al., 2003). Embora o termo "resiliência" tenha raízes multidisciplinares, seu emprego na arquitetura refere-se à capacidade das edificações de resistir e se adaptar a choques, estresses e mudanças, como desastres naturais, mudanças climáticas e pressões sociais e econômicas (Henna et al., 2021) (Figura 2-12). Segundo a *Union Internationale des Architectes* (UIA), uma comunidade resiliente é capaz de antecipar, se adaptar e se recuperar. Com base nessa ideia, o objetivo da resiliência é promover soluções e conhecimentos que habilitem a adaptação e a recuperação.

Figura 2-12- Nuvem de palavras relacionadas a resiliência na arquitetura



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A resiliência está relacionada a alguns dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) <sup>3</sup> propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), voltados para cidades e comunidades sustentáveis (11), consumo e produção responsáveis (12) e ação contra a mudança global do clima (13).

A Resiliência no ambiente construído, está ligada a uma estratégia para aumentar a resistência e robustez de um sistema e, conseqüentemente, sua capacidade de recuperação (Villa e Oliveira, 2021). Fujita e Takewaki (2012); Bothara, Ingham e Dizhur (2022); Takewaki (2013); Yenidogan, (2021) avaliaram a robustez de edificações e sua resposta diante de terremotos. Krelling et al. (2023), ao analisarem a resiliência térmica, identificaram indicadores-chave de desempenho que ajudam a compreender as vantagens e desvantagens no design de edifícios. A versão 4.1 do Sistema de Classificação de Liderança em Energia e Design Ambiental (LEED) do United States Green Building Council (USGBC) também trata da resiliência térmica, e introduziu um novo crédito piloto com o objetivo avaliar a capacidade de sobrevivência passiva em edifícios. Villa e Oliveira (2021) propuseram uma matriz piloto de avaliação da resiliência do sistema, dividida em impacto, atributo da resiliência, indicador de resiliência, recomendação para resiliência e parâmetro. Essa matriz permite identificar os impactos, os fatores de resiliência e as recomendações pertinentes. Assim como Correia, Dipasquale e Mecca (2014) (Quadro 2-3), dividiram o processo de resiliência em fase pré-crise, fase de crise e fase pós-crise, onde se destacam a prevenção e mitigação, responsividade e resistência e adaptação, respectivamente.

---

<sup>3</sup> Em 2016 a ONU propôs 17 objetivos de desenvolvimento sustentável para que a humanidade de maneira coletiva pudesse combater a pobreza, desigualdade e mudanças climáticas.

Quadro 2-3- Resiliência: fase pré-crise, crise e pós-crise

FASE PRÉ-CRISE Prevenção+ mitigação	FASE DE CRISE Responsividade e resistência	FASE PÓS-CRISE Adaptação
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreensão do clima</li> <li>• Pensar de acordo com a geografia e hidrografia do local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de materiais duráveis e adaptados ao clima</li> <li>• Arquitetura e estrutura adequadas ao local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design flexível e de acordo com a cultura de construção local</li> </ul>

FONTE: Adaptado de Correia, Dispasquale e Mecca (2014).

A resiliência pode variar conforme o período, escala e tipo de interrupção. Seus estágios podem ser divididos em quatro etapas: vulnerabilidade, resistência, robustez e recuperação (Figura 2-13) (Attia *et al.*, 2021).

Figura 2-13- Estágios de resiliência e conceitos



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

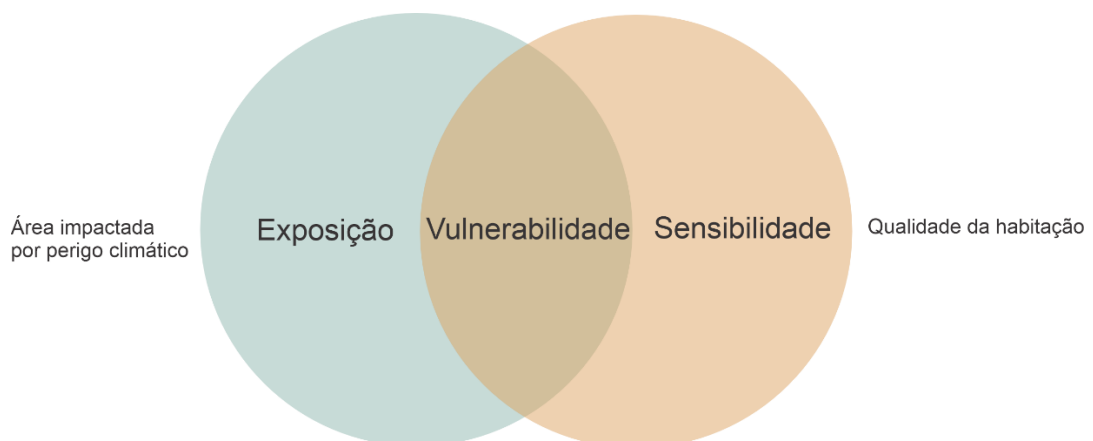
### 2.4.1 Vulnerabilidade

A vulnerabilidade é compreendida como a sensibilidade ou propensão de uma edificação a diferentes perturbações causadas por eventos disruptivos (Attia *et al.*, 2021). Esses períodos são amplamente conhecidos por suas dificuldades e são retratados há anos como no livro "Os Sertões", Euclides da Cunha, com o semiárido como plano de fundo da seca e parte do movimento de compreensão da resiliência.

“E o sertão é um vale fértil. É um pomar vastíssimo, sem dono. Depois tudo isto se acaba. Voltam os dias torturantes; a atmosfera asfixiadora; o empedramento do solo; a nudez da flora; e nas ocasiões em que os estios se ligam sem a intermitência das chuvas — o espasmo assombrador da seca”. (Euclides da Cunha, 1984, p. 39).

Pesquisas sobre vulnerabilidade em regiões semiáridas tratam além do ambiente construído e reforçam questões sociais e econômicas como consequência da seca Baudoin, Hegga e Zaroug (2015); Wa Ter Forum (2009). Assim como os indivíduos, as edificações no contexto de vulnerabilidade fazem interseção de dois elementos: exposição e sensibilidade (Figura 2-14). A exposição refere-se ao tipo e à magnitude das ameaças externas que uma edificação enfrenta e de que forma essa edificação foi construída como consequência dessa exposição. A sensibilidade diz respeito à habilidade da edificação e seus habitantes em perceber e responder a mudanças no ambiente.

Figura 2-14- Elementos-chave de vulnerabilidade



FONTE: Adaptado de United Nations Environment Programme (2021).

A versão LEED v5 proposta pelo U.S. Green Building Council (2025) incorpora em seus critérios a consideração de riscos naturais específicos de cada local, tais como seca, ondas de calor e outros eventos climáticos extremos. Nesse sentido, busca-se promover a resiliência climática por meio da análise de fatores como exposição, sensibilidade, capacidade adaptativa, vulnerabilidade e níveis gerais de risco.

#### **2.4.2 Resistência**

A resistência diz respeito à capacidade de uma construção manter suas características físicas, o que contribui para a redução de sua vulnerabilidade, conferindo-lhe capacidade adaptativa (United Nations Environment Programme, 2021). Essa capacidade está intimamente ligada à capacidade de resposta dessas edificações (Krelling et al., 2023). Estudos sobre resiliência em edificações vernaculares demonstram o uso de materiais disponíveis localmente, como pedra, lama e madeira, e a adoção de técnicas construtivas tradicionais locais, contribui para promover a resiliência (Villa, Oliveira, 2021; Fujita, Takewaki, 2012; Bothara, Ingham, Dizhur, 2022; Takewaki, 2013; Yenidogan, 2021). Os elementos presentes no entorno como luz, calor, temperatura, umidade, vento e precipitação exercem grande influência sobre esses materiais construtivos (Hertz, 1998), desafiando sua resistência.

São considerados na análise da resistência, o entorno; a forma, proporção e volume e; os materiais construídos e suas propriedades. Os elementos presentes no ambiente de entorno ao qual está inserida a edificação operam diretamente para sua resistência, uma vez que a troca de calor entre a superfície edificada e o ambiente depende da exposição e das características do material, assim como a troca de radiação térmica é influenciada pela temperatura das superfícies ao redor (Szokolay, 2019). Nesse contexto, estratégias para utilizadas para contribuir com a redução da temperatura no entorno imediato e aumentar a umidade relativa do ar são o emprego de vegetação e fontes de água, ou outros meios que promovam a evaporação direta de água no ambiente a ser resfriado, esse recurso representa uma forma direta de resfriamento evaporativo (United Nations Environment Programme, 2021).

Para Feehan (2021), A envoltória do edifício é determinante para a responsividade, e conseqüentemente para a resistência do ambiente construído (Feehan *et al.*, 2021), por meio dela ocorre a comunicação do interior com o exterior assim, a forma e a proporção e o volume podem aliviar ou piorar os efeitos do clima (hertz, 1998), como demonstrado

por (Philokyrou *et al.*, 2017) que a própria forma do edifício é usada como mecanismo de resfriamento passivo.

Plantas alongadas e retangulares, por exemplo, oferecem ventilação natural aprimorada e contribuem para o resfriamento passivo noturno (Philokyrou *et al.*, 2017), além do elevado pé direito capaz de possibilitar um melhor efeito chaminé pela possível diferença entre a altura da entrada e da saída do ar (Hertz, 1998). Em regiões de baixa latitude, na maior parte do dia o sol está quase perpendicular ao telhado, portanto é através dele a maior recepção de radiação solar, dessa forma, a orientação do edifício terá pouca influência na redução do ganho de calor pelo telhado (Hertz, 1998).

O adequado sombreamento das aberturas, ventilação natural, vegetação apropriada e alta massa térmica na envoltória do edifício (Michael *et al.*, 2017) contribui para a resistência. As janelas são o principal elemento de permeabilidade entre o ambiente interno e externo a edificação (Hertz, 1998), portanto, sua área limitada contribui para a redução do efeito de transferência de calor (Philokyrou *et al.*, 2017). Informações sobre o tamanho, localização e orientação das janelas também são de grande importância, assim como, a forma e proporção dos elementos de sombreamento (Feehan *et al.*, 2021). As características das janelas também variam de acordo com as necessidades específicas dos tamanhos dos cômodos e atividades desenvolvidas (Hertz, 1998).

E por fim os materiais e suas diferentes propriedades térmicas, como absorvância e transmitância, podem afetar a transferência de calor entre o interior e o exterior da edificação, impactando a temperatura e a umidade internas. Além disso, a proteção à radiação solar, permeabilidade ao ar e resistência à umidade também são atributos determinantes na resposta climática e resiliência do ambiente construído. A caracterização da envoltória, portanto, considera as propriedades dos materiais e sua interação com o clima local, auxiliando na investigação de responsividade e resiliência (United Nations Environment Programme, 2021).

A resposta de um edifício às mudanças de temperatura externa, é fortemente influenciada pelo tipo de material utilizado na construção, principalmente aqueles que apresentam elevada massa térmica e cor clara (Philokyrou *et al.*, 2017); (United Nations Environment Programme., 2021). Essa capacidade de resposta frente às mudanças nas temperaturas externas, é impactada pelo tipo de material selecionado e sua transmitância térmica (também conhecida como valor U).

As recomendações da NBR 15.220-3 (2005) para a zona bioclimática 7 indicam um valor inferior para as paredes e um valor mínimo para a cobertura (Tabela 2-1) em relação aos indicados pela United Nations Environment Programme (2021). A mesma norma também indica o tamanho para aberturas nas fachadas, relacionado a área do piso, dessa forma, as aberturas são pequenas, a fim de evitar o superaquecimento interno diminuindo a troca de calor com o exterior.

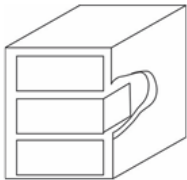


Tabela 2-1- Recomendações da NBR 15.220-3 para a zona bioclimática 7

A (em % da área do piso)	
Aberturas pequenas	$10\% < A < 15\%$
Transmitância térmica- U W/m <sup>2</sup> .K	
Paredes pesadas	$U \leq 2,20$
Coberturas pesadas	$U \leq 2,00$

FONTE: Adaptado de NBR 15220 (2005).

Quanto menor o valor da transmitância de um material, melhor a edificação irá se comportar diante de grandes mudanças de temperatura externa. No Brasil, varia de 2,2 W/m<sup>2</sup>.K a 3,6 W/m<sup>2</sup>.K para paredes e 2,0 W/m<sup>2</sup>.K a 2,3 W/m<sup>2</sup>.K para os telhados (United Nations Environment Programme., 2021). Na norma NBR 15.220-3 (2005) também é possível encontrar valores de referência (Tabela 2-2).

Tabela 2-2- Transmitância térmica de parede e cobertura

Parede	Descrição	Transmitância térmica- U W/m <sup>2</sup> .K
	Parede de tijolos maciços, assentados na maior dimensão. Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm. Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm. Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm. Espessura total da parede: 27,0 cm	2,25
<b>Cobertura</b>	<b>Descrição</b>	
	Cobertura com telha de barro sem forro. Espessura da telha: 1,0 cm	4,55
	Cobertura com telha de barro com forro de madeira. Espessura da telha: 1,0 cm. Espessura da madeira: 1,0 cm	2

FONTE: Adaptado de NBR 15220 (2005).

O ganho de calor também pode ser reduzido usando materiais de envoltória com alto índice de refletância, aumentando a qualidade reflexiva (albedo) através do uso de cores claras com absorvância < 0,4 (Tabela 2-3) (United Nations Environment Programme, 2021).

Tabela 2-3- Absortância de superfícies

Tipo de superfície	$\alpha$
Telha de barro	0,75/0,80
Tijolo aparente	0,65/0,80
Reboco claro	0,30/0,50
Pintura:	
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
Alumínio	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

FONTE: Adaptado de NBR 15220 (2005).

A transmitância térmica depende da resistência térmica de cada um dos elementos que compõem a superfície da envoltória, bem como a espessura de suas respectivas camadas e sua condutividade térmica (Tabela 2-4).

Tabela 2-4- Condutividade térmica de materiais de acordo com a NBR 15.220-3

Material	$\lambda$ (W/(m.K))
Argamassa comum	0,15
Argamassa de gesso (ou cal e gesso)	0,7
Argamassa celular	0,4
Tijolos e telhas de barro	0,70 - 0,90- 1,00- 1,05
Madeiras com densidade de massa aparente elevada	0,29
Carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	0,15 - 0,23

FONTE: Adaptado de NBR 15220 (2005).

Como observado na tabela 2-4, dentre os materiais comumente empregados na arquitetura vernacular, a madeira se destaca pelos baixos níveis de condutividade térmica, e para além disso apresenta ainda a qualidade de ser um material de construção renovável e armazenar carbono durante seu crescimento, um processo conhecido como sequestro de carbono, contribuindo para a redução das emissões de carbono ao longo do ciclo de vida da edificação.

Assim, a escolha da madeira não só fortalece a resistência física da edificação, ao proporcionar leveza e durabilidade do sistema construtivo, mas também oferece benefícios ambientais, ajudando a compensar as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à construção (Araújo et al., 2020). O que é enfatizado pelo LEED quanto a mitigação das mudanças climáticas de forma integrada e estratégica, com foco na redução das emissões de carbono, tanto diretas quanto indiretas, visando impactos positivos a longo prazo. Entre os principais critérios do tópico de avaliação de carbono, destaca-se a necessidade de quantificar e avaliar o carbono incorporado, presente nos principais materiais estruturais, de fechamento e de paisagismo utilizados nos processos de construção de novos projetos e em obras de reforma. É necessária uma redução de 20% no carbono incorporado em elementos contrutivos para projetos classificados como LEED Platinum (U.S. Green Building Council, 2025), assim, a madeira como material sequestrador de carbono é incentivada como material com menor potencial de aquecimento global.

Em adição, a United Nations Environment Programme, (2021) aborda o impacto climático para resistência de edificações em duas categorias: Estresse hídrico e risco de incêndio florestal que trata do entorno e microclima e; aumento de temperaturas e ondas de calor que se refere a edificação (Quadro 2-4).

Quadro 2-4- Impacto climático nas edificações

ESTRESSE HÍDRICO E RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL	Plantas resistentes a seca para manter a umidade do solo Cisternas para coleta de água
AUMENTO DAS TEMPERATURAS E ONDAS DE CALOR	Orientação do edifício favorável Vegetação para direcionar o vento e controlar o ganho solar Resfriamento evaporativo Massa térmica Materiais que minimizem o ganho de calor Sombreamento nas aberturas

FONTE: Adaptado de United Nations Environment Programme (2021).

Em regiões propensas à seca, como em áreas áridas e semiáridas, a consideração de elementos como cisternas para o armazenamento de água durante períodos de escassez e plantas resistentes à seca com menor demanda de irrigação desempenha um papel fundamental na adaptação ao clima local (United Nations Environment Programme., 2021).

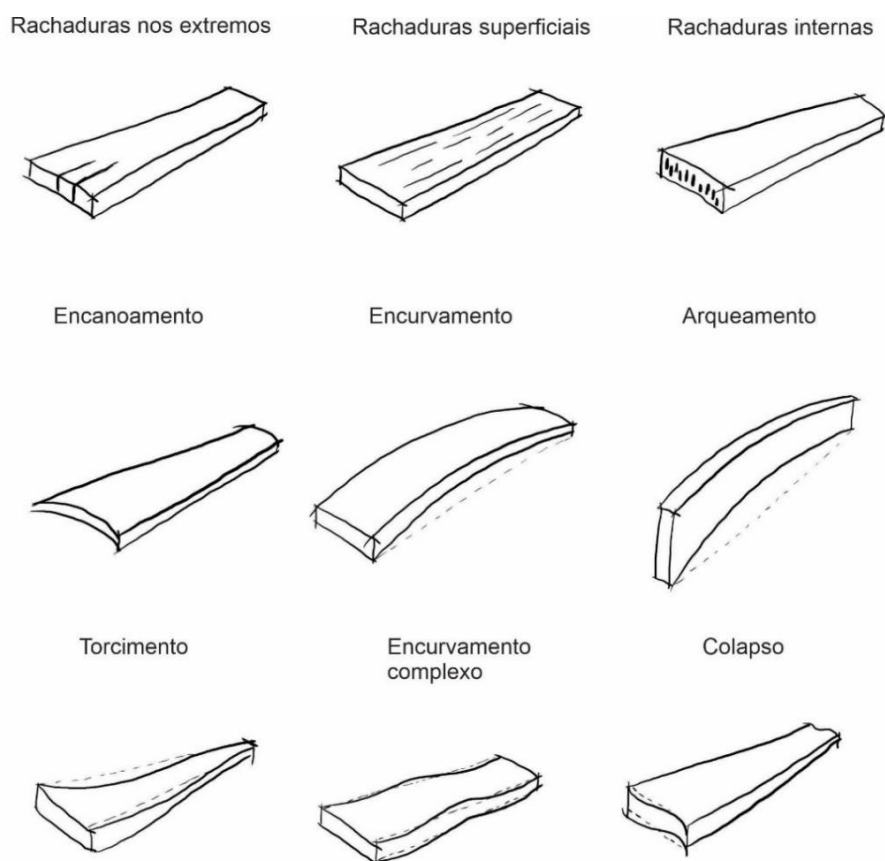
A orientação do edifício também é crucial por influenciar a entrada de calor solar, afetando diretamente o conforto térmico interno. Estratégias como sombreamento das aberturas e resfriamento evaporativo ajudam a minimizar o ganho de calor excessivo e a reduzir a necessidade de sistemas de refrigeração convencionais, promovendo assim uma eficiência energética e econômica. A utilização de massa térmica, como materiais de alta densidade, auxilia na estabilização de temperatura interna, atenuando picos de calor diurnos e mantendo temperaturas mais amenas durante a noite (United Nations Environment Programme, 2021).

### 2.4.3 Robustez

A robustez se refere à capacidade dos materiais de resistir aos eventos disruptivos (Villa, Oliveira, 2021; Fujita e Takewaki, 2012; Bothara, Ingham, Dizhur 2022; Takewaki, 2013; Yenidogan, 2021), bem como a danos causados pelo uso prolongado, desgaste e envelhecimento (United Nations Environment Programme, 2021).

A durabilidade da madeira diz respeito à sua capacidade de resistir aos agentes de degradação biológica e ambiental, com condições favoráveis de temperatura média entre 24 °C e 35 °C e máxima de 45 °C e umidade relativa maior que 85%. Além disso, a falta de cuidado nos processos de secagem natural ou artificial pode ocasionar defeito nas peças causando empenamento, torcimento, rachadura e colapso (Figura 2-15) (Ino e Shimbo, 2024).

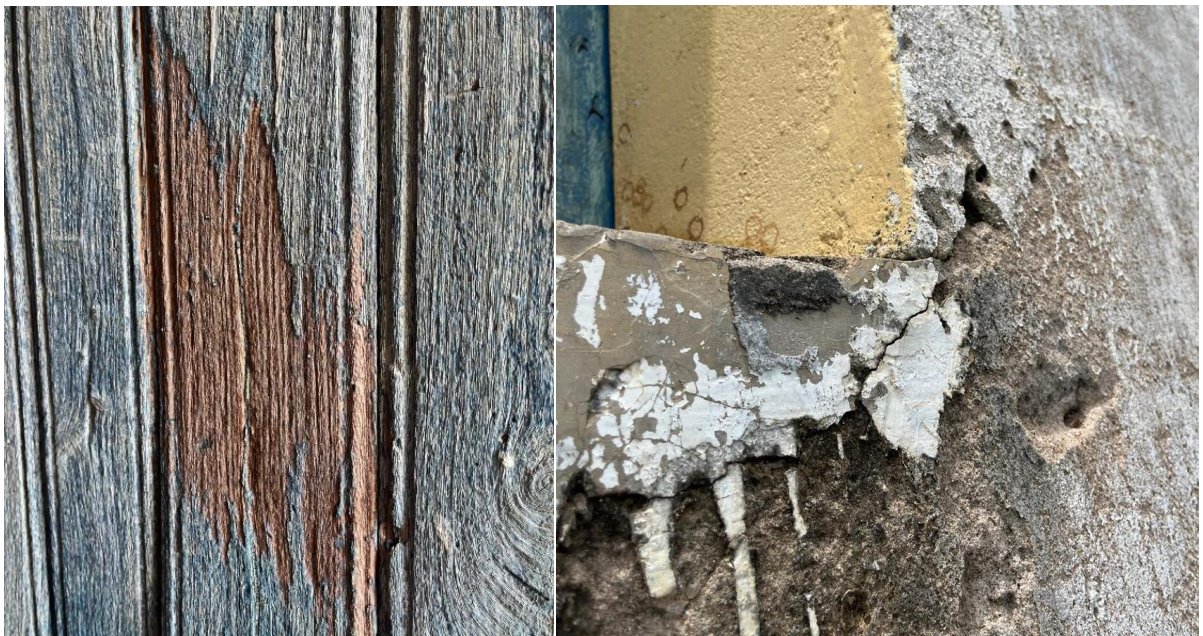
Figura 2-15- Defeitos detectáveis na madeira



FONTE: Adaptado de Ino e Shimbo (2024).

Além das patologias detectáveis na madeira, as patologias associadas a alvenaria (Figura 2-16) podem ser definidas como qualquer modificação que não beneficie as superfícies, ocasionada por agentes bióticos ou não. As condições de classificação e forma como as patologias são encontradas em detrimento da biodeterioração e umidade podem ser observadas no Quadro 2-5. A umidade, quando combinada com a temperatura, afeta o surgimento de problemas patológicos e cerca de 53% das causas desses problemas estão relacionadas a elas (Moresco et al., 2015).

Figura 2-16- Manifestações de patologias em madeira (a) e alvenaria (b)



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Quadro 2-5- Patologias de biodeterioração e umidade em fachadas de alvenaria argamassada

BIODETERIORAÇÃO	
CLASSIFICAÇÃO	CONDIÇÃO
Física	Os microorganismos alteram a superfície do material, mas não o utilizam como fonte de alimento;
Estética	A presença de microrganismos causa a deterioração e formam uma camada escura na superfície;
Química assimilatória	A superfície é fonte de alimento dos microorganismos e interfere nas propriedades do material;
Química dissimilatória	A excreção dos microrganismos como material ácido decompõem os minerais da superfície.
UMIDADE	
FORMA	CONDIÇÃO
Umidade da construção	A umidade da construção pode dar origem a manifestações patológicas causando manchas;
Umidade de precipitação	A chuva acompanhada do vento podem incidir diretamente nas fachadas e causar manchas de umidade;
Umidade de condensação	Os fenômenos de condensação propiciam o desenvolvimento de bolor e microrganismos quando a umidade relativa é superior a 75%;
Umidade do terreno	As anomalias patológicas surgem quando a estrutura entra em contato com a água do solo. Ao alcançar as paredes e se evaporar, a água causa a cristalização dos sais presentes no solo e nos materiais de construção, que então se depositam ali.

FONTE: Adaptado de Moresco et al. (2015).

Um dos agentes geradores de patologias nos materiais é o intemperismo<sup>4</sup>. Os raios ultravioletas e infravermelhos contribuem para reações físicas e química na estrutura dos materiais ocasionando expansões volumétricas seguidas de retração, decaimento da resistência mecânica do material, mudança de cor e alteração de propriedades físicas (Moresco et al., 2015).

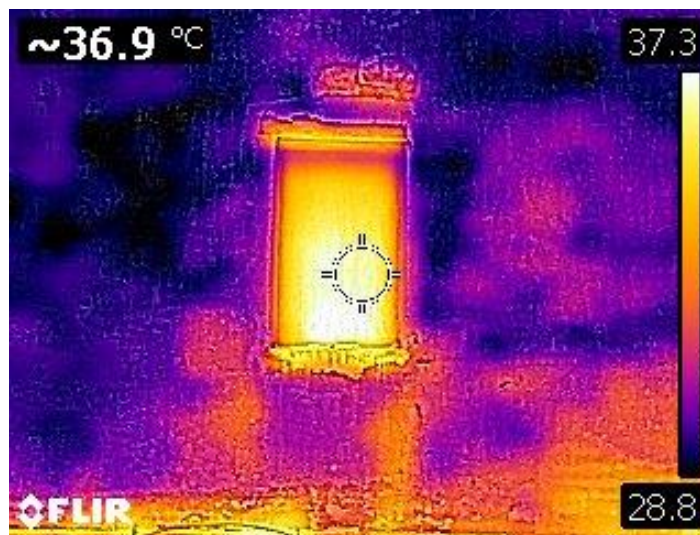
A detecção dessas alterações pode ser feita por meio de testes laboratoriais, observação direta, e termografia infravermelha (Juliani, 2019; Lucenas; Bauer; Pavón,

---

<sup>4</sup> Fenômeno natural que provoca desgaste ou decomposição. Pode ser químico, físico ou biológico.

2021; Moresco et al., 2015; Oliveira, 2013). O termograma é uma técnica não destrutiva usada para detectar falhas estruturais ou defeitos ocultos como trincas e umidade (Figura 2-17), podendo ser empregado para observação do estado de materiais diversos, como madeira, alvenaria, pedra e concreto. Por esse método, os defeitos internos são detectados através de variações de temperatura na superfície, dessa forma, as características térmicas são influenciadas por diversos fatores como propriedades dos materiais e microclima (Moresco et al., 2015; Martínez e Martínez, 2022).

Figura 2-17- Termograma de fachada de alvenaria argamassada com esquadria de madeira



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O microclima pode influenciar a confiabilidade dos termogramas, uma vez que a umidade tem o efeito de dissipar o calor na superfície, pode obscurecer as variações de temperatura e ventos fortes podem aumentar a transferência de calor, portanto, inspeções externas devem ser evitadas quando houver muita presença de vento e umidade. Fontes de calor, como o sol ou um meio artificial, também podem influenciar as medições de temperatura da superfície, por isso, a assertividade nas imagens se torna melhor quando tirada nas primeiras horas da manhã ou à noite. Além desses fatores, a influência do ângulo de visão na captura de imagens termográficas também é levada em consideração, pois imagens retiradas com a câmera posicionada perpendicularmente à fachada apresenta melhores resultados (Moresco et al., 2015).

#### 2.4.4 Recuperação

Após os eventos disruptivos, a recuperação de habitações vernaculares enfrenta desafios significativos, como os danos causados pela falta de umidade e a deterioração

dos materiais de construção em períodos de seca (United Nations Environment Programme, 2021). O saber cultural construtivo auxilia na escolha de materiais adequados, especialmente na etapa de resistência, o que, conseqüentemente, diminui a ocorrência de patologias e desgastes da robustez, além de facilitar a fase de recuperação e manutenção. Esse procedimento ajuda a minimizar o impacto ambiental da recuperação (Correia, Dipasquale, Mecca, 2014), uma vez que ao se utilizar recursos disponíveis na região, como pedras, argilas e madeiras nativas, não apenas reduz as emissões de carbono associadas ao transporte, mas também promove a economia local (United Nations Environment Programme, 2021).

Por fim, é importante considerar a facilidade de manutenção dos materiais escolhidos. Habitações vernaculares frequentemente empregam técnicas construtivas tradicionais que podem ser facilmente reparadas e mantidas pelos moradores locais, sem a necessidade de habilidades técnicas especializadas ou materiais complexos (Correia, Dipasquale, Mecca, 2014; United Nations Environment Programme, 2021). Essa abordagem não só contribui para a preservação do patrimônio arquitetônico e cultural, mas também promove a resiliência das comunidades frente aos desafios ambientais (United Nations Environment Programme, 2021).

### 3 MÉTODO

O método da pesquisa consiste em um estudo de caso em habitações vernaculares do semiárido do Rio Grande do Norte, selecionadas com base em critérios previamente estabelecidos com base nos estudos de Diniz (2008), Feijó (2014) e Borges (2015), no que diz respeito a tipologias espaciais e construtivas e explorando a articulação de seus componentes de envoltória com a resiliência. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica para embasar teoricamente a pesquisa, analisando conceitos-chave relacionados à arquitetura vernacular do semiárido e resiliência. Em seguida, foram selecionados os locais de pesquisa e estudos de caso, levando em consideração critérios de representatividade.

A coleta de dados foi realizada por meio de visitas *in loco* até as edificações, buscando compreender a interação entre elas e o ambiente, utilizando uma ficha de campo localizada no apêndice B. Além da ficha, Imagens termográficas, absortância, registros fotográficos e observação direta são outros itens de coleta. Por fim, os dados foram analisados e destacados os padrões de resiliência das habitações investigadas (Figura 3-1).

Figura 3-1- Método de pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

### 3.1 Seleção dos locais de pesquisa e edificações representativas

O recorte espacial da pesquisa é delimitado pelo semiárido, restrito ao estado do Rio Grande do Norte devido à distância geográfica e possibilidade de locomoção até as habitações. A seleção dos municípios se deu pela representatividade dos seus exemplares, pela revisão de literatura e por meio de articulações do grupo de pesquisa intitulado “Territórios resilientes: processos de formação da paisagem, da arquitetura e da cidade no Semiárido”. A partir desses princípios, foram selecionados os municípios de Currais Novos e Acari (Figura 3-2).

Figura 3-2- Delimitação do local de estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os critérios de seleção para as características representativas das edificações foram fundamentados nas contribuições de Diniz (2008), Feijó (2014) e Borges (2015), seguindo tipologias espaciais e construtivas predominantes (Quadro 3-1). Foram analisadas características de 33 habitações para chegar até as características representativas (Apêndice A).

Essas características se referem a elementos formais e construtivos, que remontam as edificações vernaculares do semiárido. Para a seleção das edificações considerou o maior número das características apresentadas. Além disso, o estado de conservação e viabilidade de acesso as edificações somadas a preservação das características arquitetônicas originais também foi um critério utilizado, uma vez que possibilita a análise

da contribuição destas para a responsividade e resiliência dos materiais provenientes das construções vernaculares no semiárido.

Quadro 3-1- Características das edificações vernaculares para seleção de representatividade

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO
Implantação e forma	<p><b>Implantação:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Os pré-requisitos são a acessibilidade de água potável, boa visibilidade e fácil acesso à edificação.</li> <li>•A fachada principal deve estar preferencialmente voltada para a nascente;</li> <li>•Isoladas dentro do lote.</li> </ul> <p><b>Forma:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Distribuição ramificada, se reformadas; ou compactas, se originais.</li> <li>•Distribuição: Alpendre, fachada principal, sala de visita, corredor, sala de jantar, cozinha, 2 a 5 quartos, despensa, sótão e paiol.</li> </ul>
Ambientes	<p><b>Alpendre:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Localizado no prolongamento da cobertura, acompanhando toda a fachada principal ou em formato de “L”;</li> <li>•Aberto em três dos quatro lados;</li> <li>•Apoia-se na parede da fachada principal em pilares de madeira ou alvenaria;</li> <li>•Único ambiente semi-aberto.</li> </ul> <p><b>Sala:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•O primeiro ambiente fechado da casa, geralmente acompanha o comprimento do alpendre e se interliga aos outros cômodos através do corredor.</li> </ul> <p><b>Quartos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Situados entre a sala de visita e a sala de jantar;</li> <li>•Encontram-se, geralmente, nas imediações da cumeeira, o que garante que esses ambientes possuam pé direito mais alto.</li> <li>•Na inexistência de sótão na habitação, esse pé direito pode chegar a 8,0 m de altura;</li> <li>•Em alguns casos não há janelas ou aberturas, constituindo a alcova.</li> </ul>
Variáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Em alguns casos não há janelas ou aberturas, constituindo a alcova.</li> </ul>
Piso	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Composto de pedra no alpendre e piso de tijoleira ou ladrilho de barro no interior da casa.</li> </ul>
Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Predominantemente em duas águas, com beirais para fachada principal e para os fundos.</li> <li>•Beirais com pé direito reduzido (aproximadamente 2,0 m), cumeeira alta (aproximadamente 8,0 m) e telhado com elevada inclinação, denominado “telhado de arrasto”;</li> <li>•Madeiras utilizadas: Aroeira, angico, braúna, craibeira, brejuí, pereiro e gachumbo (Feijó, 2014).</li> <li>•Telhas cerâmicas espessas que apresentam alta inércia térmica e dimensões maiores que as usadas atualmente, variando em torno de 60 cm de comprimento, 20 cm de largura na sua parte mais larga, 16 cm na sua parte mais estreita, 09cm de altura em seu ponto mais alto, enquanto sua espessura mede 1,5 cm;</li> <li>•Forro quase inexistente.</li> </ul>
Paredes	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Compostas de tijolo maciço e apresentam espessuras que variam de 30 a 60 cm.</li> </ul>
Esquadrias	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Janelas predominantemente localizadas nas laterais;</li> <li>•Madeiras utilizadas: Cedro, cumaru, craibeira e umburana;</li> <li>•Vãos das portas e janelas medem aproximadamente 1,0 m de largura e tem como elemento de vedação uma folha cega, inteira ou dividida em duas bandas. As folhas têm de 2,0 cm a 2,5 cm de espessura, com distintas larguras, tendo as laterais frisadas;</li> <li>•Vergas retas ou de arco abatido.</li> </ul>

### 3.2 Procedimentos metodológicos para análise de resiliência das edificações vernaculares

A análise de resiliência da envoltória seguiu a delimitação de Attia et al., (2021) (Figura 3-3) e foi analisada seguindo os critérios da figura 3-4 estabelecidos através da revisão de literatura e dividida em seus quatro estágios propostos por Attia et al., (2021): Vulnerabilidade, resistência, robustez e recuperação.

Figura 3-3- Delimitação de resiliência



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Figura 3-4- Critérios de análise da resiliência



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

### 3.2.1 Vulnerabilidade

Com o propósito de examinar a suscetibilidade às condições de seca, realizou-se uma revisão da literatura para determinar as incidências de secas desde a construção das edificações. Para adquirir os dados climáticos da área em questão, utilizou-se o software Climate Consultant 6.0. Dado que os municípios estudados não contam com uma estação meteorológica, recorreu-se ao arquivo climático do tipo EPW, obtido da base de dados do INMET do município de Caicó, por ser o mais próximo em termos de latitude e longitude, com coordenadas geográficas -6,4675 de Latitude e -37,085 de Longitude, recebe a nomenclatura de Estação A316. Essas informações são fundamentais para identificar elementos climáticos que influenciam na discussão das fases de resiliência, tais como umidade e radiação. Como as edificações estão inseridas em localizações próximas, e em um mesmo contexto de seca, os resultados de vulnerabilidade serão em comum para todas elas.

### 3.2.2 Resistência

Para avaliar a resistência, foram adotados procedimentos metodológicos relacionados à responsividade tanto da edificação quanto do entorno. Foram analisadas a transmitância e a absorptância dos principais materiais utilizados na envoltória, como alvenaria com tijolos de barro e madeira. Além do cálculo de carbono armazenado nos elementos de madeira utilizados na envoltória.

#### a) Responsividade

Os critérios de responsividade das diretrizes bioclimáticas seguiram a metodologia de Borges (2015) fundamentada na NBR 15.220-3 (2005). Para cada habitação foram registradas estratégias passivas implementadas, abrangendo tanto as técnicas de resfriamento passivo, bem como as estratégias destinadas ao controle do microclima externo distribuída em duas categorias:

Quanto as estratégias da edificação:

- Massa térmica das paredes externas;
- Massa térmica da cobertura;
- Altura do vão;
- Paredes externas de cores claras;
- Permeabilidade aos ventos;

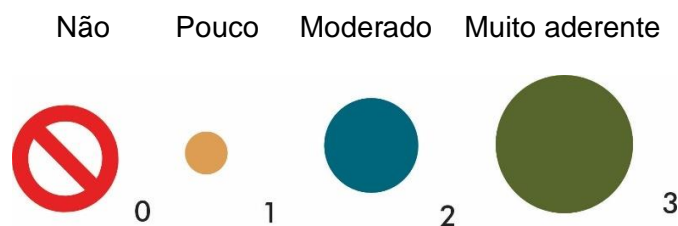
- Exposição ao sol da tarde (oeste);
- Permeabilidade da cobertura;
- Sombreamento das paredes externas;
- Superfícies externas de cores claras;
- Tamanho e localização das aberturas.

Quanto a implantação da edificação:

- Orientação da edificação de modo a ter baixa exposição a radiação solar nas fachadas mais longas;
- Recobrimento vegetal do entorno imediato;
- Resfriamento evaporativo.

As estratégias a nível da edificação serão aplicadas para cada cômodo separadamente, enquanto as estratégias de implantação serão aplicadas de forma geral. Cada categoria é avaliada em uma escala (Figura 3-5) de 0 a 3 de acordo com o nível de aderência à estratégia (não, pouco, moderado ou muito aderente).

Figura 3-5- Escala de avaliação de responsividade



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Para a análise de resistência dos materiais e técnicas construtivas adaptadas ao ambiente, primeiro foi realizada a caracterização da envoltória, que envolve o levantamento de fotografias, anotações e croquis das habitações investigadas utilizando a ficha do apêndice B. A caracterização da envoltória é constituída pela descrição de medidas, materiais e sistemas construtivos, e fatores que culminam na sua resistência como a transmitância térmica. Para verificação da porcentagem de abertura da fachada, é feito o cálculo de relação entre a área do piso e tamanho das aberturas e como parâmetro de análise utilizou-se os critérios da NBR 15.220-3 (2005) para a zona bioclimática 7.

## b) Transmitância

A metodologia para calcular a transmitância térmica dos elementos de envoltória foi importada da norma NBR 15.220-3 (2005), através das equações 1 e 2. A memória de cálculo da transmitância está inserida no apêndice C.

$$U = \frac{1}{R} \quad \text{Equação (1)}$$

$$R = \frac{E}{\lambda} \quad \text{Equação (2)}$$

U é a transmitância térmica (W/ m<sup>2</sup>.K)

R é a resistência térmica (m<sup>2</sup>.K/W)

E é a espessura do material (m)

λ é a condutividade térmica do material (W/m.K)

Passo a passo para o cálculo:

1- Identificação de todas as camadas que compõe o elemento de envoltória a ser calculado, como tijolos, isolamento térmico e reboco.

2- Para cada camada identificada, determinar as propriedades térmicas dos materiais utilizados, como condutividade térmica e espessura.

3- Com base nas propriedades dos materiais e na espessura de cada camada, é calculada a resistência térmica de cada uma delas. Isso é feito dividindo a espessura da camada pela condutividade térmica do material, como demonstrado na segunda equação. A soma das resistências é a resistência térmica total das camadas.

4- Para o cálculo da transmitância térmica (U) é utilizada a primeira equação para encontrá-la.

5- O valor obtido é comparado com o valor da transmitância térmica especificada na NBR 15.220-3 (2005).

### c) Absortância

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) incorpora métodos regulamentados para a medição de refletância, a fim de chegar à absortância através de cálculos. Para tanto, são normatizados os equipamentos Espectrofotômetro, Refletômetro Solar e Piranômetro. Estes equipamentos apresentam custos elevados e demandam conhecimentos técnicos especializados para seu manuseio (Donald Pereira et al., 2015). Em consequência, é comum que os valores de absortância e refletância solar sejam obtidos apenas a partir das cores dos materiais, utilizando tabelas de normas ou referências na literatura. Contudo, essa abordagem pode resultar em incertezas nos dados. Uma alternativa encontrada é o espectrômetro Alta II (Figura 3-7) (Donald Pereira et al., 2015), que realiza medições em onze comprimentos de onda diferentes, variando de 470 nm a 940 nm. Semelhante ao espectrofotômetro, o Alta II fornece os valores de refletância espectral da amostra em cada comprimento de onda, considerando uma energia constante ao longo do espectro avaliado.

O procedimento básico para a utilização do Alta II, de acordo com Donald Pereira et al. (2015), envolveu três etapas: primeiramente, foi posicionado o equipamento sobre a amostra de referência para registrar a voltagem de fundo, seguido das medições para todos os comprimentos de onda em um fundo branco. Em seguida, foram realizadas as medições nas amostras em análise, registrando as voltagens para cada comprimento de onda em três medições sequenciais. Por fim, o cálculo da absortância foi feito através de uma tabela eletrônica do excel, após preencher todos esses dados.

Figura 3-6- Espectrômetro Alta II

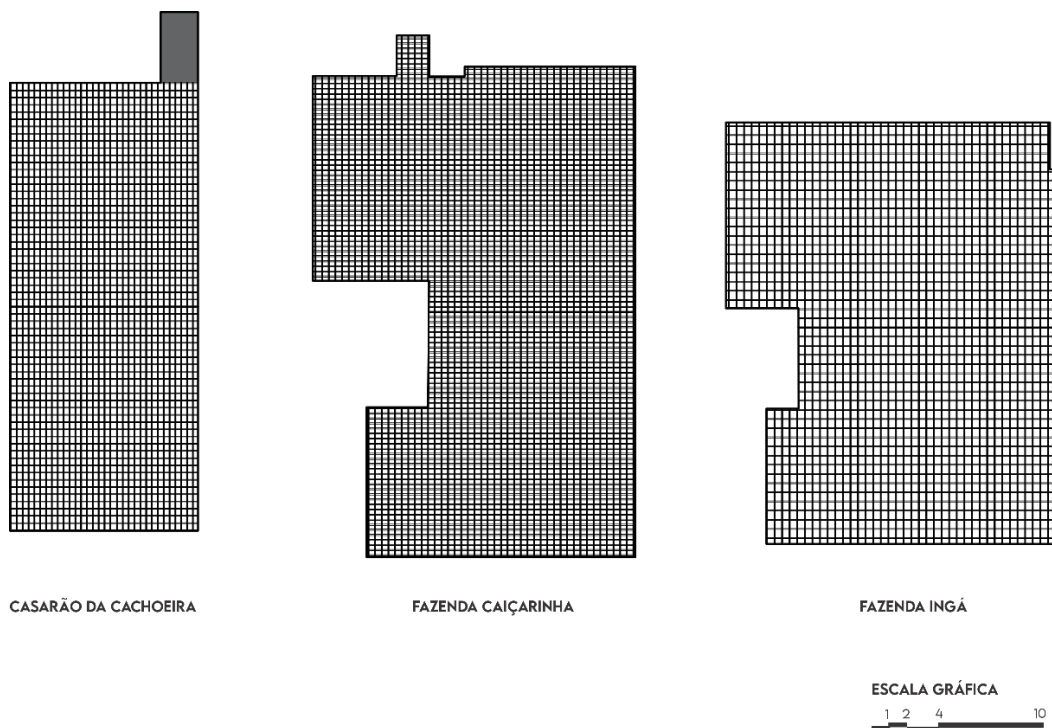


FONTE: Elaborado pela autora (2024)

#### d) Carbono estocado

Através do levantamento de medidas *in loco* da edificação, quantidade e arranjo dos elementos de madeira que compõe o telhado e as esquadrias, foi feito o cálculo de volume de cada espécie utilizada, tanto para as esquadrias quanto para a cobertura e calculado separadamente a quantidade de carbono estocado nesses elementos. Para elementos menores e que possuem maior repetição como a estrutura do telhado formada por caibros e ripas, foram feitos desenhos no software AutoCAD 2023 (Figura 3-8), para delimitar a quantidade desses elementos, de acordo com as medidas de cada um e intervalo de espaço entre eles, possibilitando o cálculo de volume desses elementos.

Figura 3-7- Desenho da projeção das ripas e caibros para cálculo de volume das madeiras



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Com o volume calculado, a quantidade de carbono estocado na madeira (mC) cujo valor pode ser obtido a partir da massa da madeira (mW), da constante de carbono concentrado (CC) a um valor padrão de 0,47 (IPCC, 2006) e considerando as massas molares de 44 g por mol para dióxido de carbono (MCD) e 12 g por mol para carbono (MC) (Araújo, 2020). A quantidade de dióxido de carbono estocado é expressa em quilogramas

de dióxido de carbono por metro quadrado de área construída da habitação, ou seja, kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, conforme a Equação 3:

$$mC = mW \times CC \times (MDC/MC) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde,

mC: Carbono estocado na madeira;

mW: Massa da madeira através do volume x densidade;

CC: Constante de carbono;

MDC: Mol de dióxido de carbono;

MC: Mol de carbono.

As espécies utilizadas como elementos construtivos das habitações investigadas e suas respectivas densidades básicas utilizadas no cálculo estão descritas na tabela 3-1.

Tabela 3-1- Densidade básica das espécies de madeira

MADEIRAS	DENSIDADE (Kg/m <sup>3</sup> )
Aroeira ( <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão)	740
Cumarú ( <i>Amburana cearenses</i> )	586
Pereiro ( <i>Aspidosperma pyrifolium</i> )	634
Braúna ( <i>Schinopsis brasiliensis</i> )	1.230

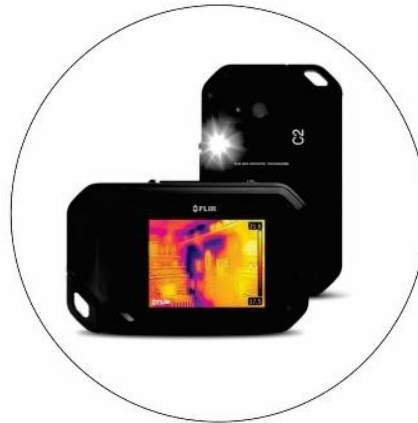
FONTE: Adaptado de Souza (2025).

### 3.2.3 Robustez

Foram realizadas análises das características de conservação dos materiais de envoltória por meio de observação direta e termografia infravermelha. Os resultados da observação são apresentados em forma de diagramas incluindo a planta baixa e imagens dos detalhes construtivos dos componentes da envoltória correspondentes. Para a termografia infravermelha, adotou-se a metodologia proposta por Moresco et al. (2015) e Martínez e Martínez (2022). Essa técnica não destrutiva permite a detecção de falhas

estruturais e defeitos ocultos, como trincas e umidade, além de possibilitar a avaliação do estado dos materiais. Para tal é utilizada a câmera termográfica do modelo Flir C2 (Figura 3-9), com faixa de temperatura operacional de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$  e sensibilidade térmica inferior a  $0,10^{\circ}\text{C}$ . O sensor infravermelho possui uma resolução de  $80 \times 60$  pixels e o modelo de imagem inclui termal, visual e MSX (FLIR, 2022).

Figura 3-8- Câmera termográfica do modelo Flir C2



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Fatores climáticos podem influenciar na confiabilidade dos termogramas, como a alta umidade, ventos fortes e grande presença de luminosidade. Para obter esses dados referentes ao dia das medições de campo, foram utilizadas medições realizadas na Estação Climatológica localizada no município de Caicó, com coordenadas geográficas -  $6,4675$  de Latitude e  $-37,085$  de Longitude, denominada Estação A316 e seus dados são fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024).

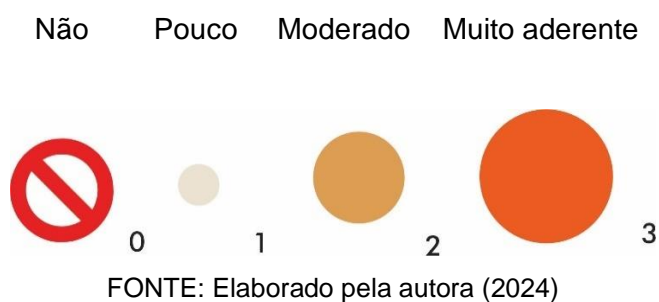
O horário de coleta das imagens termográficas deve ser preferencialmente nas primeiras horas da manhã, ou à noite, a fim de evitar uma maior presença de luminosidade e com a câmera posicionada perpendicularmente à fachada Moresco et al., (2015). Em casos em que não foi possível a captura perpendicular a fachada por algum obstáculo, as imagens foram feitas com uma leve angulação. Para interpretação dos termogramas são utilizados os critérios de Ino e Shimbo (2024) para as patologias em madeira e os critérios de Moresco et al., (2015) para a deterioração de fachadas de alvenaria argamassada.

Os resultados são apresentados em tabelas, constando dos termogramas junto as imagens com a identificação, indicação do local onde dos registros, manifestação patológica, período do dia que foi retirada a imagem, incidência de sol e dados das variáveis climáticas de velocidade dos ventos e umidade relativa.

### 3.2.4 Recuperação

A fase de recuperação será analisada em forma de tabela de acordo com as três categorias: Deterioração dos materiais de construção provenientes da robustez, utilização de materiais locais e manutenção (Correia, Dipasquale e Mecca, 2014); (United Nations Environment Programme., 2021). Cada categoria é avaliada em uma escala (Figura 3-10) de 0 a 3 de acordo com o nível de aderência (não, pouco, moderado ou muito aderente). E dividida para elemento da envoltória: Esquadrias, piso, cobertura, paredes e fundação.

Figura 3-9- Escala de avaliação de recuperação



## 4 RESULTADOS

Os resultados foram obtidos a partir dos estudos de caso realizados em três habitações na região do Seridó Potiguar. Eles serão apresentados da seguinte forma: inicialmente, serão descritas as características representativas das habitações investigadas, seguidas da análise da vulnerabilidade, com um panorama geral da seca como evento disruptivo e suas ocorrências desde a construção desses exemplares. Por fim, serão abordadas as etapas relacionadas às etapas de resiliência das habitações.

### 4.1 Habitações selecionadas para estudo de caso

Construído em 1889, o Casarão da Cachoeira (Figura 4-1), está localizado no município de Currais Novos/RN, à 172 km da capital do estado (Figura 4-2). Atualmente, apresenta 41.330 mil habitantes de acordo com o censo do IBGE de 2022 e possui uma área de aproximadamente 864,34 km<sup>2</sup>, latitude 6°15'39" Sul e longitude 36°31'04" Oeste.

Figura 4-1- Casarão da Cachoeira



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Figura 4-2- Localização do Casarão da Cachoeira



FONTE: Adaptado do google maps (2024)

Das 25 características representativas, o Casarão da Cachoeira apresenta 21 (Tabela 4-1). No que diz respeito à implantação e forma, o único critério não atendido foi a orientação da fachada principal, que não está voltada para a nascente. Em relação ao ambiente, há a presença de sótão, e o pé-direito atinge 6,0 metros. Quanto às variáveis, a alcova não existe, e o piso foi reformado, sendo substituído por cimento queimado.

Tabela 4-1- Características representativas Casarão da Cachoeira

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO	
Implantação e forma	<p><b>Implantação:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Os pré-requisitos são a acessibilidade de água potável, boa visibilidade e fácil acesso à edificação;</li> <li>•A fachada principal deve estar preferencialmente voltada para a nascente;</li> <li>•Isoladas dentro do lote.</li> </ul> <p><b>Forma:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Distribuição ramificada, se reformadas; ou compactas, se originais.</li> </ul> <p><b>Ambientes:</b> Alpendre, sala de visita, corredor, sala de jantar, cozinha, 2 a 5 quartos, despensa, sótão e paiol.</p>	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Ambientes	<p><b>Alpendre:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Localizado no prolongamento da cobertura, acompanhando toda a fachada principal ou em formato de “L”;</li> <li>•Aberto em três dos quatro lados;</li> <li>•Apoia-se na parede da fachada principal em pilares de madeira ou alvenaria;</li> <li>•Único ambiente semi-aberto.</li> </ul> <p><b>Sala:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•O primeiro ambiente fechado da casa, geralmente acompanha o comprimento do alpendre e se interliga aos outros cômodos através do corredor.</li> </ul> <p><b>Quartos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Situados entre a sala de visita e a sala de jantar;</li> <li>•Encontram-se, geralmente, nas imediações da cumeeira, o que garante que esses ambientes possuam pé direito mais alto;</li> <li>•Na inexistência de sótão na habitação, esse pé direito pode chegar a 8,0 m de altura;</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/>
Variáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Em alguns casos não há janelas ou aberturas, constituindo a alcova.</li> </ul>	<input type="radio"/>
Piso	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Composto de pedra no alpendre e piso de tijoleira ou ladrilho de barro no interior da casa.</li> </ul>	<input type="radio"/>
Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Predominantemente em duas águas, com beirais para fachada principal e para os fundos;</li> <li>•Beirais com pé direito reduzido (aproximadamente 2,0 m), cumeeira alta (aproximadamente 8,0 m) e telhado com elevada inclinação, denominado “telhado de arrasto”;</li> <li>•Madeiras utilizadas: Aroeira, angico, braúna, craibeira, brejuí, pereiro e gachumbo;</li> <li>•Telhas cerâmicas espessas que apresentam alta inércia térmica e dimensões maiores que as usadas atualmente, variando em torno de 60 cm de comprimento, 20 cm de largura na sua parte mais larga, 16 cm na sua parte mais estreita, 09cm de altura em seu ponto mais alto, enquanto sua espessura mede 1,5 cm;</li> <li>•Ferro quase inexistente.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Paredes	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Compostas de tijolo maciço e apresentam espessuras que variam de 30 a 60 cm.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/>
Esquadrias	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Janelas predominantemente localizadas nas laterais;</li> <li>•Madeiras utilizadas: Cedro, cumaru, craibeira e umburana;</li> <li>•Vãos das portas e janelas medem aproximadamente 1,0 m de largura e tem como elemento de vedação uma folha cega, inteira ou dividida em duas bandas. As folhas têm de 2,0 cm a 2,5 cm de espessura, com distintas larguras, tendo as laterais frisadas;</li> <li>•Vergas retas ou de arco abatido.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>

Presença da característica     Ausência da característica

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A Fazenda Caiçarina (Figura 4-3), construída em 1856, está localizada no município de Acari/RN, à 214 km da capital do estado (Figura 4-4). Atualmente, apresenta 10.597 mil habitantes de acordo com o censo do IBGE de 2022 e possui uma área de aproximadamente 608,466 km<sup>2</sup>, latitude 6°16'19' Sul e longitude 36°32'14" Oeste.

Figura 4-3- Fazenda Caiçarina



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Figura 4-4- Localização da Fazenda Caiçarina



Fazenda Caiçarina

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Das 25 características representativas, a fazenda Caiçarina apresenta 21 (Tabela 4-2). A habitação possui as mesmas características que o Casarão da Cachoeira.

Tabela 4-2- Características representativas Fazenda Caiçarina

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO	
Implantação e forma	<p><b>Implantação:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Os pré-requisitos são a acessibilidade de água potável, boa visibilidade e fácil acesso à edificação;</li> <li>•A fachada principal deve estar preferencialmente voltada para a nascente;</li> <li>•Isoladas dentro do lote.</li> </ul> <p><b>Forma:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Distribuição ramificada, se reformadas; ou compactas, se originais.</li> </ul> <p><b>Ambientes:</b> Alpendre, sala de visita, corredor, sala de jantar, cozinha, 2 a 5 quartos, despensa, sótão e paiol.</p>	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Ambientes	<p><b>Alpendre:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Localizado no prolongamento da cobertura, acompanhando toda a fachada principal ou em formato de "L";</li> <li>•Aberto em três dos quatro lados;</li> <li>•Apoia-se na parede da fachada principal em pilares de madeira ou alvenaria;</li> <li>•Único ambiente semi-aberto.</li> </ul> <p><b>Sala:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•O primeiro ambiente fechado da casa, geralmente acompanha o comprimento do alpendre e se interliga aos outros cômodos através do corredor.</li> </ul> <p><b>Quartos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Situados entre a sala de visita e a sala de jantar;</li> <li>•Encontram-se, geralmente, nas imediações da cumeeira, o que garante que esses ambientes possuam pé direito mais alto;</li> <li>•Na inexistência de sótão na habitação, esse pé direito pode chegar a 8,0 m de altura;</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/>
Variáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Em alguns casos não há janelas ou aberturas, constituindo a alcova.</li> </ul>	<input type="radio"/>
Piso	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Composto de pedra no alpendre e piso de tijoleira ou ladrilho de barro no interior da casa.</li> </ul>	<input type="radio"/>
Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Predominantemente em duas águas, com beirais para fachada principal e para os fundos;</li> <li>•Beirais com pé direito reduzido (aproximadamente 2,0 m), cumeeira alta (aproximadamente 8,0 m) e telhado com elevada inclinação, denominado "telhado de arrasto";</li> <li>•Madeiras utilizadas: Aroeira, angico, braúna, craibeira, brejuí, pereiro e gachumbo;</li> <li>•Telhas cerâmicas espessas que apresentam alta inércia térmica e dimensões maiores que as usadas atualmente, variando em torno de 60 cm de comprimento, 20 cm de largura na sua parte mais larga, 16 cm na sua parte mais estreita, 09cm de altura em seu ponto mais alto, enquanto sua espessura mede 1,5 cm;</li> <li>•Forro quase inexistente.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Paredes	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Compostas de tijolo maciço e apresentam espessuras que variam de 30 a 60 cm.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/>
Esquadrias	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Janelas predominantemente localizadas nas laterais;</li> <li>•Madeiras utilizadas: Cedro, cumaru, craibeira e umburana;</li> <li>•Vãos das portas e janelas medem aproximadamente 1,0 m de largura e tem como elemento de vedação uma folha cega, inteira ou dividida em duas bandas. As folhas têm de 2,0 cm a 2,5 cm de espessura, com distintas larguras, tendo as laterais frisadas;</li> <li>•Vergas retas ou de arco abatido.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>

Presença da característica     Ausência da característica

Construída no ano de 1820, a fazenda Ingá (Figura 4-5), está localizada no município de Acari/RN à 214 km da capital do estado (Figura 4-6). Atualmente, apresenta 10.597 mil habitantes de acordo com o censo do IBGE de 2022 e possui uma área de aproximadamente 608,466 km<sup>2</sup>, latitude 6°28'43' Sul e longitude 36°37'40" Oeste.

Figura 4-5- Fazenda Ingá



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Figura 4-6- Localização da Fazenda Ingá



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Das 25 características representativas, a fazenda Ingá apresenta 24 (Tabela 4-3). A única característica não atendida é presença de alcova.

Tabela 4-3- Características representativas Fazenda Ingá

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO	
Implantação e forma	<p><b>Implantação:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Os pré-requisitos são a acessibilidade de água potável, boa visibilidade e fácil acesso à edificação;</li> <li>•A fachada principal deve estar preferencialmente voltada para a nascente;</li> <li>•Isoladas dentro do lote.</li> </ul> <p><b>Forma:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Distribuição ramificada, se reformadas; ou compactas, se originais.</li> </ul> <p><b>Ambientes:</b> Alpendre, sala de visita, corredor, sala de jantar, cozinha, 2 a 5 quartos, despensa, sótão e paiol.</p>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Ambientes	<p><b>Alpendre:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Localizado no prolongamento da cobertura, acompanhando toda a fachada principal ou em formato de “L”;</li> <li>•Aberto em três dos quatro lados;</li> <li>•Apoia-se na parede da fachada principal em pilares de madeira ou alvenaria;</li> <li>•Único ambiente semi-aberto.</li> </ul> <p><b>Sala:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•O primeiro ambiente fechado da casa, geralmente acompanha o comprimento do alpendre e se interliga aos outros cômodos através do corredor.</li> </ul> <p><b>Quartos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Situados entre a sala de visita e a sala de jantar;</li> <li>•Encontram-se, geralmente, nas imediações da cumeeira, o que garante que esses ambientes possuam pé direito mais alto;</li> <li>•Na inexistência de sótão na habitação, esse pé direito pode chegar a 8,0 m de altura;</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Variáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Em alguns casos não há janelas ou aberturas, constituindo a alcova.</li> </ul>	<input type="radio"/>
Piso	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Composto de pedra no alpendre e piso de tijoleira ou ladrilho de barro no interior da casa.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/>
Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Predominantemente em duas águas, com beirais para fachada principal e para os fundos;</li> <li>•Beirais com pé direito reduzido (aproximadamente 2,0 m), cumeeira alta (aproximadamente 8,0 m) e telhado com elevada inclinação, denominado “telhado de arrasto”;</li> <li>•Madeiras utilizadas: Aroeira, angico, braúna, craibeira, brejuí, pereiro e gachumbo;</li> <li>•Telhas cerâmicas espessas que apresentam alta inércia térmica e dimensões maiores que as usadas atualmente, variando em torno de 60 cm de comprimento, 20 cm de largura na sua parte mais larga, 16 cm na sua parte mais estreita, 09cm de altura em seu ponto mais alto, enquanto sua espessura mede 1,5 cm;</li> <li>•Forro quase inexistente.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Paredes	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Compostas de tijolo maciço e apresentam espessuras que variam de 30 a 60 cm.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/>
Esquadrias	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Janelas predominantemente localizadas nas laterais;</li> <li>•Madeiras utilizadas: Cedro, cumaru, craibeira e umburana;</li> <li>•Vãos das portas e janelas medem aproximadamente 1,0 m de largura e tem como elemento de vedação uma folha cega, inteira ou dividida em duas bandas. As folhas têm de 2,0 cm a 2,5 cm de espessura, com distintas larguras, tendo as laterais frisadas;</li> <li>•Vergas retas ou de arco abatido.</li> </ul>	<input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>

Presença da característica  Ausência da característica

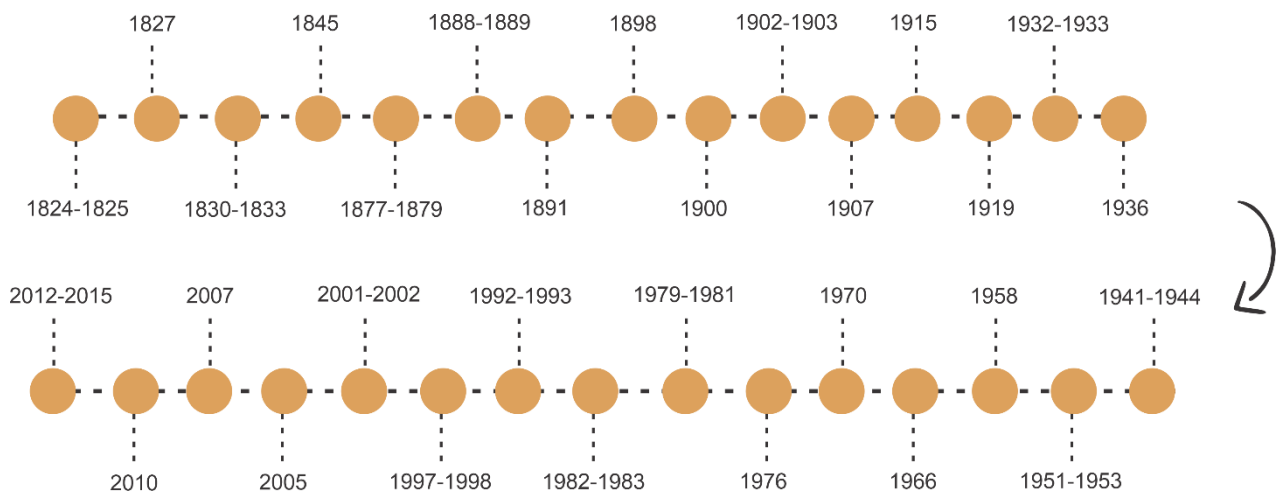
FONTE: Elaborado pela autora (2024)

#### 4.1.1 Vulnerabilidade

Nesta seção, será analisada a vulnerabilidade das três habitações vernaculares selecionadas como estudo de caso no semiárido. Considerando sua proximidade geográfica e a exposição a períodos de seca recorrentes, os resultados apresentados refletem características comuns entre as edificações, permitindo uma avaliação integrada dos desafios enfrentados por essas construções na região.

O evento disruptivo (Attia *et al.*, 2021) abordado nesta pesquisa como vulnerabilidade, refere-se à ocorrência de secas. No semiárido brasileiro, como demonstra a figura 4-7 há recorrências de períodos de secas, e conseqüente, períodos de vulnerabilidade no qual as edificações foram expostas desde o início do Século XIX, quando a habitação mais antiga estudada, a fazenda Ingá foi construída, no ano de 1820.

Figura 4-7- Linha do tempo dos episódios de secas do semiárido brasileiro no século XIX a partir da construção da primeira habitação estudada



FONTE: Adaptado de Marengo et al. (2016).

Esses períodos de seca exercem um impacto nas edificações do semiárido devido às condições climáticas extremas que caracterizam essa região. As construções vernaculares, muitas vezes adaptadas ao ambiente árido, ainda assim enfrentam desafios durante esses períodos prolongados de escassez de chuva. Os principais impactos são referentes às estruturas e a degradação devido a falta de umidade. A escassez de água é uma preocupação crítica tanto para o consumo como para atividades agrícolas impactando a subsistência e recursos financeiros que pode dificultar também a manutenção e reparo das edificações, além do impacto no conforto térmico interno.

O Casarão da Cachoeira, construído em 1889, durante um período de seca, enfrentou um total de 25 ocorrências. A Fazenda Caiçarina, datada de 1856, resistiu a 26 ocorrências de seca. A Fazenda Ingá, construída em 1820, é a mais antiga das habitações investigadas e, por conseguinte, a que enfrentou o maior número de ocorrências, totalizando 30.

Conforme dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) relativos à estação climática de Caicó (Tabela 4-4), a região é caracterizada por uma intensa radiação solar, com maior incidência de radiação global horizontal nos meses de fevereiro, outubro, novembro e dezembro. A temperatura do ar varia de 25 °C a 29 °C, sendo mais elevada nos meses de janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro. A umidade relativa oscila entre 47% e 79%, sendo mais alta nos meses de março, abril e maio, período de maior concentração de chuvas, e mais baixa nos meses de outubro, novembro e dezembro. Os ventos apresentam velocidade variando de 1 m/s a 4 m/s, predominantemente na direção sudeste, sendo os meses mais críticos em termos de ventilação março, abril e maio, durante o período chuvoso. A temperatura do solo é mais crítica nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro. Com base na síntese dos dados climáticos, os meses com maior tendência crítica são outubro, novembro, dezembro e fevereiro.

Tabela 4-4- Resumo dos dados climáticos

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Radiação global horizontal	539	561	507	476	457	417	420	492	531	557	573	544
Temperatura de bulbo seco	29	29	27	26	26	25	25	27	28	29	29	29
Umidade relativa	54	55	72	79	76	66	61	55	51	48	47	48
Direção dos ventos	100	90	100	100	110	120	110	110	100	100	90	90
Velocidade dos ventos	3	2	1	1	1	2	3	3	4	4	3	3
Temperatura do solo	28	28	28	27	26	26	25	26	26	27	27	28

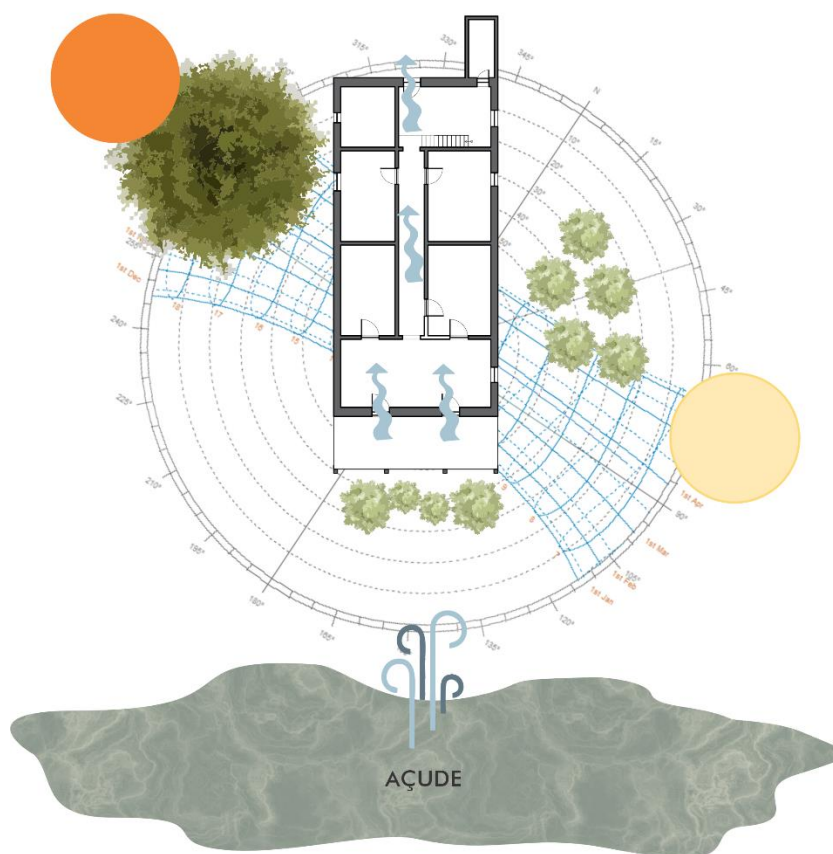
FONTE: Adaptado do software climate consultant 6.0, 2024.

## 4.2 Casarão da Cachoeira

### 4.2.1 Resistência

Sua implantação está em terreno predominantemente plano, a orientação da fachada principal voltada para direção sudeste, direção dos ventos dominantes e área com maior permeabilidade da casa, devido ao alpendre e as duas portas. O açude, também localizado na direção sudeste, na mesma direção dos ventos predominantes, o que contribui com o resfriamento evaporativo. Em períodos de seca, quando com pouca água, o açude chega a 500 m de distância da edificação e quando cheio chega a 100 m (Figura 4-8).

Figura 4-8- Implantação do Casarão da Cachoeira



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

O entorno possui uma área arborizada, com árvores nativas de médio porte. No terreno, o entorno imediato depois da casa, existem plantações de feijão e hortaliças que auxiliam na diminuição de ganho térmico por radiação no entorno.

O Quadro 4-1 apresenta um resumo das estratégias de design responsivo identificadas no Casarão da Cachoeira. Cada espaço é avaliado em uma escala de 0 a 3 de acordo com o nível de aderência à estratégia (não, pouco, moderado ou muito aderente).

Quadro 4-1- Responsividade do casarão da cachoeira

	SALA DE JANTAR E ESTAR	CORREDOR SOB SÓTÃO	SÓTÃO	QUARTOS	ALPENDRE	COZINHA
MASSA TÉRMICA DAS PAREDES EXTERNAS (R1)	3	3	3	3	0	3
MASSA TÉRMICA DA COBERTURA (R2)	2	3	2	2	2	2
ALTURA DO VÃO (R3)	3	1	1	3	2	2
PAREDES EXTERNAS DE CORES CLARAS (R4)	3	0	0	3	2	3
PERMEABILIDADE AOS VENTOS (R5)	3	3	3	3	3	3
EXPOSIÇÃO AO SOL DA TARDE (OESTE) (R6)	3	0	1	2	3	2
PERMEABILIDADE DA COBERTURA (R7)	3	0	3	3	3	3
SOMBREAMENTO DAS PAREDES EXTERNAS (R8)	3	0	0	2	0	0
TAMANHO E LOCALIZAÇÃO DAS ABERTURAS (R9)	3	2	1	2	3	3
ORIENTAÇÃO (R10)	3					
FORMA (R11)	3					
ENTORNO						
PRESENÇA DE ÁGUA (R12)	3					
PRESENÇA DE VEGETAÇÃO (R13)	3					

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Conforme indicado no Quadro 4-1, os ambientes com menor aderência às estratégias bioclimáticas recomendadas é o corredor sob sótão, sótão e alpendre. O corredor sob o sótão é vedado nas laterais pelas paredes dos quartos e aberturas para circulação no seu início e fim, além de possuir forro de madeira aroeira, correspondente ao piso do sótão localizado acima do corredor, o que torna seu pé direito baixo. O sótão, tem quase sua totalidade envolvida pelas paredes dos quartos, exceto por uma pequena abertura para a sala, e o pé direito baixo são os principais fatores que comprometem o desempenho desse ambiente. Quanto ao alpendre desempenha um papel crucial na sombra dos demais espaços, porém, fica exposto à radiação solar direta devido à falta de vedação.

O casarão possui planta compacta de formato retangular, o que favorece na redução de ganho de calor solar. Todas as faces externas das paredes são brancas e pintadas de cal, exceto no alpendre, que é pintado em cor de rosa. O arranjo do espaço (Figura 4-9) se dá primeiro pelo alpendre, ambiente semiaberto, está localizado na direção sudeste e acompanha toda a fachada frontal, possui três lados parcialmente abertos, limitados apenas pelo peitoril e pilares e uma única parede fechada que é compartilhada com a sala de estar e jantar. Logo após, o corredor, com o menor pé direito da habitação devido ao sótão, que acompanha toda sua extensão, é o único ambiente que possui forro, feito de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e Braúna (*Schinopsis brasiliensis*), delimitado pelo piso do sótão. Ligados ao corredor, estão os quatro quartos, mas, apenas um tem entrada exclusiva pela sala de estar e jantar. Após o corredor, fica a cozinha, dividida em dois ambientes e o banheiro, adicionado em uma reforma.

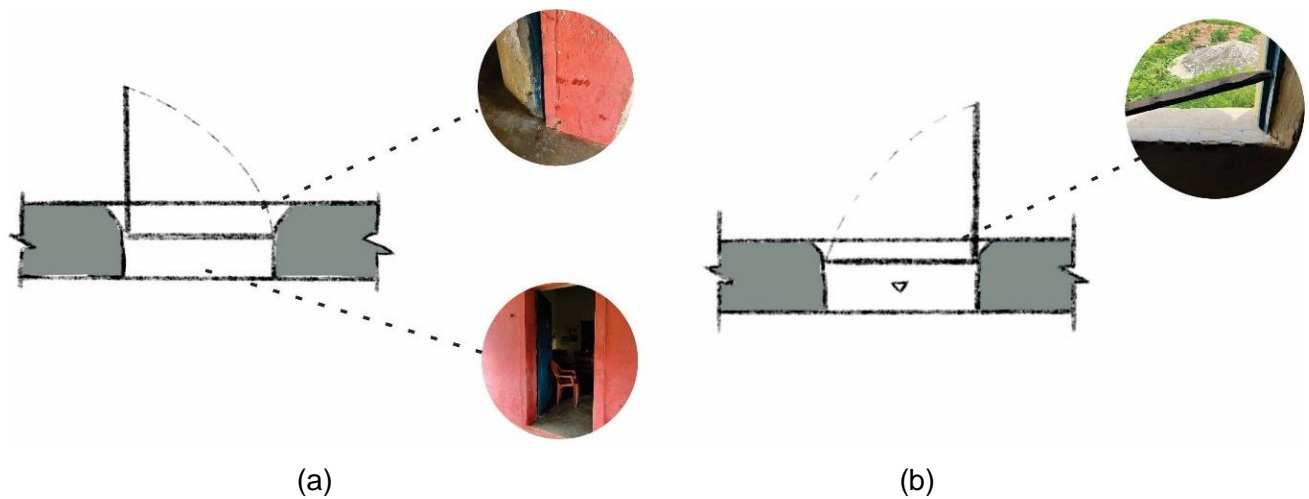
Figura 4-9- Planta baixa e arranjo do espaço: Casarão da Cachoeira



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

As paredes externas possuem espessura de aproximadamente 53 cm e são compostas por tijolos de barro com duas fiadas, popularmente conhecido como “parede dobrada” e possui alta massa térmica (Figura 4-10). Já as internas possuem cerca de 21 cm. Logo após o detalhe da caixa de porta, ambas possuem um chanfro na alvenaria que varia de 10 a 20 cm. O peitoril da janela, é acabado com cimento queimado e apresenta uma inclinação para a face externa, o que permite o escoamento de água pluvial.

Figura 4-10- Paredes externas com (a) porta e (b) janela

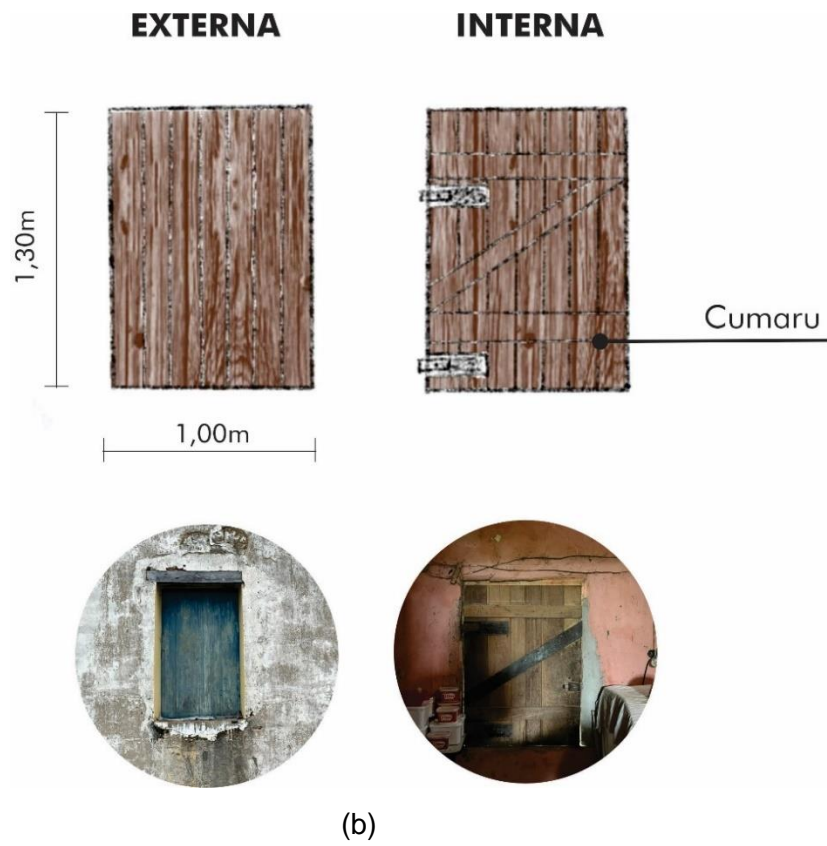
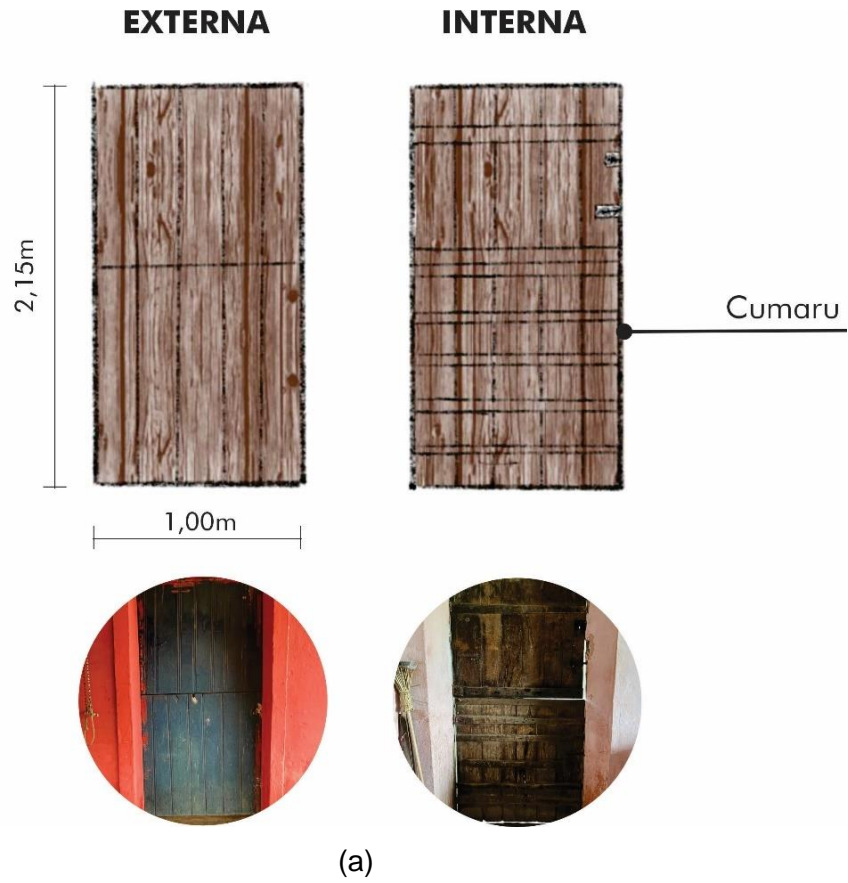


(b) FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Para chegar até o valor da transmitância térmica ( $U$ ) da parede, foram feitos os cálculos de resistência térmica do tijolo, e argamassa do interior e exterior que foi igual a  $0,914 \text{ K.m}^2/\text{W}$ , logo, a transmitância térmica é de  $1,09 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ . A memória de cálculo se encontra no apêndice C. Comparado ao padrão indicado na NBR 15.220-3 (2005) para a zona bioclimática 7, as paredes pesadas indicadas são aquelas com  $U \leq 2,20$ , logo, as paredes de envoltória externa respondem a norma. A absorvância da parede ficou em  $0,65\alpha$ , acima do valor de  $0,20\alpha$  sugerido para paredes brancas na norma NBR 15.220-3 (2005). Possivelmente pela deterioração da pintura e presença de vários pontos mais escuros.

As esquadrias, feitas de madeira, possuem massa térmica inferior se comparada as paredes e ocupam uma pequena porção da fachada. A habitação possui 3 portas externas, 2 para fachada principal e 1 para a cozinha. Das 5 janelas, 3 estão na direção nordeste e 2 na direção sudoeste. As portas têm em média  $1,00 \text{ m (L)} \times 2,15 \text{ m (A)}$  e as janelas, possuem em média  $1,00 \text{ m (L)} \times 1,30 \text{ m (A)}$  (Figura 4-11). Ambas são feitas de madeira Cumaru (*Amburana cearenses*), madeira de densidade aparente pesada, retratibilidade elevada e têm cerca de  $2,50 \text{ cm}$  de espessura e pintadas externamente na cor azul escuro. A absorvância das esquadrias ficou em  $0,86\alpha$ , valor sugerido entre as cores vermelho  $0,74 \alpha$  e o preto  $0,97 \alpha$ .

Figura 4-11- Vista das portas (a) e janelas (b)



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

De acordo com a norma NBR 15.220-3 (2005), a área correspondente às aberturas para a zona bioclimática 7 devem ser pequenas e ficar entre 10% a 15% da área do piso. Nenhum ambiente cumpre essa margem requisitada (Tabela 4-5). Os ambientes com maior porcentagem de abertura são a sala e a cozinha, ambientes de maior tempo de permanência. Os quartos, ambientes com menor tempo de permanência, possuem pouco mais da metade do valor mínimo.

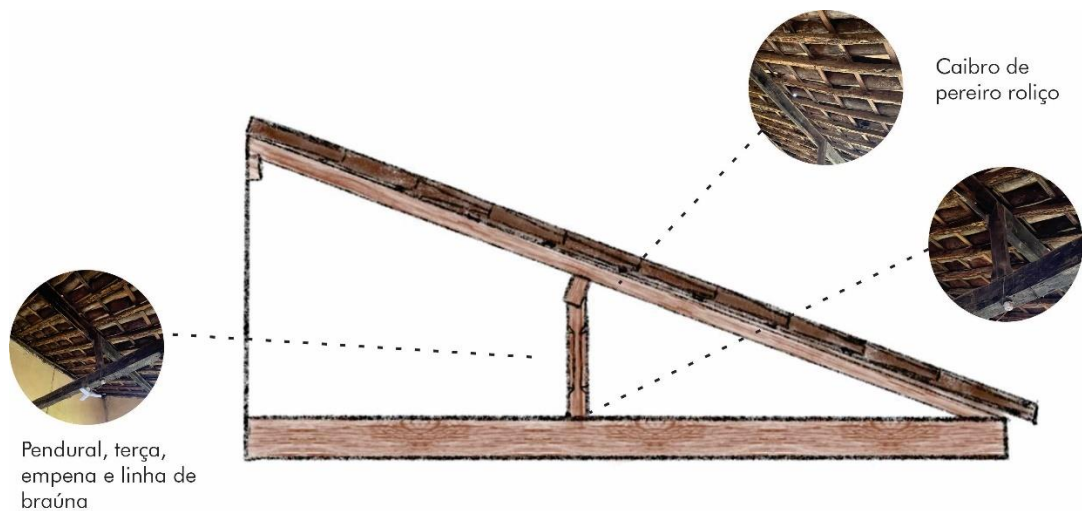
Tabela 4-5- Porcentagem de aberturas: casarão da cachoeira

AMBIENTE	ÁREA DO PISO	ÁREA DA ABERTURA	TOTAL DA PORCENTAGEM
Sala	35,32 m <sup>2</sup>	5,89 m <sup>2</sup>	16,68 %
Cozinha	19,25 m <sup>2</sup>	4,11 m <sup>2</sup>	21,35 %
Quarto 03	17,01 m <sup>2</sup>	1,11 m <sup>2</sup>	6,53 %
Quarto 04	19,67 m <sup>2</sup>	1,03 m <sup>2</sup>	5,24 %

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A cobertura é caracterizada como “telhado de arrasto” formada por duas águas e grande inclinação. As águas são direcionadas para fachada frontal e fachada posterior. Os ambientes com menor pé direito são o alpendre e a cozinha com 2,00 m, e o maior fica nos quartos, localizados nas imediações da cumeeira, medindo 6,00 m. Constituída de telhas cerâmicas espessas, com aproximadamente 50 cm de comprimento, porém, é possível perceber a presença de frestas nas junções das telhas, provavelmente uma consequência da ação do tempo. Todo o madeiramento do telhado é feito de Braúna (*Schinopsis brasiliensis*), com exceção dos caibros, que são feitos de pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) roliço, classificadas como madeiras semipesadas e pesadas (Figura 4-12).

Figura 4-12- Estrutura da cobertura: Casarão da Cachoeira



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Levando em consideração a transmitância térmica de coberturas estabelecida na NBR 15.220-3 (2005), uma cobertura com telha de barro sem forro possui uma transmitância térmica de  $4,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , o que está distante do parâmetro estabelecido para a zona bioclimática 7, que recomenda uma transmitância térmica menor de  $2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Como se trata de uma telha mais robusta, com 1,5 cm de espessura, a sua equivalência ao dado em norma é de  $3,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , também abaixo do estabelecido.

O cálculo de carbono estocado no madeiramento das esquadrias e cobertura (Apêndice D) leva em consideração o volume de cada elemento utilizado, densidade da espécie, além das constantes utilizadas na equação. As esquadrias de Cumaru (*Amburana cearenses*) possuem um volume de  $0,30 \text{ m}^3$ , as linhas, brabos e pontaletes da cobertura, feitos de Braúna (*Schinopsis brasiliensis*) totalizam  $0,86 \text{ m}^3$  e os caibros e ripas de Pereiro (*Aspidosperma pyriformium*) apresentam um volume de  $1,84 \text{ m}^3$ . Através dos cálculos, foi possível chegar ao volume de carbono estocado nesses elementos (Tabela 4-6).

Tabela 4-6- Carbono estocado nas esquadrias e cobertura do Casarão da Cachoeira

	CARBONO ESTOCADO
ESQUADRIAS Cumaru ( <i>Amburana cearenses</i> )	302,96 KgCO <sub>2</sub>
COBERTURA Braúna ( <i>Schinopsis brasiliensis</i> )	1.815,88 KgCO <sub>2</sub>
COBERTURA Pereiro ( <i>Aspidosperma pyriformium</i> )	2.008,56 KgCO <sub>2</sub>
TOTAL	4.126,52 KgCO <sub>2</sub>

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Um total de 4.126,52 KgCO<sub>2</sub> foi absorvido e estocado nos elementos de madeira que compõem o casarão da cachoeira.

#### 4.2.2 Robustez

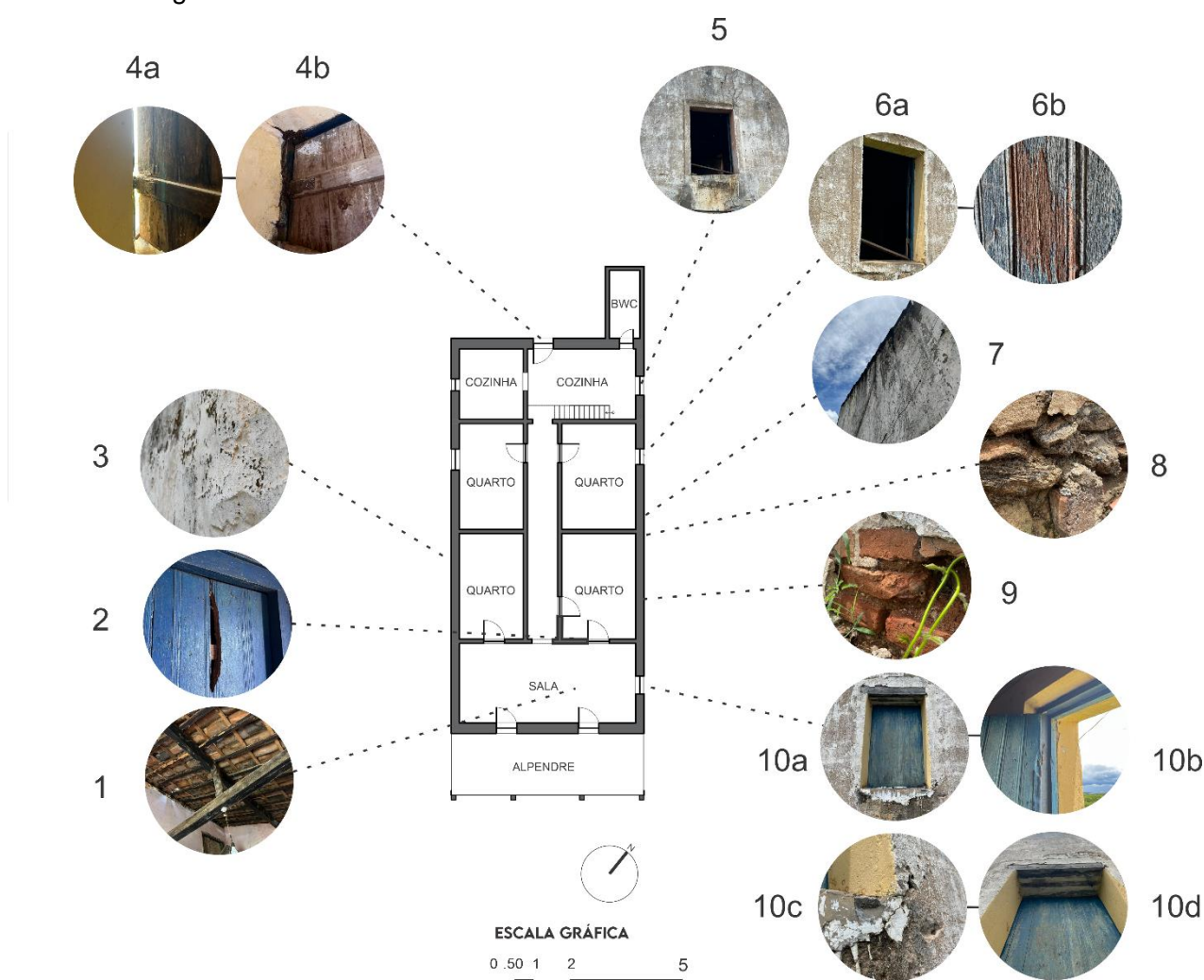
Os materiais empregados na construção evidenciam a adaptação às condições climáticas locais. Em termos de durabilidade, materiais como o barro e a madeira podem oferecer uma longa vida útil, reduzindo a necessidade de substituição e manutenção ao longo do tempo, como é o caso desta edificação com 135 anos de idade e baixa frequência de intervenções de manutenção, apenas uma reforma para troca de piso e anexo de um banheiro. A Figura 4-13 consiste em um diagrama formado pela planta baixa e fotografias dos elementos de envoltória como demonstração visual da robustez.

A imagem 1 da figura 4-13, mostra o madeiramento do telhado e as telhas, exibindo algumas marcas de desgaste como rachaduras superficiais das madeiras. Na imagem 2, observa-se uma rachadura na porta interna de um dos quartos, mas, não aparenta ser de um processo de ação do tempo. As figuras 6b, 10a e 10b, apresentam desgaste na coloração e exposição da madeira devido à alta incidência de radiação solar, por consequência também apresentam rachaduras superficiais ou nas extremidades. Nas imagens 3, 5, 6a e 7, evidenciam-se manchas de umidade de precipitação das paredes e algumas fissuras. A lateral direita, mais exposta às intempéries, exhibe manchas escuras causadas pela umidade de precipitação, como evidenciado na cumeeira da imagem 7. A esquadria na imagem 10c, demonstra o peitoril com uma leve inclinação para fora,

permitindo que a água pluvial escorra, mas, pela ausência de pingadeira, a água tem muito contato com a alvenaria, causando manchas de umidade. Em comparação, a verga de madeira e alvenaria na imagem 10d está conservada.

As imagens 4a e 4b apresentam o estado de uma esquadria interna não pintada, localizada no sentido noroeste, junto ao início de fissuras na alvenaria delimitada pela lateral esquerda e verga da porta, causadas, possivelmente, pela distensão e retração dos materiais após a perda de umidade. As imagens 8 e 9 apresentam a fundação de pedra preta dura e a alvenaria de tijolos de barro aparentes, ambos com manchas por umidade do terreno e fissuras.

Figura 4-13- Resiliência dos materiais construtivos: Casarão da Cachoeira



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A Tabela 4-7 apresenta os dados referentes ao horário e o período do dia em que ocorreu a aferição dos termogramas, assim como os dados de incidência solar,

temperatura na superfície, velocidade do vento, umidade relativa do ar e manifestações patológicas.

Tabela 4-7- Organização de dados das variáveis climáticas, horário da realização dos termogramas e manifestação patológica: Casarão da Cachoeira

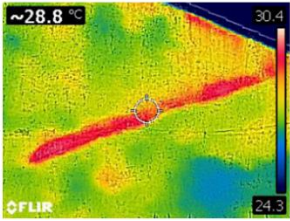

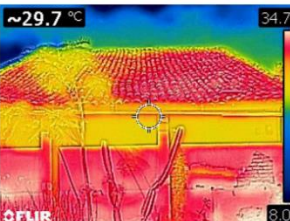

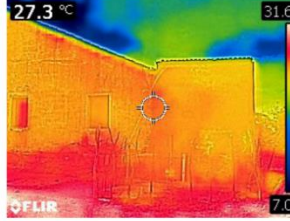



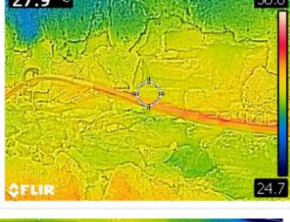

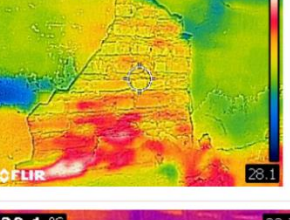

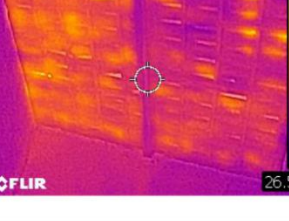

ID. DA FIGURA	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	INCIDÊNCIA DE SOL	PERÍODO DO DIA M T N	T (°C) NA SUPERFÍCIE	VELOCIDADE DO VENTO	UMIDADE RELATIVA DO AR
1	Manchas por umidade de precipitação e fissuras	Não	X	28,8 °C	2,1 m/s <sup>2</sup>	64%
2	Fissuras	Sim	X	29,7 °C	2,1 m/s <sup>2</sup>	64%
3	Manchas por umidade de precipitação	Sim	X	26,5 °C	2,1 m/s <sup>2</sup>	64%
4	Manchas por umidade e fissuras	Sim	X	27,9 °C	2,1 m/s <sup>2</sup>	64%
5	Manchas por umidade do terreno e fissuras	Sim	X	27,9 °C	2,1 m/s <sup>2</sup>	64%
6	Manchas por umidade do terreno e fissuras	Sim	X	35,0 °C	2,1 m/s <sup>2</sup>	64%
7	Manchas por umidade de precipitação	Sim	X	29,1 °C	2,1 m/s <sup>2</sup>	64%

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A partir das imagens termográficas (Quadro 4-2) foi possível detectar fissuras, umidade e biodeterioração. Nos termogramas a parte central da área com fissuras foi possível constatar maior temperatura em relação aos outros pontos, na cor amarelo bem claro. Isso pode ser explicado pela dificuldade de o calor fluir para a parede durante o aquecimento da superfície, o que aumenta a temperatura onde há a presença da manifestação patológica. As áreas com menores temperaturas, mostradas em roxo, coincidem com áreas sem manifestações. Lugares com biodeterioração têm temperatura alta, que é indicada pela cor amarela, devido ao calor gerado pelos microrganismos, como na parede da imagem 3, mas outros locais também apresentam a coloração amarela devido à alta emissividade do material. A diferença de temperatura e radiação emitida pela superfície permite detectar áreas com fissuras, biodeterioração e manchas de umidade. A comparação entre imagens visíveis e infravermelhas mostra que onde há problemas identificados pela termografia, também há problemas vistos com a inspeção visual.

O vento não influenciou a aquisição dos termogramas, pois sua velocidade era baixa no dia da aquisição. O ângulo de captura dos termogramas foi perpendicular ao alvo, quando não existia alguma barreira física que impedisse o acesso. Já a umidade no dia estava alta, o que pode ter influenciado na detecção do sensor.

Quadro 4-2- Termogramas do Casarão da Cachoeira

LOCAL	ID. DA IMAGEM	IMAGEM	
FACHADA LATERAL ESQUERDA	1		
FACHADA FRONTAL	2		
FACHADA LATERAL DIREITA	3		
ESQUADRIA LATERAL DIREITA	4		
FUNDAÇÃO LATERAL DIREITA	5		
TIJOLOS DE BARRO LATERAL DIREITA	6		
COBERTURA NAS IMEDIAÇÕES DA CUMEEIRA	7		

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

As imagens foram geradas nas primeiras horas da manhã. Como é possível se observar, a cobertura é uma fonte de calor significativa para o interior da edificação, o que é minorado e justifica a adoção de pé direito elevado. Nas fachadas, os locais onde a leitura assinala temperaturas mais elevadas é onde se manifestam as patologias, tal como trincas e perda de reboco.

#### 4.2.3 Recuperação

No Quadro 4-3, foram listados os materiais de construção e suas respectivas categorias de análise para complementar os dados da escala de recuperação.

Quadro 4-3- Materiais construtivos do Casarão da Cachoeira

ESQUADRIAS	PISO	ESTRUTURA DO TELHADO	COBERTURA	PAREDES	FUNDAÇÃO
Madeira: Cumaru	Reformado: cimento queimado	Caibros de pereiro, linhas e brabos de braúna	Telha de cerâmica	Dobrada com tijolo de barro de 35 cm, reboco argamassado e cal	Pedra preta dura
				 	

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

No Quadro 4-4 está determinada a análise em escala de recuperação. A deterioração foi avaliada considerando os resultados obtidos através da robustez. A recuperação é considerada do ponto de vista do seu potencial, de acordo com os materiais disponíveis na região. O piso não foi incluído na análise, pois não é original e foi substituído durante uma reforma. As esquadrias estão em estado intermediário de deterioração. Na escala de análise, receberam a classificação 2 pois a espécie Cumaru (*Amburana cearensis*), madeira utilizada, é encontrada em regiões serranas próximas. A cobertura também está em estado intermediário de deterioração, mas o uso madeira, material sequestrador de carbono e de origem local, assim como as telhas feitas com matéria-prima local, contribuem com a facilidade de manutenção. Da mesma forma, as

paredes foram construídas com barro da região, assim como a cobertura, empregam técnicas tradicionais que podem ser facilmente reparadas e mantidas pelos moradores locais. A fundação apresenta um mínimo estado de deterioração nas partes expostas, sendo feita de pedra preta dura, um recurso disponível no mesmo território.

Quadro 4-4- Escala de recuperação do Casarão da Cachoeira

	ESQUADRIAS	PISO	COBERTURA	PAREDES	FUNDAÇÃO
CONSERVAÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	 2	 0	 1	 2	 2
UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS LOCAIS	 3	 0	 3	 3	 3
MANUTENÇÃO	 1	 0	 1	 3	 3

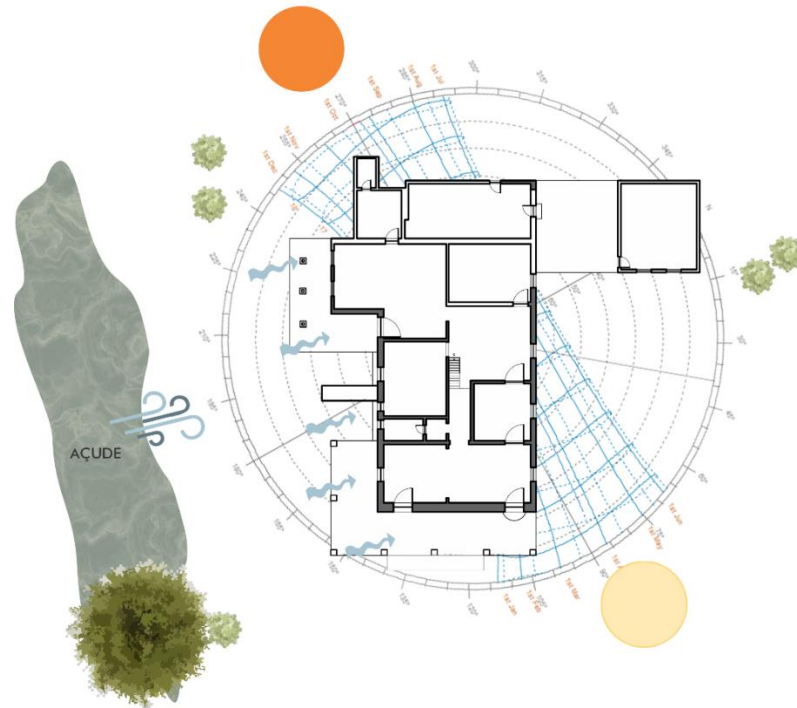
FONTE: Elaborado pela autora (2024)

### 4.3 Fazenda Caiçarina

#### 4.3.1 Resistência

Sua implantação está em terreno predominantemente plano, a orientação da fachada principal voltada para direção sudeste, direção dos ventos dominantes e área com maior permeabilidade da casa, devido ao alpendre e as duas portas. O açude, localizado na direção sudoeste, embora não esteja na direção dos ventos predominantes, contribui com o resfriamento evaporativo (Figura 4-14).

Figura 4-14- Implantação da Fazenda Caiçarinha




















































FONTE: Elaborado pela autora (2024)

O entorno possui uma área arborizada, com espécies nativas de médio porte que auxiliam na diminuição de ganho térmico por radiação no entorno.

Conforme indicado no Quadro 4-5, os ambientes com menor aderência às estratégias bioclimáticas recomendadas são o corredor e o alpendre. O corredor sob o sótão é vedado nas laterais pelas paredes dos quartos e aberturas para circulação no seu início e fim, além de possuir forro de madeira que correspondente ao piso do hall dos quartos, localizado no andar de cima, o que torna seu pé direito mais baixo com relação aos demais cômodos. Quanto ao alpendre desempenha um papel crucial na sombra dos demais espaços, porém, fica exposto à radiação solar direta devido à falta de vedação.

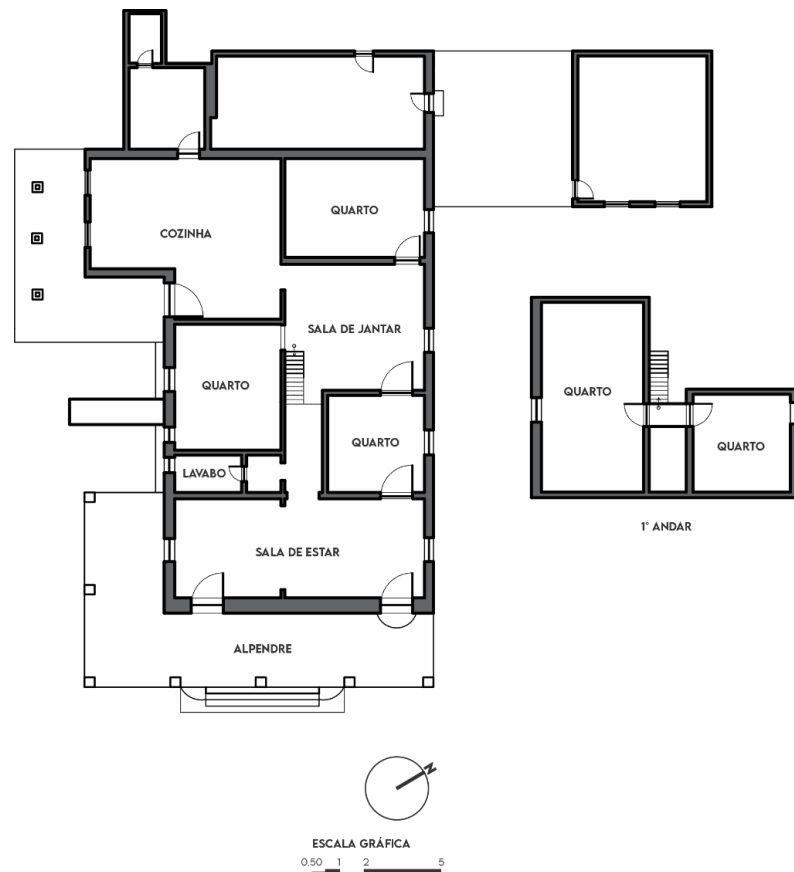
Quadro 4-5- Responsividade Fazenda Caiçarina

	SALA DE JANTAR E ESTAR	CORREDOR	QUARTOS	ALPENDRE	COZINHA
MASSA TÉRMICA DAS PAREDES EXTERNAS (R1)	 3	 0	 3	 0	 3
MASSA TÉRMICA DA COBERTURA (R2)	 2	 3	 2	 2	 2
ALTURA DO VÃO (R3)	 3	 1	 3	 2	 2
PAREDES EXTERNAS DE CORES CLARAS (R4)	 3	 0	 3	 3	 3
PERMEABILIDADE AOS VENTOS (R5)	 2	 0	 1	 3	 1
POUCA EXPOSIÇÃO AO SOL DA TARDE (OESTE) (R6)	 2	 0	 3	 3	 1
PERMEABILIDADE DA COBERTURA (R7)	 3	 0	 3	 3	 3
SOMBREAMENTO DAS PAREDES EXTERNAS (R8)	 3	 0	 0	 0	 0
TAMANHO E LOCALIZAÇÃO DAS ABERTURAS (R9)	 3	 0	 3	 3	 3
ORIENTAÇÃO E FORMA					
ORIENTAÇÃO (R10)	 3				
FORMA (R11)	 3				
ENTORNO					
PRESENÇA DE ÁGUA (R12)	 3				
PRESENÇA DE VEGETAÇÃO (R13)	 3				

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A Fazenda Caiçarina possui planta compacta de formato predominantemente retangular, exceto por adições e subtrações do espaço feitos em reforma. Todas as faces externas das paredes são brancas, exceto as esquadrias que são em tom de marrom e as cercaduras<sup>5</sup> que as envolvem na cor verde. O arranjo do espaço (Figura 4-15) se dá primeiro pelo alpendre, ambiente semiaberto e em formato de L, está localizado na direção sudeste e acompanha toda a fachada frontal e parte da fachada lateral, e suas paredes são compartilhadas com a sala de estar. Logo após, o corredor, com o menor pé direito da habitação devido a sua delimitação com forro de madeira que serve de assoalho e patamar da escada. Ligados ao corredor, estão dois quartos, um lavabo e sala de Jantar. Após o corredor, à esquerda fica a cozinha e a frente outro quarto. O primeiro andar é composto por dois quartos.

Figura 4-15- Planta baixa e arranjo do espaço: Fazenda Caiçarina



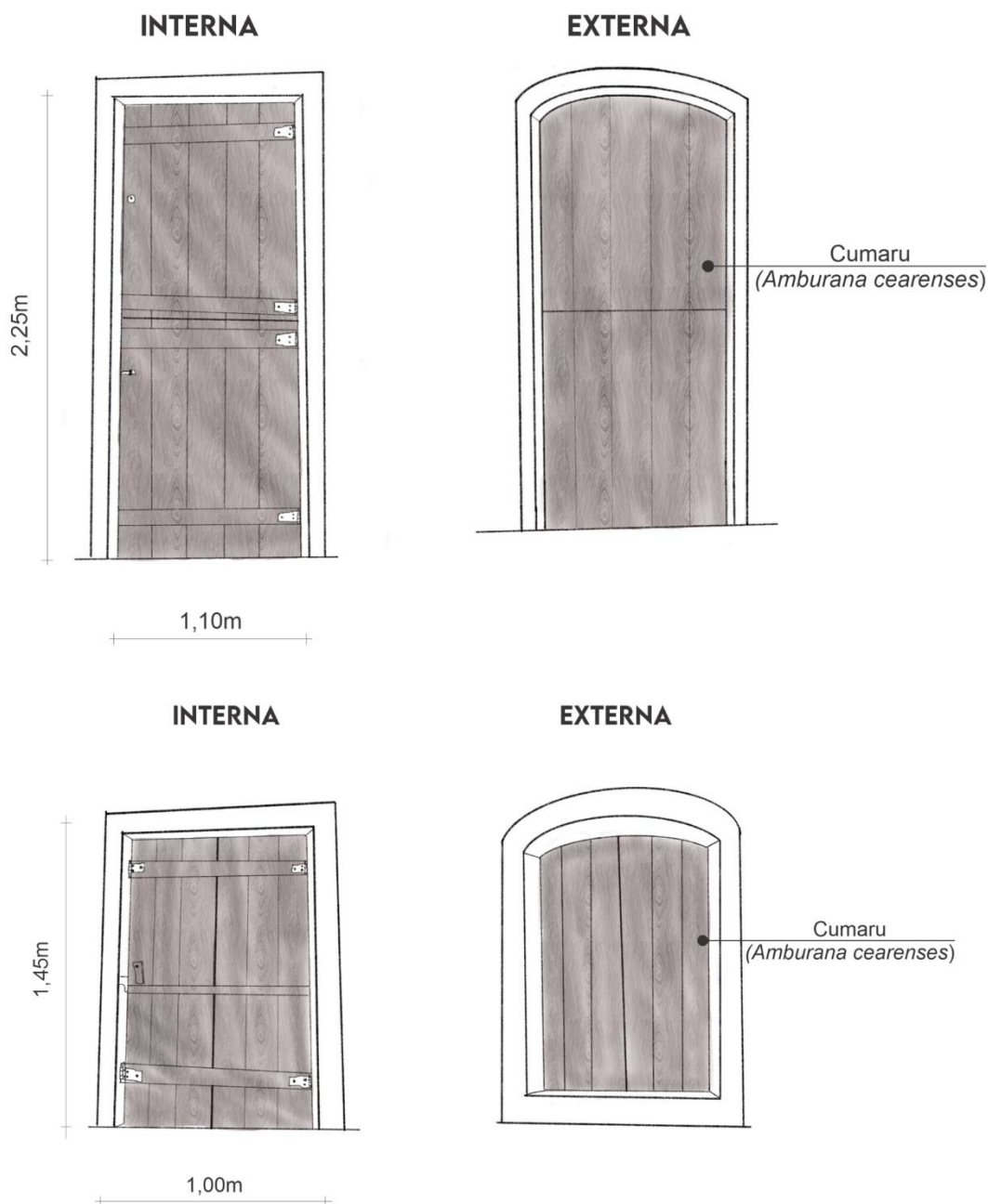
FONTE: Elaborado pela autora (2024)

<sup>5</sup> Moldura de alvenaria feita ao redor de portas e janelas.

As paredes externas possuem espessura de aproximadamente 55 cm e são compostas por tijolos de barro com duas fiadas, popularmente conhecido como “parede dobrada” e possui alta massa térmica. Já as internas possuem cerca de 20 cm. Para obter o valor da transmitância térmica (U) das paredes externas, foram feitos os cálculos de resistência térmica do tijolo, e argamassa do interior e exterior que foi igual a 0,98 K.m<sup>2</sup>/W e a transmitância térmica é 1,02 W/(m<sup>2</sup>.K). A memória de cálculo se encontra no apêndice C. Comparado ao padrão indicado na NBR 15.220-3 (2005) para a zona bioclimática 7, as paredes pesadas indicadas são aquelas com  $U \leq 2,20$ , logo, as paredes de envoltória respondem a norma. A absorvância da parede ficou em 0,22 $\alpha$ , pouco acima do valor de 0,20 $\alpha$  sugerido para paredes brancas na norma NBR 15.220-3 (2005).

Assim como o casarão da cachoeira, as esquadrias são feitas de madeira, e ocupam uma pequena porção da fachada. O material possui ótimo isolamento térmico na ausência de umidade, característico da zona bioclimática 7. A habitação possui 4 portas externas, 2 para fachada principal, 1 para a cozinha e uma para construção anexada em reforma. Das 12 janelas, 5 estão na direção nordeste e 7 na direção sudoeste. As portas têm em média-1,10 m (L) x 2,25 m (A) e as janelas, possuem em média 1,00 m (L) x 1,45 m (A) (Figura 4-16). Ambas são feitas de madeira Cumaru (*Amburana cearenses*) e têm cerca de 2,50 cm de espessura. A absorvância das esquadrias em tom de terracota foi calculada em 0,82 $\alpha$ , valor entre o vermelho 0,74  $\alpha$  e o preto 0,97  $\alpha$  apontados na norma.

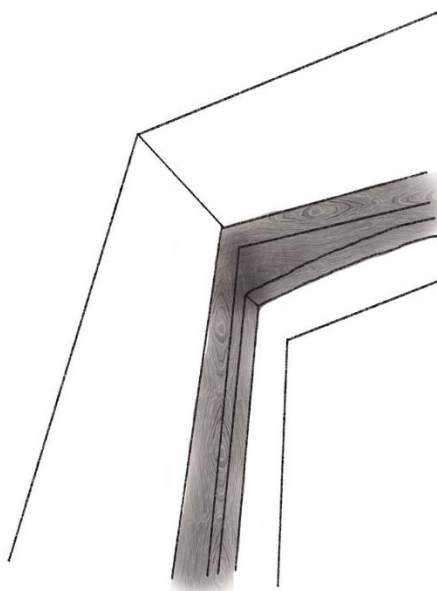
Figura 4-16- Croqui das vistas interna e externa das esquadrias da Fazenda Caiçarina



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Logo após a folha da porta, há um detalhe de madeira na caixa (Figura 4-17) que juntamente com a cercadura, proporciona um efeito de arco quando olhado externamente. O peitoril da janela, é acabado com cimento queimado e apresenta uma leve inclinação para a face externa, o que permite o escoamento de água pluvial.

Figura 4-17- Detalhe de madeira nas esquadrias



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

De acordo com a norma NBR 15.220-3 (2005), a área correspondente as aberturas para a zona bioclimática 7 devem ser pequenas e ficar entre 10% a 15% da área do piso. Dois ambientes cumprem essa porcentagem (Tabela 4-8), o quarto 02 e o quarto 05. Os ambientes com maior porcentagem de abertura são a sala e a cozinha, acima do indicado. Já os demais quartos, possuem uma porcentagem um pouco abaixo do valor mínimo indicado.

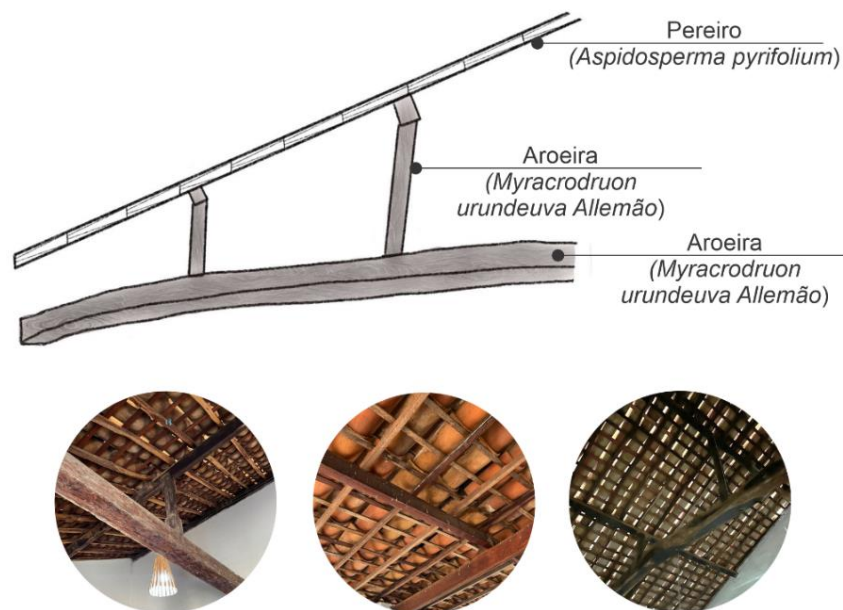
Tabela 4-8- Porcentagem de aberturas: Fazenda Caiçarinha

AMBIENTE	ÁREA DO PISO	ÁREA DA ABERTURA	TOTAL DA PORCENTAGEM
Sala	38,75 m <sup>2</sup>	7,34 m <sup>2</sup>	18,94 %
Cozinha	41,20 m <sup>2</sup>	6,85 m <sup>2</sup>	16,62 %
Quarto 01	20,96 m <sup>2</sup>	1,52 m <sup>2</sup>	8,44 %
Quarto 02	14,25 m <sup>2</sup>	1,52 m <sup>2</sup>	10,66 %
Quarto 03	21,20 m <sup>2</sup>	1,52 m <sup>2</sup>	7,17 %
Quarto 04	30,39 m <sup>2</sup>	1,52 m <sup>2</sup>	5 %
Quarto 05	14,25 m <sup>2</sup>	1,52 m <sup>2</sup>	10,66 %

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A cobertura assim como o usual nas casas vernaculares do Seridó, com alta inclinação, possui duas águas direcionadas para fachada frontal e fachada posterior. Os ambientes com menor pé direito são o alpendre e a cozinha com 2,46 m e 2,23 m, respectivamente, e o maior fica nos quartos, localizados nas imediações da cumeeira, medindo 6,23 m. As linhas, brabos e pontaletes são confeccionados em Aroeira (*myracrodruon urundeuva allemão*) e os caibros e ripas de Pereiro (*Aspidosperma pyriformium*) (Figura 4-18).

Figura 4-18- Estrutura da cobertura: Fazenda Caiçarinha



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Assim como no Casarão da Cachoeira, a Fazenda Caiçarinha possui telhas robustas de aproximadamente 1,50 cm de espessura. Sua equivalência ao valor dado na norma NBR 15.220-3 (2005) é de 3,00 W/(m<sup>2</sup>.K), também abaixo do estabelecido para a zona bioclimática 7, que recomenda uma transmitância térmica menor de 2,00 W/(m<sup>2</sup>.K).

Para o cálculo de carbono estocado, os volumes encontrados nos elementos de madeira presentes na envoltória foram equivalentes a: esquadrias de Cumaru (*Amburana cearenses*) possuem um volume de 0,72m<sup>3</sup>, as linhas, brabos e pontaletes da cobertura, feitos de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva Allemão*) totalizam 1,35 m<sup>3</sup> e os caibros e ripas

de Pereiro (*Aspidosperma pyriformium*) apresentam um volume de 2,59 m<sup>3</sup>. Através dos cálculos, foi possível chegar ao volume de carbono estocado nesses elementos (Tabela 4-19). O cálculo de carbono estocado no madeiramento das esquadrias e cobertura (Apêndice D) da Fazenda Caiçarina totalizou 5.275 KgCO<sub>2</sub>.

Figura 4-19- Carbono estocado nas esquadrias e cobertura da Fazenda Caiçarina

	CARBONO ESTOCADO
ESQUADRIAS Cumarú ( <i>Amburana cearenses</i> )	728 KgCO <sub>2</sub>
COBERTURA Aroeira ( <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão)	1.721,63 KgCO <sub>2</sub>
COBERTURA Pereiro ( <i>Aspidosperma pyriformium</i> )	2.825,52 KgCO <sub>2</sub>
TOTAL	5.275,14 KgCO <sub>2</sub>

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

#### 4.3.2 Robustez

A Fazenda Caiçarina, com 169 anos desde sua construção, apresenta alguns sinais de intervenções realizadas ao longo do tempo, como reformas que resultaram em adições e recortes na forma de sua envoltória, além da troca do piso. A Figura 4-20 é um diagrama composto pela planta baixa e fotografias dos elementos da envoltória, servindo como uma demonstração visual da robustez da edificação.

As imagens 1 e 2 da Figura 4-20 mostram a parte externa das paredes, nas imediações da cumeeira, onde se observam manchas escuras de umidade provenientes da precipitação, localizadas na área mais próxima do telhado. Na imagem 3, é possível ver o piso de pedra, que também apresenta algumas manchas escuras, mas sem rachaduras ou descolamento das peças. As figuras 4 e 7 ilustram a cobertura vista de dentro da casa, nas salas de jantar e estar, respectivamente. Nelas, as telhas e madeiras estão em excelente estado de conservação, sem sinais detectáveis de defeitos. Na imagem 5a, é possível observar as mesmas manchas identificadas nas imagens 1 e 2. Já na imagem 5b, vê-se o desgaste da coloração da pintura da madeira e da cercadura,

causado pela alta incidência de radiação solar. A imagem 6 apresenta parte da fundação, onde são visíveis manchas de umidade provenientes do terreno e fissuras superficiais. Por fim, a imagem 8 mostra o piso de pedra, que está protegido das intempéries pelo alpendre, em comparação com o piso da Figura 3, que não possui essa proteção.

Figura 4-20- Resiliência dos materiais construtivos: Fazenda Caiçarinha



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A Tabela 4-9 contém as informações sobre o horário e o período do dia em que foram realizados os registros dos termogramas, além dos dados de incidência solar, temperatura superficial, velocidade do vento, umidade relativa do ar e a presença de manifestações patológicas. A temperatura de superfície geral não apresentou grande variação entre as imagens, com uma diferença de apenas 1,8°C. A umidade relativa do ar e a velocidade do vento estavam em níveis medianos para a região.

Tabela 4-9- Organização de dados das variáveis climáticas, horário da realização dos termogramas e manifestação patológica: Fazenda Caiçarinha

ID. DA FIGURA	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	INCIDÊNCIA DE SOL	PERÍODO DO DIA M T N	T (°C) NA SUPERFÍCIE	VELOCIDADE DO VENTO	UMIDADE RELATIVA DO AR
1	-	Sim	X	28,1 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
2	Biodeterioração estética, umidade da construção e de precipitação	Não	X	27,6 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
3	Biodeterioração estética, umidade da construção e de precipitação	Não	X	27,3 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
4a	Biodeterioração física e umidade de precipitação	Sim	X	28,9 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
4b	Biodeterioração física e umidade de precipitação	Sim	X	29,1 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
5	Biodeterioração física e umidade do terreno	Sim	X	27,4 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
6	-	Sim	X	28,7 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%

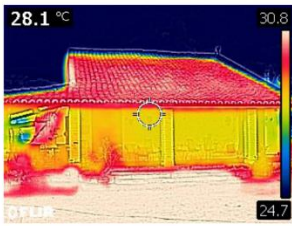





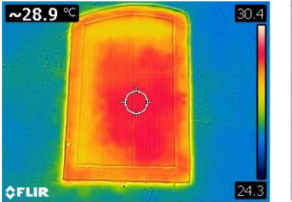

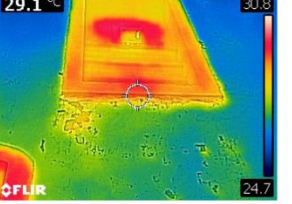

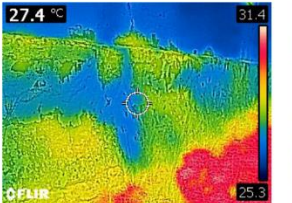



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A partir das imagens termográficas (Quadro 4-6), foi possível identificar sinais de biodeterioração estética, marcas de umidade provenientes da construção, da precipitação e do terreno. Nos primeiros e últimos termogramas, não foram observados grandes indícios de patologias. No termograma 1, é possível notar uma clara divisão de temperatura entre a fachada principal, que está protegida pelo alpendre, e as áreas de cobertura e solo, que recebem radiação solar direta. Já no termograma 6, as cores e as temperaturas estão mais uniformes.

Na imagem 2 do quadro 4-6, há uma considerável variação de cores, com manchas azul-esverdeadas indicando menores temperaturas, devido à umidade de precipitação e da construção, além de manchas amarelas que sugerem biodeterioração estética.

Na imagem, observa-se também biodeterioração estética e marcas de umidade da construção e da precipitação, com a temperatura uniforme da fachada, exceto nas áreas próximas ao terreno e à cobertura, que apresentam uma cor vermelha mais intensa, e nas esquadrias, que têm uma cor vermelha mais clara, quase branca, devido ao material diferente com o qual foram feitas.

Quadro 4-6- Termogramas da Fazenda Caiçarinha

LOCAL	ID. DA IMAGEM	IMAGEM	
FACHADA FRONTAL	1		
FACHADA LATERAL ESQUERDA	2		
FACHADA LATERAL DIREITA	3		
ESQUADRIA LATERAL DIREITA	4a		
	4b		
FUNDAÇÃO LATERAL DIREITA	5		
COBERTURA	6		

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Nas imagens 4a e 4b do quadro 4-6, referentes a mesma esquadria para evidenciar os detalhes abaixo da pingadeira. Na imagem convencional, é possível notar manchas mais escuras, que se tornam ainda mais evidentes no termograma, onde as áreas esverdeadas e amareladas indicam maior presença de umidade e biodeterioração. Na Figura 5, do mesmo quadro, também se observa a variação de cores no termograma, com as áreas mais quentes tendendo para o amarelo, indicando regiões mais desgastadas.

#### 4.3.3 Recuperação

No Quadro 4-7, foram listados os materiais construtivos e suas respectivas categorias de análise para complementar os dados da escala de recuperação.

Quadro 4-7- Materiais construtivos da Fazenda Caiçarina

ESQUADRIAS	PISO	ESTRUTURA DO TELHADO	COBERTURA	PAREDES	FUNDAÇÃO
Madeira: Cumaru	Reformado: cimento queimado	Caibros e ripas de pereiro. Linhas e brabos de aroeira	Telha de cerâmica espessa	Dobrada com tijolo de barro de 35 cm, reboco argamassado e cal	Pedra
					

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

No Quadro 4-8, apresenta-se a análise na escala de recuperação. O piso não foi incluído na análise, pois não é original, tendo sido substituído por cimento queimado. As esquadrias estão em bom estado de conservação e são feitas de Cumaru (*Amburana cearensis*), uma madeira local. A cobertura também se encontra em bom estado de conservação, e seus materiais construtivos, madeira e barro, são originários da região. Da mesma forma, as paredes foram construídas com tijolos de barro maciço e apresentam apenas poucos sinais de deterioração, assim como a fundação.

Quadro 4-8- Escala de recuperação Fazenda Caiçarinha

	ESQUADRIAS	PISO	COBERTURA	PAREDES	FUNDAÇÃO
CONSERVAÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	 3	 0	 3	 2	 2
UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS LOCAIS	 3	 0	 3	 3	 3
MANUTENÇÃO	 3	 0	 3	 3	 3

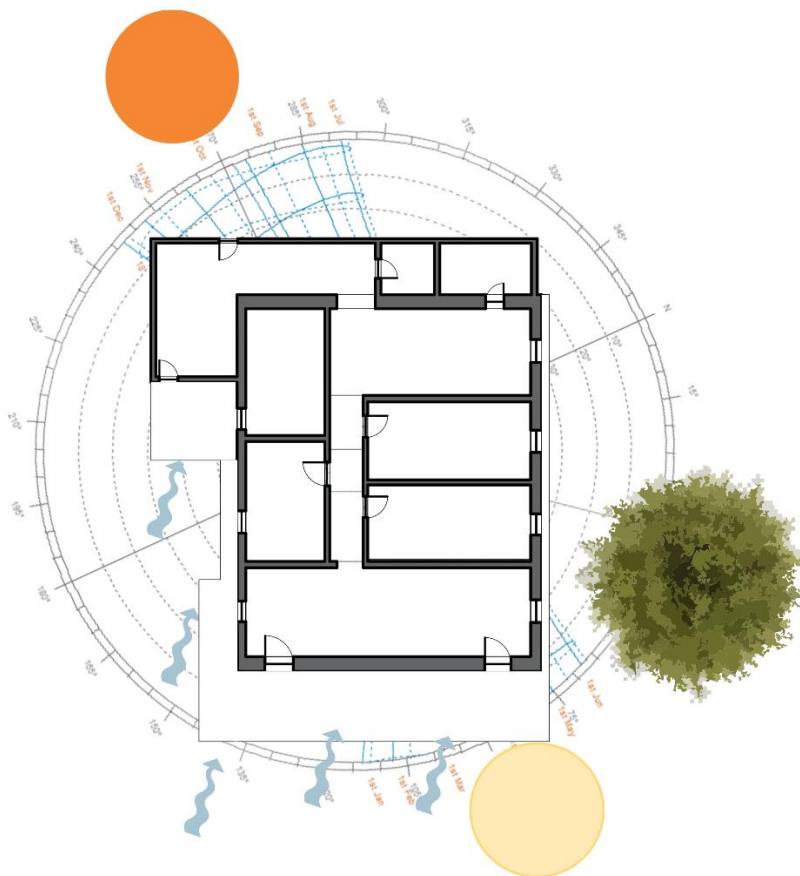
FONTE: Elaborado pela autora (2024)

## 4.4 Fazenda Ingá

### 4.4.1 Resistência

Sua implantação (Figura 4-21) está em terreno predominantemente plano, a orientação da fachada principal voltada para direção sudeste, direção dos ventos dominantes e localização do alpendre e as duas portas de acesso principal. A localização da Fazenda Ingá não possui uma proximidade considerável com corpos d'água.

Figura 4-21- Implantação da Fazenda Ingá



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

O entorno possui uma área dispersa com relação a outras construções, e vegetação semi-compacta com árvores nativas de médio porte. Que auxiliam na diminuição de ganho térmico por radiação do entorno.

Conforme indicado no Quadro 4-9, os ambientes com menor aderência às estratégias bioclimáticas recomendadas são o corredor e o sótão. Ambos são vedados nas laterais pelas paredes dos quartos, mas o corredor possui aberturas para circulação no seu início e fim, além de possuir forro de madeira que correspondente ao piso do sótão, que por sua vez possui infiltração e circulação de ar apenas por uma abertura no meio do corredor e frestas das telhas.

Quadro 4-9- Responsividade Fazenda Ingá

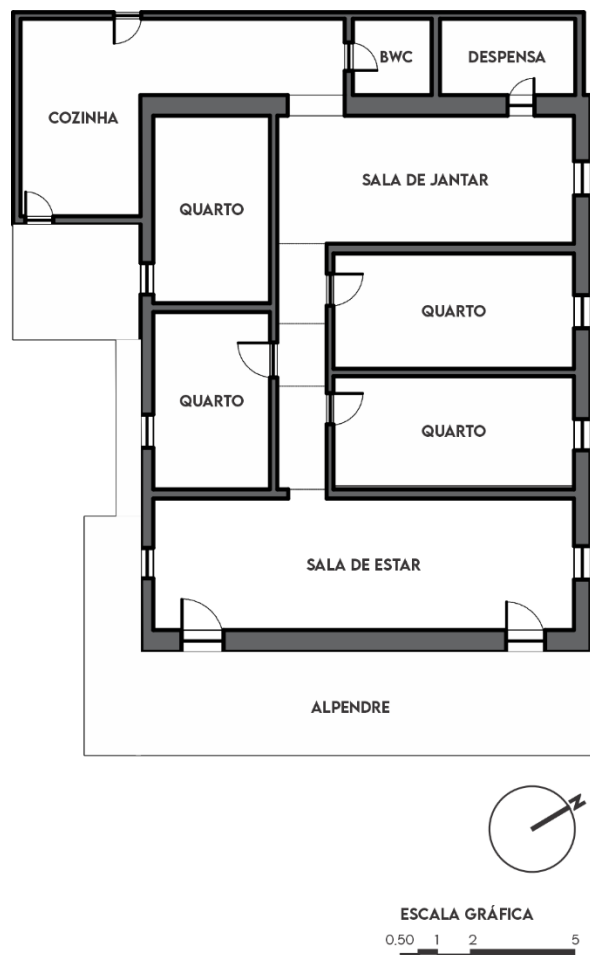
	SALA DE JANTAR E ESTAR	CORREDOR SOB SÓTÃO	SÓTÃO	QUARTOS	ALPENDRE	COZINHA
MASSA TÉRMICA DAS PAREDES EXTERNAS (R1)	3	0	0	3	0	3
MASSA TÉRMICA DA COBERTURA (R2)	2	3	2	2	2	2
ALTURA DO VÃO (R3)	3	1	1	3	2	2
PAREDES EXTERNAS DE CORES CLARAS (R4)	3	0	0	3	3	3
PERMEABILIDADE AOS VENTOS (R5)	2	0	2	1	3	1
POUCA EXPOSIÇÃO AO SOL DA TARDE (OESTE) (R6)	3	0	3	3	3	1
PERMEABILIDADE DA COBERTURA (R7)	3	0	3	3	3	3
SOMBREAMENTO DAS PAREDES EXTERNAS (R8)	2	0	0	0	0	0
TAMANHO E LOCALIZAÇÃO DAS ABERTURAS (R9)	3	0	0	2	3	3
ORIENTAÇÃO E FORMA						
ORIENTAÇÃO (R10)	2					
FORMA (R11)	3					
ENTORNO						
PRESENÇA DE ÁGUA (R12)	1					
PRESENÇA DE VEGETAÇÃO (R13)	2					

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A Fazenda Ingá apresenta uma planta compacta, de formato predominantemente retangular, com exceção da cozinha, localizada na parte posterior à esquerda. Todas as faces externas das paredes são pintadas de branco, enquanto as esquadrias são na tonalidade azul e as cercaduras que as envolvem são amarelas. O arranjo do espaço

(Figura 4-22) começa com o alpendre, um ambiente semiaberto que se estende ao longo de toda a fachada frontal e sala de estar. Em seguida, há um corredor, que possui o menor pé-direito da habitação, devido à sua delimitação com um forro de madeira, o qual também serve de assoalho para o sótão. Ao longo do corredor, encontram-se os quatro quartos e a sala de jantar. A sala de jantar está conectada à despensa e, após o corredor, à esquerda está a cozinha, enquanto à direita se encontra o banheiro.

Figura 4-22- Planta baixa e arranjo do espaço: Fazenda Ingá



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

As paredes externas possuem espessura de aproximadamente 55 cm (Figura 4-23), já as internas possuem cerca de 20 cm. Para obter o valor da transmitância térmica (U) das paredes externas, o cálculo de resistência térmica do tijolo, e argamassa do interior e exterior que foi igual a 0,97 K.m<sup>2</sup>/W, e a transmitância térmica é de 1,03 W/(m<sup>2</sup>.K). A memória de cálculo se encontra no apêndice C. Comparado ao padrão indicado na NBR

15.220-3 (2005) para a zona bioclimática 7, as paredes pesadas indicadas são aquelas com  $U \leq 2,20$ , logo, as paredes de envoltória respondem a norma. A absorvância da parede ficou em  $0,20 \alpha$ , compatível ao  $0,20 \alpha$  sugerida para paredes brancas na norma NBR 15.220-3 (2005).

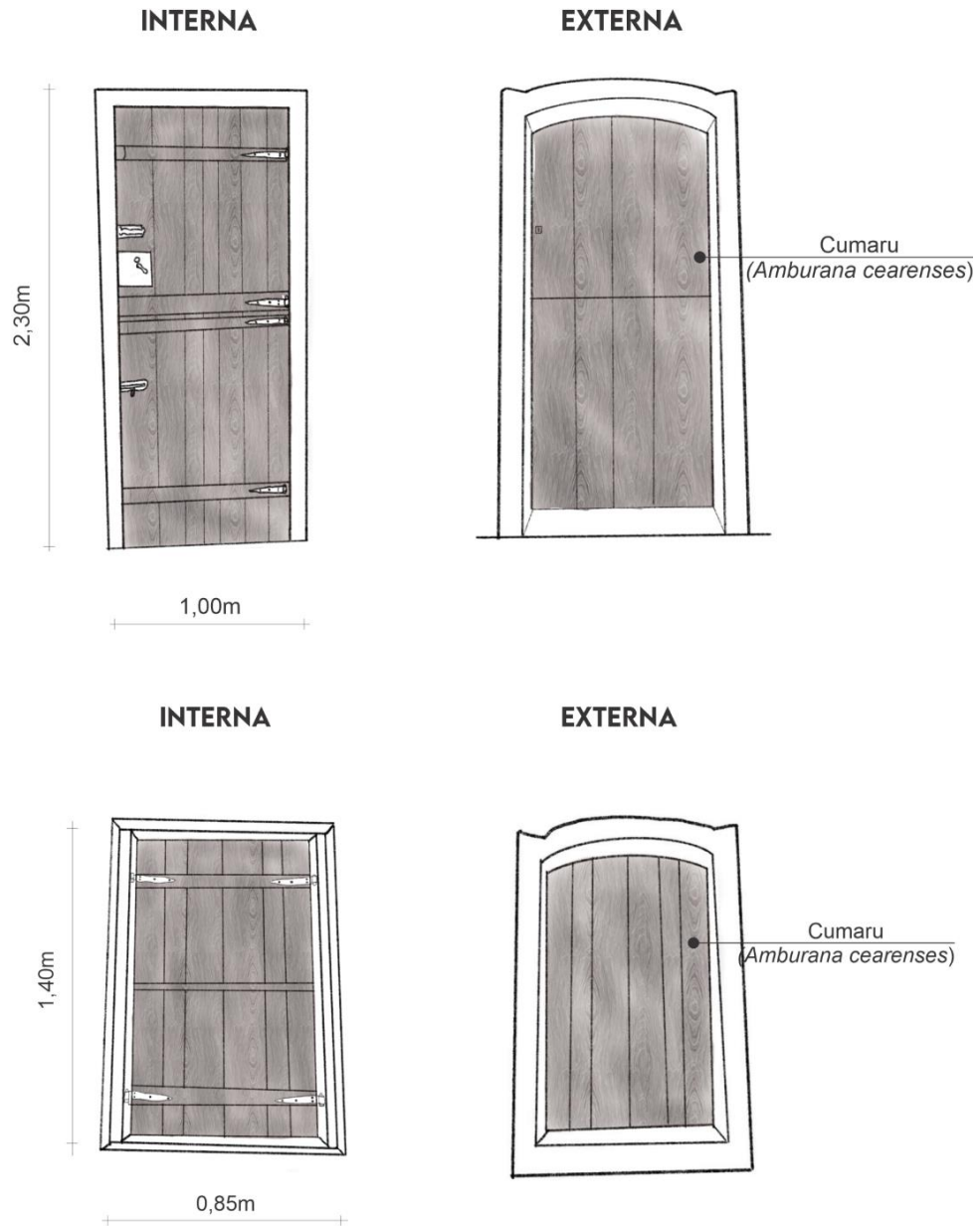
Figura 4-23- Parede externa: Fazenda Ingá



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A habitação possui um total de quatro portas externas, sendo duas localizadas na fachada principal e duas na cozinha. Das sete janelas, três estão voltadas para o sudeste, direção dos ventos dominantes. As portas têm dimensões médias de 1,00 m (largura) x 2,30 m (altura), enquanto as janelas possuem, em média, 0,85 m (largura) x 1,40 m (altura) (Figura 4-24). Ambas as aberturas são fabricadas com madeira de Cumaru (*Amburana cearensis*) e apresentam cerca de 2,50 cm de espessura. Assim como a Fazenda Caiçarina, possui o detalhe em madeira que junto a cercadura, proporciona um efeito de arco quando olhado externamente. As esquadrias, pintadas na tonalidade azul escuro, apresentaram uma absorvância de  $0,74 \alpha$ , o que corresponde ao valor indicado para a cor vermelha na norma NBR 15.220 (2005).

Figura 4-24- Croqui das vistas interna e externa das esquadrias da Fazenda Ingá



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

De acordo com a NBR 15.220-3 (2005), a área das aberturas na zona bioclimática 7 deve ser reduzida, representando entre 10% e 15% da área do piso. Nesse sentido, apenas a cozinha atende a essa exigência (Tabela 4-10). O ambiente com maior porcentagem de abertura é a sala, com valor ligeiramente superior ao recomendado. Por outro lado, os outros quartos apresentam uma porcentagem de abertura inferior ao valor mínimo estipulado.

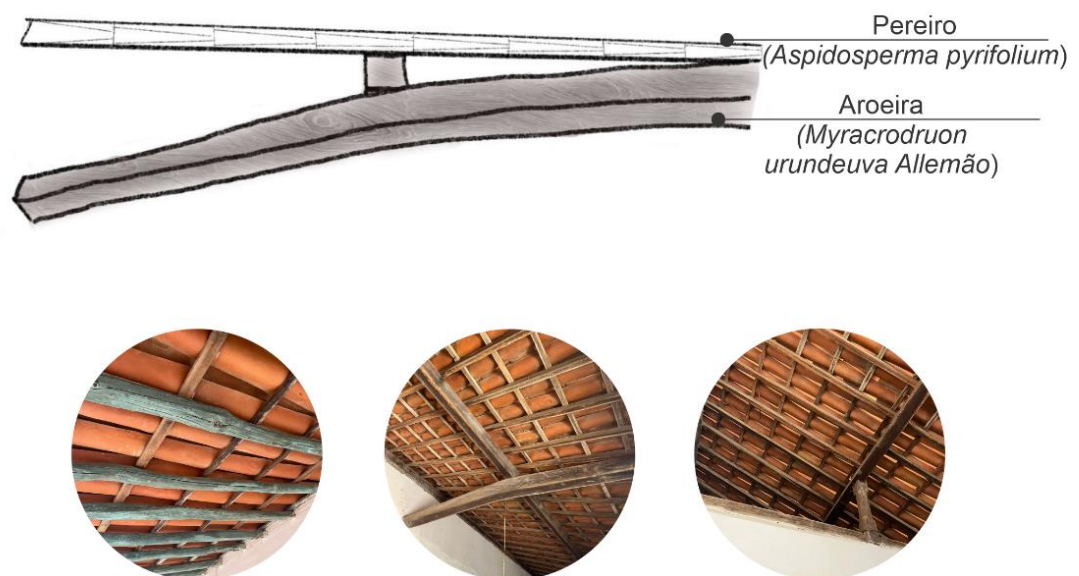
Tabela 4-10- Porcentagem de aberturas: Fazenda Ingá

AMBIENTE	ÁREA DO PISO	ÁREA DA ABERTURA	TOTAL DA PORCENTAGEM
Sala	47,01 m <sup>2</sup>	7,50 m <sup>2</sup>	15,95 %
Cozinha	33,32 m <sup>2</sup>	4,11 m <sup>2</sup>	10,14 %
Quarto 01	17,01 m <sup>2</sup>	2,93 m <sup>2</sup>	7,00 %
Quarto 02	23,50 m <sup>2</sup>	2,93 m <sup>2</sup>	5,23 %
Quarto 03	23,50 m <sup>2</sup>	2,93 m <sup>2</sup>	5,23 %
Quarto 04	18,57 m <sup>2</sup>	2,93 m <sup>2</sup>	7,79 %

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A cobertura apresenta alta inclinação e possui duas águas direcionadas para a fachada frontal e para a fachada posterior. Os ambientes com menor pé-direito são o alpendre e a cozinha, ambos com 2,18 m, enquanto o maior pé-direito está nos quartos, localizados nas proximidades da cumeeira, com uma altura de 6,02 m. As linhas, brabos e pontaltes são confeccionados em Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), enquanto os caibros e ripas são feitos de Pereiro (*Aspidosperma pyriformium*), com as ripas sendo roliças (Figura 4-25).

Figura 4-25- Estrutura da cobertura: Fazenda Ingá



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Assim como nas demais habitações deste estudo, a Fazenda Ingá possui telhas robustas, com aproximadamente 1,50 cm de espessura. A transmitância térmica dessas telhas é de 3,00 W/m<sup>2</sup>.K, valor que também está acima do estabelecido pela norma NBR 15.220-3 (2005) para a zona bioclimática 7, que recomenda uma transmitância térmica inferior a 2,00 W/m<sup>2</sup>.K.

As esquadrias da Fazenda Ingá, feitas de Cumaru (*Amburana cearensis*), possuem um volume de 0,64 m<sup>3</sup>. Já as linhas, brabos e pontaletes da cobertura, confeccionados em Aroeira (*Myracrodruon urundeuva Allemão*), totalizam 0,55 m<sup>3</sup>, enquanto os caibros e ripas de Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) apresentam um volume de 1,81 m<sup>3</sup>. A partir desses dados, foi possível calcular o volume de carbono estocado nos elementos de madeira, conforme detalhado na Tabela 4-11. O cálculo do carbono estocado no madeiramento das esquadrias e da cobertura da Fazenda Ingá (Apêndice D) totalizou 3.324,56 kg de CO<sub>2</sub>.

Tabela 4-11- Carbono estocado nas esquadrias e cobertura da Fazenda Ingá

	CARBONO ESTOCADO
ESQUADRIAS Cumaru ( <i>Amburana cearensis</i> )	644,78 KgCO <sub>2</sub>
COBERTURA Aroeira ( <i>Myracrodruon urundeuva Allemão</i> )	701,97 KgCO <sub>2</sub>
COBERTURA Pereiro ( <i>Aspidosperma pyrifolium</i> )	1.977,81 KgCO <sub>2</sub>
<b>TOTAL</b>	<b>3.324,56 KgCO<sub>2</sub></b>

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

#### 4.4.2 Robustez

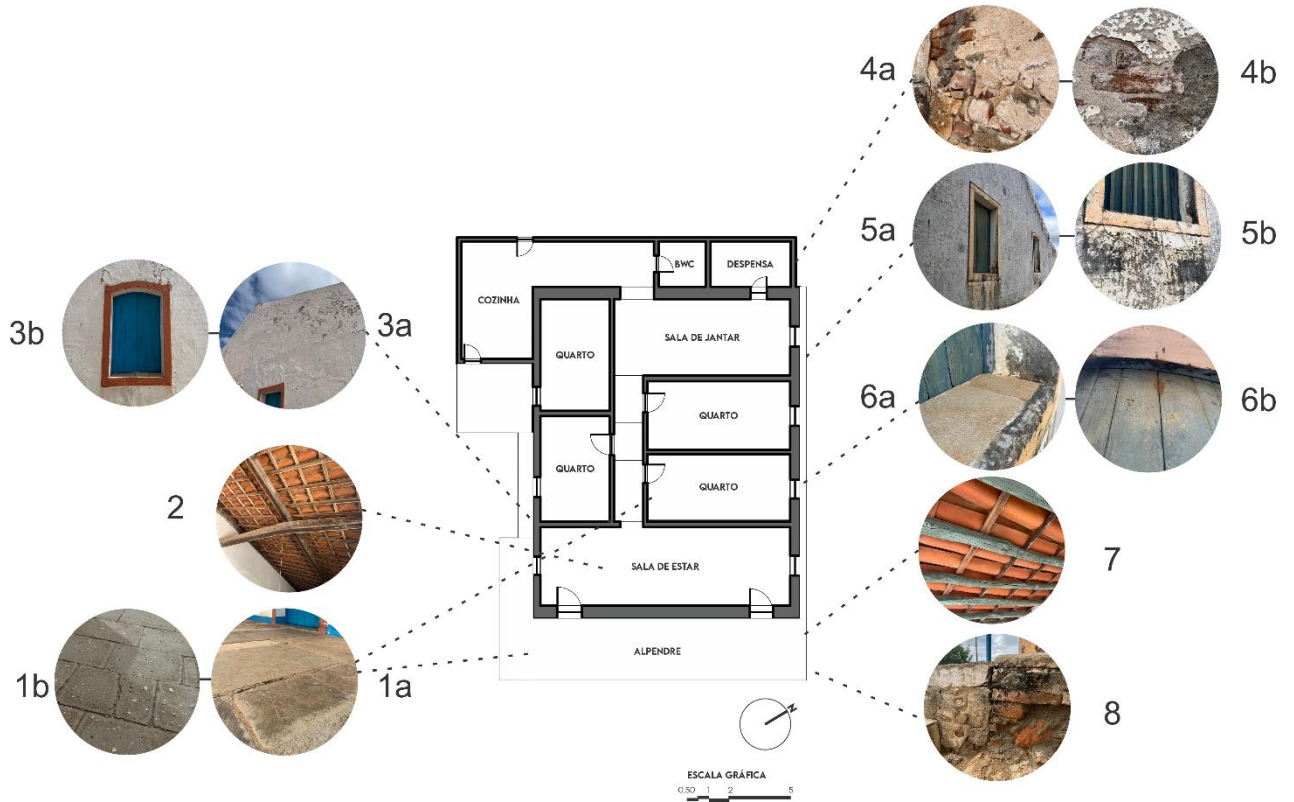
A Fazenda Ingá, a mais antiga das habitações analisadas, possui 205 anos desde sua construção e apresenta alguns sinais de intervenções ao longo do tempo. Entre esses sinais, destacam-se as diferentes cercaduras nas janelas e as marcas nas paredes, que

se repetem no mesmo local das salas de estar, quartos e sala de jantar, sugerindo o uso de uma passagem. A Figura 4-26 apresenta um diagrama composto pela planta baixa e por fotografias dos elementos da envoltória, funcionando como uma representação visual da robustez da edificação.

As imagens 1a e 1b da Figura 4-26 ilustram os pisos originais do alpendre, composto por piso de pedra (1a), e dos quartos, com piso de tijoleira (1b). Embora ambos apresentem pequenas fissuras, encontram-se em bom estado de conservação. A imagem 2 mostra a cobertura nas imediações da sala de estar, com uma estrutura de madeiramento distinta das demais habitações, incluindo um brabo curvo e a ausência de pontaletes. Além disso, as madeiras não apresentam patologias visíveis, e as telhas estão bem conservadas. As imagens 3a e 3b podem ser comparadas com as imagens 5a e 5b, que retratam as fachadas laterais da habitação. As imagens 3a e 3b mostram a lateral esquerda, que está visivelmente mais preservada, enquanto as imagens 5a e 5b representam a lateral direita, que apresenta sinais mais evidentes de deterioração, especialmente na região abaixo da cobertura, próxima à fundação e abaixo das janelas. Nas imagens 4a e 4b, observa-se o reboco externo degradado e ausente em várias áreas, o que revela as camadas de pedra misturadas aos tijolos de barro, evidenciando uma diferença de coloração que sugere um hiato no processo de construção.

A imagem 6b revela desgaste na coloração e algumas fissuras na madeira da janela. Ao compará-la com a esquadria da imagem 3b, é perceptível o impacto das intempéries sobre o material dependendo da localização e suscetibilidade. Na imagem 6a, o peitoril da janela, que é inclinado e revestido com a mesma pedra utilizada no piso do alpendre, encontra-se em bom estado de conservação. No entanto, a alvenaria logo após o fim da pedra, na região da pingadeira apresenta manchas escuras, indicativas de umidade. Por fim, a imagem 7, evidência o excelente estado de conservação do telhado que cobre o alpendre. Embora este esteja mais suscetível ao desgaste dos agentes externos, mantém-se em boas condições. Na última imagem, observa-se a fundação exposta e a fusão desta com o tijolo de barro maciço.

Figura 4-26- Resiliência dos materiais construtivos: Fazenda Ingá



FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A Tabela 4-12 apresenta informações sobre o horário e o período do dia em que foram registrados os termogramas. Assim como os dados de incidência solar, temperatura superficial, velocidade do vento, umidade relativa do ar e a presença de manifestações patológicas. A temperatura superficial geral não exibiu grandes variações entre as imagens, com uma diferença de apenas 1,8°C, assim como na Fazenda Caiçarinha. A umidade relativa do ar e a velocidade do vento estavam em níveis moderados para a região.

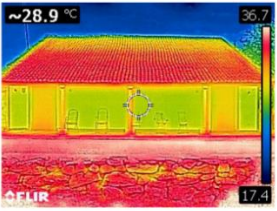

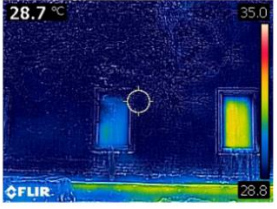

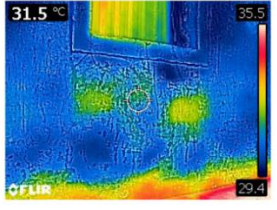

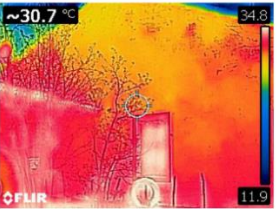

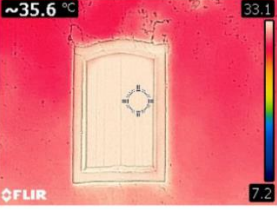

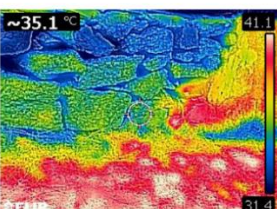

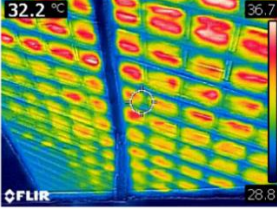

Tabela 4-12- Organização de dados das variáveis climáticas, horário da realização dos termogramas e manifestação patológica: Fazenda Ingá

ID. DA FIGURA	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	INCIDÊNCIA DE SOL	PERÍODO DO DIA M T N	T (°C) NA SUPERFÍCIE	VELOCIDADE DO VENTO	UMIDADE RELATIVA DO AR
1	-	Sim	X	28,1 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
2a	Biodeterioração estética, umidade da construção e de precipitação	Não	X	27,6 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
2b	Biodeterioração estética, umidade da construção e de precipitação	Não	X	27,3 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
3a	Biodeterioração física e umidade de precipitação	Não	X	28,9 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
3b	Biodeterioração física	Não	X	29,1 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
4	Biodeterioração física	Não	X	27,4 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%
5	-	Sim	X	28,7 °C	2,5 m/s <sup>2</sup>	66%

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A partir das imagens termográficas (Quadro 4-10), foi possível identificar sinais de biodeterioração, tanto estética quanto física, além de marcas de umidade da construção, pela precipitação e originadas pelo terreno. Nos primeiros e últimos termogramas, não foram observados indícios significativos de patologias.

Quadro 4-10- Termogramas da Fazenda Ingá

LOCAL	ID. DA IMAGEM	IMAGEM	
FACHADA FRONTAL	1		
FACHADA LATERAL DIREITA	2a		
ESQUADRIA LATERAL DIREITA	2b		
FACHADA LATERAL ESQUERDA	3a		
ESQUADRIA LATERAL ESQUERDA	3b		
FUNDAÇÃO LATERAL DIREITA	4		
COBERTURA	5		

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

No termograma 1, é possível perceber uma clara diferença de temperatura entre a fachada principal, que está protegida pelo alpendre, e as áreas de cobertura e solo, que recebem radiação solar direta, sugerindo eficiência na proteção contra a radiação solar. Por outro lado, no termograma 5, as cores da cobertura estão bem definidas nas divisões dos materiais construtivos e apresenta um padrão regular de distribuição térmica das telhas cerâmicas.

Na imagem 2, observa-se uma cor uniforme, predominantemente em tons de azul escuro. Nas esquadrias, embora sejam feitas do mesmo material, a janela sombreada pela árvore apresenta uma temperatura mais baixa em comparação à que está exposta diretamente ao sol, apresentando uma temperatura mais alta na linha de construção, próxima ao solo e também é visível abaixo das esquadrias, como pode ser observado no termograma 2b, onde essa área aparece em amarelo, indicando umidade da construção e de precipitação e biodeterioração estética.

No termograma 3a, a cor predominante é o vermelho, com variações para o branco nas transições entre os materiais de alvenaria e madeira, e para o amarelo abaixo da cobertura, indicando biodeterioração física e umidade proveniente da precipitação. No termograma 3b, que mostra a mesma fachada do 3a, o vermelho é evidenciado na parte de alvenaria e tende a clarear para um tom mais próximo ao branco nas áreas de madeira, além de indicar fissuras na alvenaria.

No termograma 4, observa-se uma maior diversidade de cores. A temperatura mais elevada é registrada nas áreas com areia do entorno, enquanto as áreas com reboco apresentam temperaturas ligeiramente mais amenas. A menor temperatura é observada nas regiões com pedras expostas, o que caracteriza a biodeterioração física dessas superfícies.

#### 4.4.3 Recuperação

No Quadro 4-11, foram listados os materiais construtivos e suas respectivas categorias de análise para complementar os dados da escala de recuperação.

Quadro 4-11- Materiais construtivos da Fazenda Ingá

ESQUADRIAS	PISO	ESTRUTURA DO TELHADO	COBERTURA	PAREDES	FUNDAÇÃO
Madeira: Cumaru	Original: No alpendre piso de pedra e de tijoleira no interior	Caibros e ripas de pereiro, linhas e brabos de Aroeira	Telha de cerâmica	Dobrada com tijolo de barro maciço, reboco argamassado e cal	Pedra
					

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

No Quadro 4-12, apresenta-se a análise na escala de recuperação das edificações. As esquadrias encontram-se em bom estado de conservação e são confeccionadas em Cumaru (*Amburana cearensis*), uma madeira local. A Fazenda Ingá é a única entre as três habitações que mantém o piso original, o qual está bem conservado e também é composto por material local, recebendo, portanto, a escala 3 em todas as categorias de avaliação. A cobertura também se encontra em bom estado de conservação, com materiais construtivos, como madeira e barro, originários da própria região. De maneira similar, as paredes foram construídas com tijolos de barro maciços, apresentando apenas poucos sinais de deterioração. Por outro lado, a fundação se encontra em estado intermediário de conservação, necessitando de manutenção moderada.

Quadro 4-12- Escala de recuperação da Fazenda Ingá



	ESQUADRIAS	PISO	COBERTURA	PAREDES	FUNDAÇÃO
CONSERVAÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	 2	 3	 3	 2	 2
UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS LOCAIS	 3	 3	 3	 3	 3
MANUTENÇÃO	 3	 3	 3	 3	 2

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

#### 4.5 Análise comparativa das habitações

As três habitações possuem uma implantação semelhante, localizando-se em um terreno predominantemente plano, com vegetação semi-compacta e áreas dispersas. Dentre elas, apenas a Fazenda Ingá não conta com um corpo d'água em suas proximidades. Com base nos critérios de responsividade (Figura 4-27), o Casarão da Cachoeira obteve a maior quantidade de itens com pontuação máxima, seguido pela Fazenda Caiçarina e, por último, pela Fazenda Ingá. No segundo critério, correspondente à escala 2, o Casarão da Cachoeira e a Fazenda Ingá apresentaram o mesmo número, enquanto a Fazenda Caiçarina registrou três a menos. Já no terceiro critério, referente à escala 1, o Casarão da Cachoeira e a Fazenda Caiçarina obtiveram a mesma pontuação, enquanto a Fazenda Ingá apresentou dois itens a mais. Por fim, em relação aos elementos que não receberam pontuação na escala de avaliação, o Casarão da Cachoeira e a Fazenda Ingá contabilizaram nove ocorrências cada, enquanto a Fazenda Caiçarina registrou onze.

Figura 4-27- Análise comparativa de responsividade das três habitações estudadas

	Casarão da cachoeira	Fazenda caiçarina	Fazenda Ingá
	32	26	24
	13	08	13
	04	04	06
	09	11	09

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

O arranjo espacial das três habitações apresenta semelhanças, com plantas predominantemente retangulares e compactas, o que contribui para a redução do ganho de calor solar. As faces externas das paredes são pintadas de branco, com alto albedo, responsáveis por refletir parte significativa da radiação solar incidente, enquanto as esquadrias possuem tonalidades escuras.

De acordo com a NBR 15.220-3 (2005) para a zona bioclimática 7, o percentual de área das esquadrias em relação ao piso deve estar entre 10% e 15%. No entanto, no

Casarão da Cachoeira, nenhum ambiente atendeu a essa exigência; na Fazenda Caiçarina, dois ambientes foram compatíveis, enquanto na Fazenda Ingá apenas um ambiente esteve em conformidade com a norma. As paredes das três habitações apresentam dimensões semelhantes, assim como as esquadrias. A tabela 4-13 trata do comparativo das características de resistência das três habitações estudadas.

A transmitância térmica das paredes não varia significativamente entre elas e atende aos requisitos da NBR 15.220-3 (2005). No entanto, a absorvância das paredes da Fazenda Caiçarina e da Fazenda Ingá se aproxima do valor recomendado pela norma, enquanto o Casarão da Cachoeira excede esse limite, apresentando um valor pouco mais de três vezes superior ao recomendado. Já a absorvância das esquadrias mostrou-se compatível com os valores propostos na NBR 15.220-3 (2005) para cores escuras. Por outro lado, a transmitância térmica das coberturas ultrapassou os limites estabelecidos pela norma em todas as habitações.

Tabela 4-13- Características de resistência das habitações

<b>Paredes</b>	<b>Casarão da cachoeira</b>	<b>Fazenda caiçarinha</b>	<b>Fazenda Ingá</b>
Medidas (cm)	53 cm	55 cm	55 cm
Transmitância W/(m <sup>2</sup> .K)	1,09 W/(m <sup>2</sup> .K)	1,02 W/(m <sup>2</sup> .K)	1,03 W/(m <sup>2</sup> .K)
Absortância (α)	0,65 α	0,22 α	0,20 α
<b>Esquadrias</b>	<b>Casarão da cachoeira</b>	<b>Fazenda caiçarinha</b>	<b>Fazenda Ingá</b>
Medidas portas (m)	1,00 m (L) x 2,15 m (A)	1,10 m (L) x 2,25 m (A)	1,00 m (L) x 2,30 m (A)
Medidas janelas (m)	1,00 m (L) x 1,30 m (A)	1,00 m (L) x 1,45 m (A)	0,85 m (L) x 1,40 m (A)
Absortância (α)	0,86 α	0,82 α	0,74 α
Espessura (cm)	2,50 cm	2,50 cm	2,50 cm
<b>Cobertura</b>	<b>Casarão da cachoeira</b>	<b>Fazenda caiçarinha</b>	<b>Fazenda Ingá</b>
Pé direito máximo (m)	6,00 m	6,23 m	6,02 m
Pé direito mínimo (m)	2,00 m	2,23 m	2,18 m
Transmitância (W/(m <sup>2</sup> .K))	3,00 W/(m <sup>2</sup> .K)	3,00 W/(m <sup>2</sup> .K)	3,00 W/(m <sup>2</sup> .K)

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Para o cálculo do carbono estocado, foi calculado o volume das madeiras utilizadas nas esquadrias e peças das coberturas. A Fazenda Caiçarinha apresentou um volume maior de carbono estocado, comparado as demais habitações. Como as espécies utilizadas não possuem tanta variação de densidade, a maior quantidade de carbono se deve a maior quantidade de madeira utilizada na habitação.

Tabela 4-14- Carbono estocado das três habitações

	Casarão da cachoeira	Fazenda caiçarinha	Fazenda Ingá
ESQUADRIAS	302,96 KgCO <sub>2</sub>	728,00 KgCO <sub>2</sub>	644,78 KgCO <sub>2</sub>
COBERTURA	3.824,44 KgCO <sub>2</sub>	4.547,15 KgCO <sub>2</sub>	2.679,78 KgCO <sub>2</sub>
TOTAL	4.126,52 KgCO <sub>2</sub>	5.275,14 KgCO <sub>2</sub>	3.324,56 KgCO <sub>2</sub>

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

A robustez das habitações analisadas foi avaliada com base na durabilidade dos materiais construtivos, na resistência a agentes naturais levando em consideração as intervenções realizadas ao longo do tempo. Embora todas as edificações apresentem um nível significativo de conservação, há particularidades que diferenciam seu desempenho. O Casarão da Cachoeira, com 135 anos, destaca-se pela longevidade de seus materiais, como barro e madeira, que demandaram mínimas intervenções ao longo do tempo. No entanto, observam-se rachaduras superficiais, manchas de umidade na alvenaria e desgaste pela incidência solar sobre os elementos de madeira. Os elementos da cobertura apresentam um baixo estado de conservação. As imagens termográficas revelaram diferenças de temperatura em áreas com fissuras e biodeterioração, evidenciando impactos da umidade e da radiação solar na integridade da envoltória.





Com 169 anos, a Fazenda Caiçarinha apresenta um nível de conservação superior ao do Casarão da Cachoeira, possivelmente devido à frequência de manutenções realizadas. O telhado e a estrutura interna encontram-se em ótimo estado. Entretanto, observa-se a presença de umidade na base das paredes e desgaste na coloração das esquadrias expostas ao sol. As imagens térmicas indicam menores variações de temperatura e ausência de patologias significativas, demonstrando um comportamento térmico mais uniforme em relação à primeira habitação. Além disso, foram identificados sinais de biodeterioração estética, bem como marcas de umidade provenientes da construção, de precipitação e do terreno.

A Fazenda Ingá, habitação mais antiga com 205 anos, exibe um nível moderado de robustez. O reboco externo desgastado e a exposição da alvenaria mista de pedra e tijolos de barro indicam vulnerabilidade em seus materiais. Apesar disso, o telhado do

alpendre mantém-se em ótimo estado. As imagens termográficas demonstraram que a umidade e a biodeterioração impactam a temperatura superficial, principalmente nas regiões mais expostas às intempéries. Além disso, foram identificados sinais de biodeterioração, tanto estética quanto física, além de marcas de umidade decorrentes da construção, da precipitação e do terreno. Em termos de robustez, a Fazenda Caiçarinha demonstrou melhor desempenho, seguida pela Fazenda Ingá, enquanto o Casarão da Cachoeira apresentou maior fragilidade devido ao desgaste estrutural e à ação prolongada do tempo.

Na escala de recuperação (Tabela 4-15), a Fazenda Ingá apresentou índices melhores, com todos os itens marcando escala 3 e 2, seguido pela fazenda Caiçarinha e por último o Casarão da Cachoeira.

Tabela 4-15- Recuperação das três habitações

	Casarão da cachoeira	Fazenda caiçarinha	Fazenda Ingá
	06	10	11
	03	02	04
	03	00	00
	03	03	00

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

Todas as habitações analisadas são construídas com materiais locais, o que facilita a manutenção. Entretanto, a Fazenda Ingá se destaca por preservar o piso original e manter a maioria de seus elementos em bom estado de conservação, obtendo a melhor avaliação geral. O Casarão da Cachoeira, por outro lado, apresenta o maior número de elementos em estado intermediário de deterioração, demandando um esforço maior para sua recuperação. Já a Fazenda Caiçarinha e a Fazenda Ingá demonstram maior robustez estrutural e menor necessidade de intervenções quando comparadas ao Casarão da Cachoeira (Quadro 4-13).

Quadro 4-13- Comparativo da recuperação nas três habitações

Elemento	Casarão da cachoeira	Fazenda caiçarinha	Fazenda Ingá
Esquadrias	Estado intermediário de deterioração, mas feitas com cumaru, madeira local.	Bom estado de conservação, feitas com cumaru, madeira local.	Bom estado de conservação, feitas com cumaru, madeira local.
Piso	Substituído em reforma (não incluído na análise)	Substituído em reforma (não incluído na análise)	Mantém o piso original em bom estado de conservação
Cobertura	Estado intermediário/ avançado de deterioração, mas feitas com madeiras e barro locais.	Bom estado de conservação, feitas com madeiras e barro locais.	Bom estado de conservação, feitas com madeiras e barro locais.
Paredes	Construídas com barro da região e técnicas tradicionais, fáceis de reparar e manter. Apresenta alguns sinais de deterioração.	Construídas com barro da região e técnicas tradicionais, fáceis de reparar e manter. Apresenta poucos sinais de deterioração.	Construídas com barro da região e técnicas tradicionais, fáceis de reparar e manter. Apresenta alguns sinais de deterioração.
Fundação	Mínimo estado de deterioração nas partes expostas, feita de pedra preta dura da região.	Bom estado de conservação, com poucas manifestações de deterioração	Estado intermediário de conservação, necessitando de manutenção moderada.

FONTE: Elaborado pela autora (2024)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado sobre as habitações vernaculares no semiárido, com foco nas edificações do Casarão da Cachoeira, Fazenda Caiçarinha e Fazenda Ingá, revela a importância da conservação e recuperação dessas estruturas diante das adversidades climáticas, especialmente em um contexto de mudanças climáticas e secas severas. A pesquisa não apenas destaca a condição atual dessas edificações, mas também propõe uma metodologia que pode ser aplicada em outras regiões semiáridas, enfatizando a compreensão dos modelos construtivos e necessidade de soluções adaptativas para garantir a resiliência das construções.

A metodologia adotada envolveu um estudo de caso para a análise de características construtivas, implantação e de materiais utilizados nas três habitações. Além disso, foram realizadas medições para cálculo de absorvância, cálculo de transmitância térmica, análise através de termografia infravermelha e observação direta, a fim de considerar a resistência dos materiais, a robustez das edificações e possibilidade de recuperação. A coleta de dados foi realizada por meio de visitas *in loco*, permitindo uma observação das condições estruturais e dos impactos das secas nas construções.

Os resultados obtidos evidenciam o potencial das edificações estudadas no enfrentamento das mudanças climáticas, especialmente no que se refere ao processo de desertificação e ao aumento das temperaturas. Este potencial se deve à capacidade das construções de se adaptarem ao clima local, além do importante diálogo entre os conhecimentos popular e científico-tecnológico, especialmente em relação aos sistemas construtivos e as técnicas tradicionais empregadas. A resiliência dessas edificações é expressa através de suas características construtivas e ambientais.

As características representativas das edificações vernaculares estudadas condizem com as obtidas em revisão de literatura. Para além das características, a utilização de materiais regionais, como pedras para as fundações, madeiras locais como o Cumaru (*Amburana cearenses*) nas esquadrias, a Braúna (*Schinopsis brasiliensis*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva Allemão*) e Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) nos telhados, é uma das principais estratégias adotadas. Os telhados, com grande inclinação, geram um pé-direito de aproximadamente 6,0 metros na cumeeira, com duas águas voltadas para as fachadas frontal e posterior. As janelas com medidas 1,0 m x 1,4 m as portas com 1,0 m x 2,2 m. As paredes externas, com espessura de 50 a 55 cm compostas

por tijolos maciços, e as telhas cerâmicas apresentam espessura de 1,5 cm, garantindo alta inércia térmica. Além disso, as paredes externas possuem cores claras com alto albedo, o que auxilia na reflexão da radiação solar. As estratégias passivas, como técnicas de resfriamento passivo e controle do microclima externo, também são elementos importantes nas construções analisadas. A Fazenda Caiçarina e o Casarão da Cachoeira estão localizados próximos a açudes, o que contribui para uma sensação térmica mais amena quando comparados à Fazenda Ingá. Todas as edificações apresentam um entorno com vegetação semi-compacta e áreas dispersas, e é perceptível a mudança da paisagem em períodos chuvosos e de estiagem, através dos rios intermitentes que secam em períodos de estiagem e da vegetação da caatinga que perdem folhas para reduzir a perda de água.

Em relação à transmitância térmica dos telhados, as três edificações apresentaram valores superiores ao limite estabelecido pela norma NBR 15.220-3 (2005). No entanto, as paredes das três construções atenderam ao valor de  $U \leq 2,20 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  exigido pela mesma norma. O Casarão da Cachoeira obteve um valor de  $1,09 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ , a Fazenda Caiçarina registrou  $1,02 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  e a Fazenda Ingá  $1,03 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ .

A transferência de calor entre o interior e o exterior pode ser minimizada por meio da utilização de materiais de cores claras e baixa absorvância. A absorvância das paredes do Casarão da Cachoeira foi de  $0,65\alpha$ , acima do valor de  $0,20\alpha$  sugerido para paredes brancas na norma. As esquadrias do Casarão da Cachoeira apresentaram uma absorvância de  $0,86\alpha$ , valor que corresponde entre as cores vermelha ( $0,74 \alpha$ ) e preta ( $0,97 \alpha$ ). A absorvância das paredes da Fazenda Caiçarina foi de  $0,22\alpha$ , enquanto as esquadrias de tom terracota apresentaram  $0,82\alpha$ . Já na Fazenda Ingá, as paredes tiveram uma absorvância de  $0,20\alpha$ , e as esquadrias,  $0,74\alpha$ . Os valores de absorvância obtidos nas fazendas Caiçarina e Ingá foram semelhantes, e as imagens térmicas de ambas evidenciam uma diferença significativa de temperatura entre paredes e esquadrias, sendo que as superfícies com maior absorvância apresentam temperaturas mais elevadas. No Casarão da Cachoeira, por outro lado, a diferença de absorvância entre esquadria e alvenaria é menos pronunciada, e as imagens térmicas mostram uma variação mais sutil de cores, indicando menor amplitude térmica entre esses elementos.

De acordo com a NBR 15.220-3 (2005), a área das aberturas para a zona bioclimática 7 deve representar entre 10% e 15% da área do piso. No Casarão da Cachoeira, nenhum ambiente atendeu a esses valores, enquanto na Fazenda Caiçarina,

apenas os quartos 2 e 5 cumpriram a exigência, e na Fazenda Ingá, a cozinha foi a única a atender ao parâmetro.

Visando à mitigação das mudanças climáticas por meio da construção civil, o sistema de certificação LEED recomenda a avaliação do carbono nas construções. Incentiva o uso da madeira como alternativa a outros materiais construtivos, devido à sua capacidade de armazenar carbono ao longo do tempo e a quantificação. Nesse contexto, torna-se relevante a quantificação de CO<sub>2</sub> estocado como forma de benefício ambiental associado à utilização desse material. Dessa forma, foi quantificado o armazenamento de carbono nos elementos de madeira das habitações. O Casarão da Cachoeira estocou um total de 4.126,52 kg de CO<sub>2</sub>, a Fazenda Caiçarina estocou 5.275 kg de CO<sub>2</sub>, e a Fazenda Ingá estocou 3.324,56 kg de CO<sub>2</sub>.

Embora o semiárido seja caracterizado pela escassez hídrica, as três edificações apresentam manchas decorrentes de umidade ao longo dos anos. Essas manchas, causadas por precipitação e biodeterioração estética, costumam ocorrer nas mesmas áreas: próximas à cobertura, abaixo das pingadeiras das esquadrias e nas proximidades da fundação.

Apesar de ser a construção mais recente entre as analisadas, o Casarão da Cachoeira apresenta o maior desgaste em seus elementos de envoltória, possivelmente em decorrência dos anos em que permaneceu desocupado e sem manutenção. Em termos de recuperação, o Casarão da Cachoeira e a Fazenda Caiçarina atenderam a sete critérios na escala 3, enquanto a Fazenda Ingá cumpriu dez critérios. Todas as habitações investigadas utilizam técnicas construtivas e materiais locais, o que facilita tanto a manutenção quanto o acesso à mão de obra e a matéria-prima.

A comparação entre as três edificações revela diferenças em termos de resistência e robustez. O Casarão da Cachoeira, apesar de suas adaptações climáticas, enfrenta desafios maiores devido ao desgaste acentuado, enquanto a Fazenda Caiçarina se destaca pela sua boa conservação. A Fazenda Ingá, embora mais antiga, apresenta uma condição intermediária, com sinais de deterioração que requerem atenção, mas ainda mantém características que favorecem sua resistência. A utilização de materiais locais em todas as edificações é um ponto positivo, pois facilita a manutenção e a recuperação. No entanto, a pesquisa também evidenciou a necessidade de intervenções regulares e de uma abordagem proativa na conservação dessas estruturas, especialmente em um

contexto de mudanças climáticas que intensificam os desafios enfrentados pelas habitações vernaculares e vida útil dos materiais empregados.

Os principais desafios deste estudo incluem a dificuldade de localizar habitações vernaculares, sem grandes modificações estruturais, além das dificuldades de acesso, inerentes ao fato de muitas dessas construções estarem localizadas em áreas rurais. Como resultado, dois dos exemplares analisados foram encontrados exclusivamente por meio da revisão de literatura, o que pode afetar a representatividade das características observadas. Outro fator limitante foi a ausência de uma estação meteorológica nos municípios estudados, o que levou à utilização de dados climáticos da estação mais próxima, localizada em Caicó.

A pesquisa destaca a importância da preservação das habitações vernaculares no semiárido brasileiro, não apenas como patrimônio cultural, mas também como exemplos de resiliência e adaptação às condições climáticas adversas. A metodologia proposta pode servir como uma direção para futuras pesquisas e intervenções, contribuindo para a conservação dessas edificações e para a promoção de soluções sustentáveis que garantam a habitabilidade em regiões afetadas por secas. A continuidade da pesquisa e a implementação de estratégias de recuperação são essenciais para assegurar que essas construções históricas permaneçam como testemunhos da cultura e da sabedoria popular em face das mudanças climáticas.

Para estudos futuros, a metodologia adotada pode ser aplicada a investigações sobre habitações vernaculares em outras regiões com clima semiárido, ou ainda para a análise de como tecnologias contemporâneas podem ser incorporadas ao design vernacular. Outra possibilidade seria realizar uma análise comparativa da resiliência entre elementos e técnicas construtivas de edificações vernaculares e contemporâneas. Em última análise, este estudo destaca a necessidade de promover soluções que possibilitem a adaptação e a recuperação das edificações diante de eventos climáticos extremos, contribuindo para a construção de cidades e comunidades mais sustentáveis e resilientes.

## 6 REFERÊNCIAS

AFLAKI, A. *et al.* A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. **Energy and Buildings**, v. 101, p. 153–162, ago. 2015.

ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MELO, R. F. DE. **Mudanças climáticas e desertificação no Semi-árido Brasileiro**. [s.l: s.n.].

ARAÚJO, Victor de; VASCONCELOS, Juliano; CORTEZ-BARBOSA, Juliana; MORALES, Elen; CHRISTOFORO, André; GAVA, Maristela; LAHR, Francisco; GARCIA, José. **Wood consumption and fixations of carbon dioxide and carbon from timber housing techniques: A Brazilian panorama**. *Energy & Buildings*, v. 216, 2020, p. 109960.

ATTIA, S. *et al.* Resilient cooling of buildings to protect against heat waves and power outages: Key concepts and definition. **Energy and Buildings**, v. 239, p. 110869, maio 2021.

AYSHA, S.; MANI, M. Adaptation of Buildings to Climate Change. *Em: Encyclopedia of Sustainable Technologies*. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 331–349.

BAHRAMIFAR, B.; GHAREHBASHLOO, E.; HOSSEINI, A. Environmentally responsive design in the vernacular architecture of mountainous regions. The case of Kang village, Iran. **Journal of Housing and the Built Environment**, v. 37, n. 3, p. 1283–1317, 1 set. 2022.

BAUDOIN, M.-A.; HEGGA, S.; ZAROUG, M. Vulnerability and Adaptation to Climate Change in the Semi-Arid Regions of Southern Africa. 2015.

BHAUMIK, R. *et al.* **Smart Vernacular Architecture: A Framework for Assessment and Virtual Reality-based Visualisation of Indigenous Toda Dwellings**Procedia Computer Science. **Anais...Elsevier B.V.**, 2022

BODACH, S.; LANG, W.; HAMHABER, J. Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 227–242, out. 2014.

BORGES, A. M. **Vernacu[lares]: A casa de fazenda seridoense do século XIX como exemplo de adaptação ao clima semiárido**. Natal: [s.n.].

BOTHARA, J.; INGHAM, J.; DIZHUR, D. Qualifying the earthquake resilience of vernacular masonry buildings along the Himalayan arc. **Journal of Building Engineering**, v. 52, 15 jul. 2022.

BRIAN WALKER; DAVID SALT. **Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World**. [s.l.] Island Press, 2006.

CALVIN, K. *et al.* **IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.** (P. Arias et al., Eds.). [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>>.

CORREIA, M.; DIPASQUALE, L.; MECCA, S. **Versus heritage for tomorrow: vernacular knowledge for sustainable architecture**. Firenzi: [s.n.].

CUNHA, E. DA. **Os Sertões**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.bibvirt.futuro.usp.br>>.

DONALD PEREIRA, C. *et al.* **Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas (v.1)**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[www.cb3e.ufsc.br](http://www.cb3e.ufsc.br)>.

FEEHAN, A. *et al.* Adopting an integrated building energy simulation and life cycle assessment framework for the optimisation of facades and fenestration in building envelopes. **Journal of Building Engineering**, v. 43, 1 nov. 2021.

FEIJÓ, P. H. F. **A Arquitetura Tradicional de Acari no Século XIX**. 1ª ed. Natal: Fundação José Augusto, 2014.

FERREIRA, J. A. *et al.* **Além da pedra: Utilização de rochas em alvenarias nas zonas rurais no Nordeste do Brasil, séculos XVII ao XX**. [s.l.: s.n.].

FUJITA, K.; TAKEWAKI, I. Robustness Evaluation on Earthquake Response of Base-Isolated Buildings with Uncertain Structural Properties under Long-Period Ground Motions. **Architectoni.ca**, v. 1, n. 1, p. 46–59, 30 mar. 2012.

GUPTA, S. K.; CHANDA, P. R.; BISWAS, A. A 2E, energy and environment performance of an optimized vernacular house for passive cooling - Case of North-East India. **Building and Environment**, v. 229, 1 fev. 2023.

HENNA, K.; SAIFUDEEN, A.; MANI, M. Resilience of vernacular and modernising dwellings in three climatic zones to climate change. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 1 dez. 2021.

HERTZ, J. B. **Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do brasil**. 1ª ed. [s.l.] Pioneira, 1998.

INO, A.; SHIMBO, L. **Projetar e construir com madeira**. São Paulo: Blusher, 2024. v. 1

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Deserts, Semiarid Areas and Desertification. *Em: Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. [s.l.] Cambridge University Press, 2023. p. 2195–2232.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Ch. 4. Forestland. EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (eds.). Japan: IGES, 2006.

JULIANI, B. B. T. **Avaliação da utilização e viabilidade da termografia infravermelha em inspeções de revestimentos e estruturas na construção civil**. [s.l: s.n.].

KAIHOUL, A. *et al.* The effect of climate-responsive design on thermal and energy performance: A simulation based study in the hot-dry Algerian South region. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 103023, nov. 2021.

KLEIN, R. J. T.; NICHOLLS, R. J.; THOMALLA, F. Resilience to natural hazards: How useful is this concept? **Environmental Hazards**, v. 5, n. 1, p. 35–45, 1 jan. 2003.

KRELLING, A. F. *et al.* A simulation framework for assessing thermally resilient buildings and communities. **Building and Environment**, v. 245, p. 110887, nov. 2023.

LUCENAS, R.; BAUER, E.; PAVÓN, E. **Diferenças nos padrões de identificação termográfica de vários materiais e defeitos** Editora Cubo, 2021

LÚCIA R. DE MASCARÓ. **Luz, clima e arquitetura**. 3ª ed. São Paulo: Nobel, 1983.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico.** [s.l: s.n.].

MARENGO, J.; SOARES, W. **Impacto das Mudanças Climáticas no Brasil e Possíveis Futuros Cenários Climáticos: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC 2001.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/about/about.htm>>.

MARTÍNEZ, I.; MARTÍNEZ, E. Qualitative timber structure assessment with passive IR thermography. Case study of sources of common errors. **Case Studies in Construction Materials**, v. 16, 1 jun. 2022.

MEEROW, S.; STULTS, M. Comparing conceptualizations of urban climate resilience in theory and practice. **Sustainability (Switzerland)**, v. 8, n. 7, 21 jul. 2016.

MESQUITA, L.; MOTA, N. **Cidades do nordeste: do pote à rua: métodos construtivos tradicionais.** Recife: Cepe, 2017.

MICHAEL, A.; DEMOSTHENOUS, D.; PHILOKYPROU, M. Natural ventilation for cooling in mediterranean climate: A case study in vernacular architecture of Cyprus. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 333–345, jun. 2017.

MORESCO, J. *et al.* **Termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado.** [s.l: s.n.].

MOTEALLEH, P.; ZOLFAGHARI, M.; PARSAAEE, M. Investigating climate responsive solutions in vernacular architecture of Bushehr city. **HBRC Journal**, v. 14, n. 2, p. 215–223, 17 ago. 2018.

NASCIMENTO, J. C. DO *et al.* **Avaliação do conforto térmico em antigas casas de fazenda no clima quente e seco, o interior do Rio Grande do Norte.** [s.l: s.n.].

NATHÁLIA MARIA MONTENEGRO DINIZ. **Velhas fazendas da Riberia do Seridó.** São Paulo: FAUUSP, 2008.

OLIVEIRA, G. F. P. DE. **Potencialidades na termografia para o diagnóstico de patologias associadas à humidade.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.fe.up.pt>>.

OLIVER, P. **Built to Meet Needs.** Oxford: [s.n.].

OSMAN, M. M.; SEVINC, H. Adaptation of climate-responsive building design strategies and resilience to climate change in the hot/arid region of Khartoum, Sudan. **Sustainable Cities and Society**, v. 47, p. 101429, maio 2019.

PHILOKYPROU, M. *et al.* Environmentally responsive design in Eastern Mediterranean. The case of vernacular architecture in the coastal, lowland and mountainous regions of Cyprus. **Building and Environment**, v. 111, p. 91–109, jan. 2017.

PHILOKYPROU, M.; MICHAEL, A.; THRAVALOU, S. **Assessment of the Bioclimatic Elements of Vernacular Architecture. The Historic Centre of Nicosia, Cyprus.** [s.l: s.n.].

RAPPORT, A. **House, form and culture.** New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1969.

SANTIAGO GOMES MARINHO, A. *et al.* **Fatores e elementos climáticos usando a classificação de Köppen-Geiger.** [s.l: s.n.].

SOARES TRAVASSOS, I.; ISRAEL DE SOUZA, B.; BARBOSA DA SILVA, A. Secas, desertificação e políticas públicas no semiárido nordestino brasileiro. n. 1, p. 147–164, 2013.

SOUZA, Matheus Viana de. **A disponibilidade e o desempenho ambiental de madeiras da Caatinga de planos de manejo florestal sustentável para o uso em componentes construtivos.** Tese de doutorado em andamento, 109 p. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2025.

SZOKOLAY, S. V. **Responsive Design Approaches.** [s.l: s.n.].

SZOKOLAY, S. V. **Introdução à ciência arquitetônica: A base do projeto sustentável.** 1ª ed. [s.l.] Editora Perspectiva S/A, 2019.

TAKEWAKI, I. **Toward greater building earthquake resilience using concept of critical excitation: A review** **Sustainable Cities and Society**, dez. 2013.

TEIXEIRA, R. B. Arquitetura vernacular. Em busca de uma definição . **São Paulo, ano 17, n. 201.01, Vitruvius, fev.** , v. ano 17 n.201, 2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **A Practical Guide to Climate-resilient Buildings and Communities.** [s.l: s.n.].

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. *LEED v5 Building Design and Construction: New Construction, Core and Shell*. Final Draft. Washington, D.C.: U.S. Green Building Council, fev. 2025. Disponível em: <https://www.usgbc.org/resources/leed-v5-building-design-and-construction>. Acesso em: fev. 2025.

\_\_\_\_. **A Practical Guide to Climate-resilient Buildings and Communities**. Nairobi.: [s.n.].

VICTOR OLGAYAY. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. 4. ed. New Jersey, USA: Princenton University Press, 1973.

VILLA, S. B.; OLIVEIRA, N. F. G. DE. **Métodos de avaliação da resiliência no ambiente construído em habitação de interesse social: uma abordagem teórica no contexto da cidade de Uberlândia-MG**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/03/25/minha-casa-minha-vida-completa-10-anos-com-queda-nas->](https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/03/25/minha-casa-minha-vida-completa-10-anos-com-queda-nas-).

WA TER FORUM, W. **Vulnerability of arid and semi-arid regions to climate change-Impacts and adaptive strategies Perspectives on water and climate change adaptation**. [s.l: s.n.].

WEIMER, G. **Arquitetura popular brasileira**. São Paulo: Martins Fontes, 2012.

YANG, W. *et al.* A systematic review of indoor thermal environment of the vernacular dwelling climate responsiveness. **Journal of Building Engineering**, v. 53, p. 104514, ago. 2022.

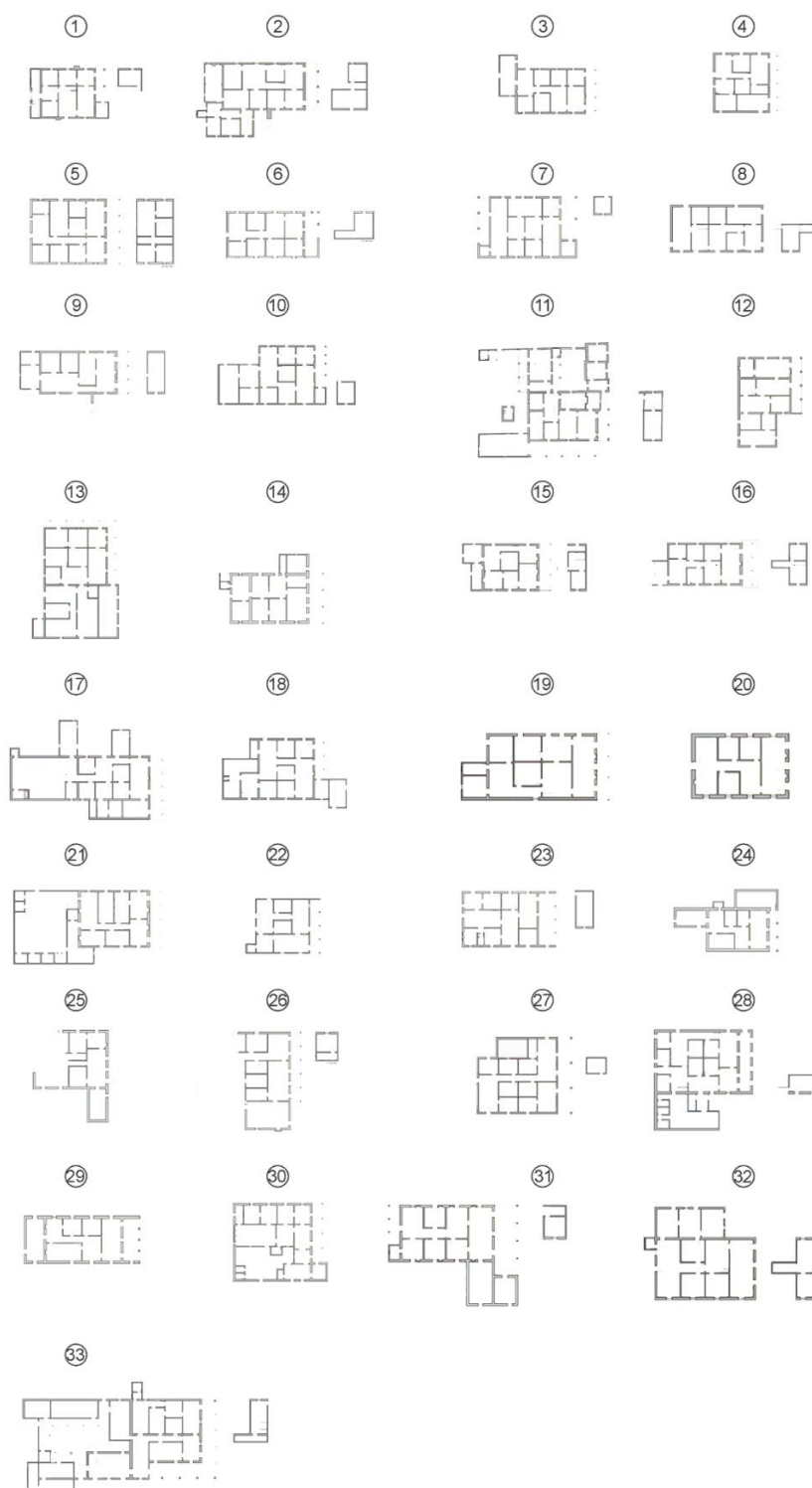
YENIDOGAN, C. **Earthquake-Resilient Design of Seismically Isolated Buildings: A Review of Technology***Vibration* Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 set. 2021.

## GLOSSÁRIO

**Absortância:** Propriedade de um material que representa a fração da radiação incidente que é absorvida por sua superfície, sem ser refletida ou transmitida. É um valor adimensional, variando entre 0 e 1, e depende do comprimento de onda da radiação e das características do material.

**Carbono estocado:** Quantidade de carbono retida na biomassa da madeira utilizada em construções, móveis ou outros produtos. Esse carbono é originalmente absorvido da atmosfera pelas árvores durante o crescimento por meio da fotossíntese e permanece armazenado enquanto o material não se decompõe ou é queimado, contribuindo para a redução do CO<sub>2</sub> na atmosfera e auxiliando no equilíbrio do ciclo do carbono.

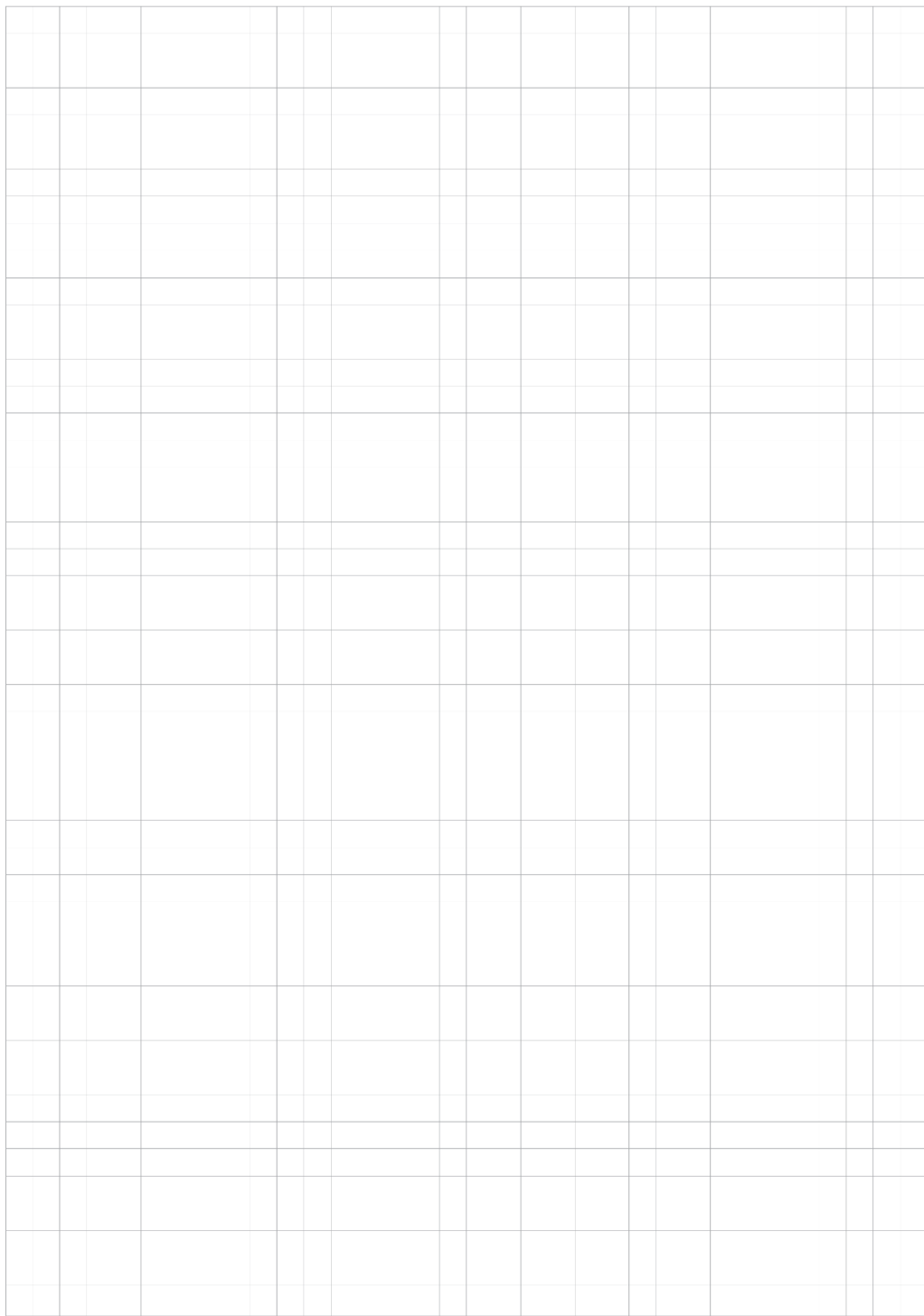
**Transmitância térmica:** Também chamada de coeficiente de transmissão térmica (U), é a medida da quantidade de calor que atravessa um material ou conjunto de materiais por unidade de área, devido a uma diferença de temperatura entre seus lados. Sua unidade de medida é expressa em W/m<sup>2</sup>·K (watts por metro quadrado por kelvin) e é um parâmetro essencial na análise de desempenho térmico de edificações e isolamento térmico.

**APÊNDICE A: Habitações analisadas para as características representativas**

FONTE: Adaptado de Diniz (2008) e Feijó (2014)

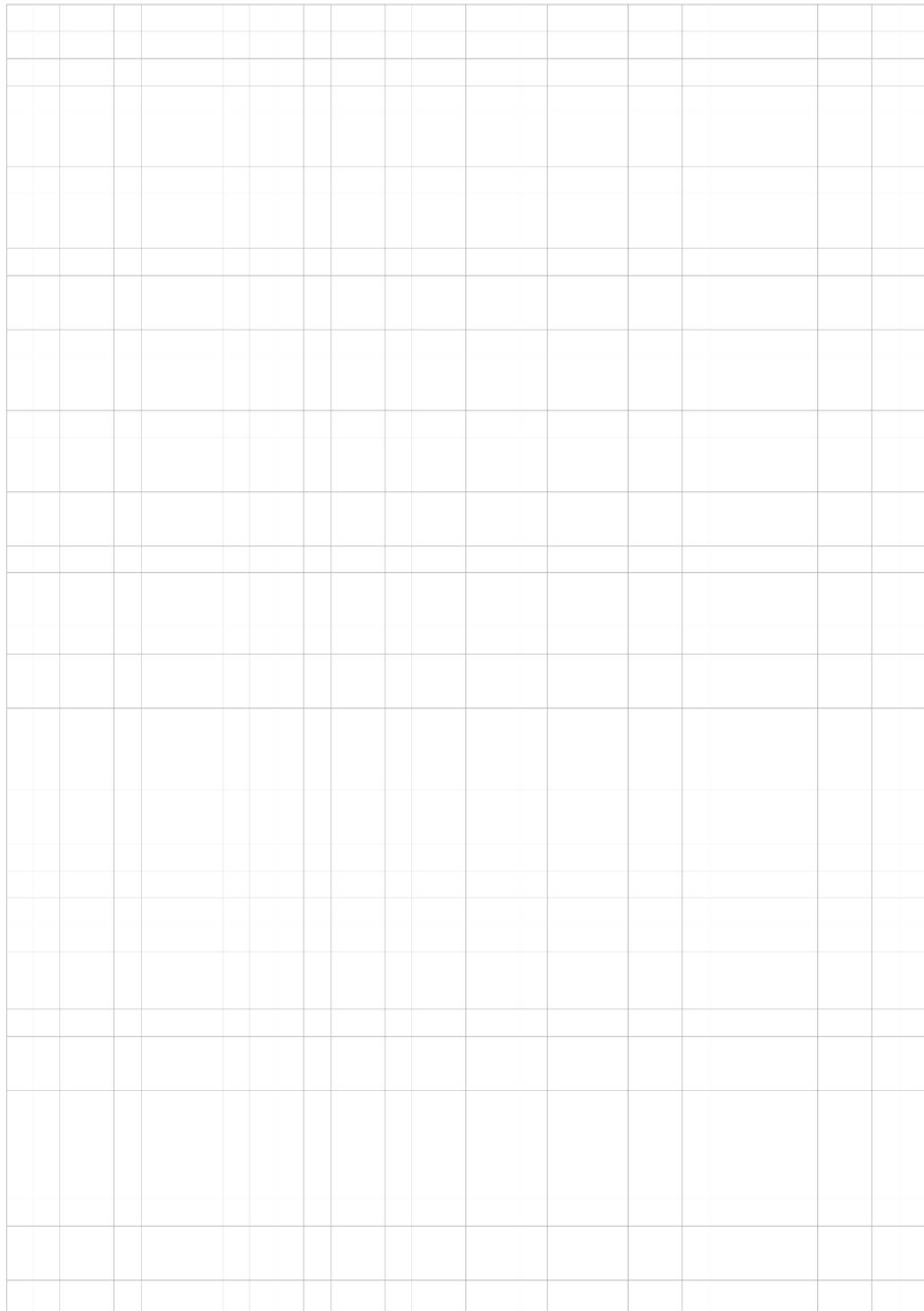


CROQUI: CORTES E FACHADAS (ENVOLTÓRIA)



ESCALA GRÁFICA  
0 50 1 2 5

CROQUI: COBERTURA



ESCALA GRÁFICA  
0 .25 .50 1 2 5

## ENTORNO



## Adensamento

Compacto

Semi-compacto

Disperso


## Padrão do entorno

Topografia



- Baixo  
 Médio  
 Alto

Vegetação



- Compacta  
 Semi-compacta  
 Dispersa

Corpos d'água



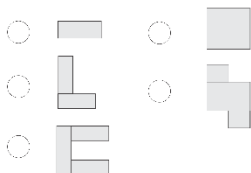
- Pequeno  
 Médio  
 Grande

## Observações


## EDIFICAÇÃO

## FORMA

## Checklist



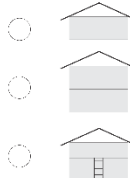
Ambiente semi-aberto

- Presença de alpendre

## Profundidade

- Até 10m  
 De 10 a 15m  
 Maior que 15m

## Andares



✓, sim; X, não

+, aplicado; ±, parcialmente aplicado; -, raramente aplicado

## ENVOLTÓRIA



## COBERTURA

## Checklist

Águas


 Outro
 

---

Pé direito

---

 Ponto mais baixo
 

---



---

 Ponto mais alto
 

---



---

 Angulação
 

---

Estrutura

- 
- Madeira
- 
- 
- Outros

Tipo

---

Telha

- 
- Colonial
- 
- 
- Outros
- 

Estado de conservação

- 
- Conservado
- 
- 
- Reformado
- 
- 
- Não conservado
- 
- 
- Ruína

Código:



Convencionais:

Termográficas:

## CHECKLIST

## Tipo de telhado

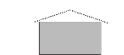
Telhado inclinado

Telhado inclinado  
com beiral largo projetado

Forro



Frestas perceptíveis



✓, sim; X, não

+, aplicado; ±, parcialmente aplicado; -, raramente aplicado

## ENVOLTÓRIA



## ESQUADRIAS

## Checklist

ID: \_\_\_\_\_

## Material

- Madeira  
 Outro

## Tipo

## Portas

- Porta interna com duas bandas  
 Porta interna com folha única  
 Porta externa com duas bandas  
 Porta externa com duas folhas sendo a superior dividida em duas

## Janelas

- Janela com folha única  
 Janela com duas folhas  
 Janela com folha única articulada  
 Vão entaipado  
 Janela pivotante

## Estado de conservação

- Conservado  
 Reformado  
 Não conservado  
 Ruína

## Espessura

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

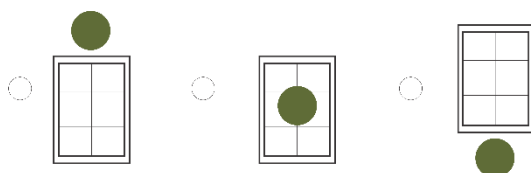
## PAF

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## Medidas

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



## Obstrução por vegetação



## Sombreamento

- Sombreada  
 Não sombreada

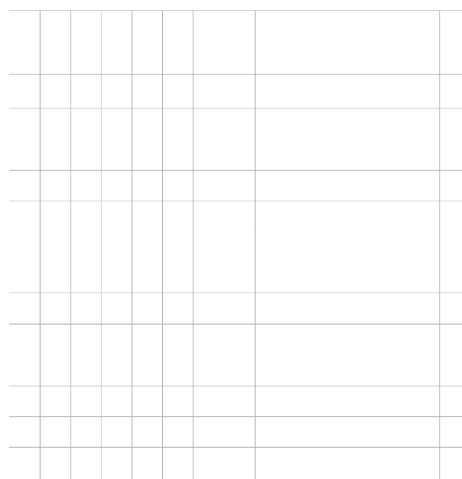
## Submetida à intempéries

- Radiação solar   
 Chuva 

## Código:



## Termográficas:



ESCALA GRÁFICA

0 .10 .20 .30 .50 1

✓, sim; X, não



## ENVOLTÓRIA



## PAREDES

## Checklist

ID: \_\_\_\_\_

## Materiais

- Alvenaria de tijolo de barro  
 Argamassa e cal  
 Outros

 \_\_\_\_\_  
 Dimensões do tijolo

Cor
 \_\_\_\_\_

- Massa térmica alta

Código:



Convencionais:

Termográficas:

Camadas que compõe a parede:


ESCALA GRÁFICA

0 .10 .20 .30 .50 1



ID: \_\_\_\_\_

## Materiais

- Alvenaria de tijolo de barro  
 Argamassa e cal  
 Outros

 \_\_\_\_\_  
 Dimensões do tijolo

Cor
 \_\_\_\_\_

- Massa térmica alta

Código:



Convencionais:

Termográficas:

Camadas que compõe a parede:


ESCALA GRÁFICA

0 .10 .20 .30 .50 1



## APÊNDICE C: Memória de cálculo de transmitância térmica

### Memória de cálculo de transmitância térmica das paredes do casarão da cachoeira.

Para chegar até o valor de transmitância térmica (U) da parede, os seguintes cálculos foram feitos:

- Cálculo da resistência térmica do tijolo de barro:

Para a condutividade térmica ( $\lambda$ ) do tijolo de barro foi adotado o valor típico de  $0,7 \text{ W}/(\text{m.K})$ .

$$\text{Espessura do tijolo (L1)} = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Resistência térmica do tijolo (Rt1)} = L1 / \lambda = 0,5 \text{ m} / 0,7 \text{ W}/(\text{m.K}) = 0,71 \text{ K.m}^2/\text{W}$$

-Cálculo da resistência térmica da argamassa exterior:

Para a condutividade térmica da argamassa foi adotado um valor típico de  $0,15 \text{ W}/(\text{m.K})$ .

$$\text{Espessura da argamassa exterior (L2)} = 1,5 \text{ cm} = 0,015 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Resistência térmica da argamassa exterior (Rt2)} &= L2 / \lambda = 0,015 \text{ m} / 0,15 \\ &\text{W}/(\text{m.K}) = 0,1 \text{ K.m}^2/\text{W} \end{aligned}$$

O cálculo da resistência térmica da argamassa interior, segue o mesmo padrão do exterior. A resistência térmica total (Rt) da parede é a soma das resistências térmicas dos materiais:

$$Rt = Rt1 + Rt2 + Rt3$$

$$= 0,714 \text{ K.m}^2/\text{W} + 0,1 \text{ K.m}^2/\text{W} + 0,1 \text{ K.m}^2/\text{W}$$

$$= 0,914 \text{ K.m}^2/\text{W}$$

A transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total:

$$U = 1 / Rt$$

$$= 1 / 0,739 \text{ K.m}^2/\text{W}$$

$$\approx 1,09 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

### Memória de cálculo de transmitância térmica das paredes fazenda Caiçarina.

Para chegar até o valor de transmitância térmica (U) da parede, os seguintes cálculos foram feitos:

- Cálculo da resistência térmica do tijolo de barro:

Para a condutividade térmica ( $\lambda$ ) do tijolo de barro foi adotado o valor típico de 0,7 W/(m.K).

$$\text{Espessura do tijolo (L1)} = 55 \text{ cm} = 0,55 \text{ m}$$

$$\text{Resistência térmica do tijolo (Rt1)} = L1 / \lambda = 0,55 \text{ m} / 0,7 \text{ W/(m.K)} = 0,78 \text{ K.m}^2/\text{W}$$

-Cálculo da resistência térmica da argamassa exterior:

Para a condutividade térmica da argamassa foi adotado um valor típico de 0,15 W/(m.K).

$$\text{Espessura da argamassa exterior (L2)} = 1,5 \text{ cm} = 0,015 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Resistência térmica da argamassa exterior (Rt2)} &= L2 / \lambda = 0,015 \text{ m} / 0,15 \\ &\text{W/(m.K)} = 0,1 \text{ K.m}^2/\text{W} \end{aligned}$$

O cálculo da resistência térmica da argamassa interior, segue o mesmo padrão do exterior. A resistência térmica total (Rt) da parede é a soma das resistências térmicas dos materiais:

$$\begin{aligned} R_t &= R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} \\ &= 0,78 \text{ K.m}^2/\text{W} + 0,1 \text{ K.m}^2/\text{W} + 0,1 \text{ K.m}^2/\text{W} \\ &= 0,98 \text{ K.m}^2/\text{W} \end{aligned}$$

A transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total:

$$\begin{aligned} U &= 1 / R_t \\ &= 1 / 0,98 \text{ K.m}^2/\text{W} \\ &\approx 1,02 \text{ W/(m}^2\text{.K)} \end{aligned}$$

### Memória de cálculo de transmitância térmica das paredes fazenda Ingá.

Para chegar até o valor de transmitância térmica (U) da parede, os seguintes cálculos foram feitos:

- Cálculo da resistência térmica do tijolo de barro:

Para a condutividade térmica ( $\lambda$ ) do tijolo de barro foi adotado o valor típico de 0,7 W/(m.K).

$$\text{Espessura do tijolo (L1)} = 54 \text{ cm} = 0,54 \text{ m}$$

$$\text{Resistência térmica do tijolo (Rt1)} = L1 / \lambda = 0,54 \text{ m} / 0,7 \text{ W/(m.K)} = 0,77 \text{ K.m}^2/\text{W}$$

-Cálculo da resistência térmica da argamassa exterior:

Para a condutividade térmica da argamassa foi adotado um valor típico de 0,15 W/(m.K).

$$\text{Espessura da argamassa exterior (L2)} = 1,5 \text{ cm} = 0,015 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Resistência térmica da argamassa exterior (Rt2)} &= L2 / \lambda = 0,015 \text{ m} / 0,15 \\ &\text{W/(m.K)} = 0,1 \text{ K.m}^2/\text{W} \end{aligned}$$

O cálculo da resistência térmica da argamassa interior, segue o mesmo padrão do exterior. A resistência térmica total (Rt) da parede é a soma das resistências térmicas dos materiais:

$$\begin{aligned} R_t &= R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} \\ &= 0,77 \text{ K.m}^2/\text{W} + 0,1 \text{ K.m}^2/\text{W} + 0,1 \text{ K.m}^2/\text{W} \\ &= 0,97 \text{ K.m}^2/\text{W} \end{aligned}$$

A transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total:

$$\begin{aligned} U &= 1 / R_t \\ &= 1 / 0,97 \text{ K.m}^2/\text{W} \\ &\approx 1,03 \text{ W/(m}^2\text{.K)} \end{aligned}$$

## APÊNDICE D: Memória de cálculo do carbono estocado

### Memória de cálculo de carbono estocado nos elementos de madeira do casarão da cachoeira.

Para chegar até o valor do carbono estocado, os seguintes cálculos foram feitos:

#### Esquadrias:

Volume calculado para as madeiras da esquadria em Cumaru (*Amburana cearenses*): 0,30m<sup>3</sup>

$$mC = (0,30 \times 586) \times 0,47 \times (44/12)$$

$$mC = 302,96 \text{ Kg/CO}_2$$

#### Telhado:

Elementos feitos de Braúna (*Schinopsis brasiliensis*)

Volume calculado para as madeiras do telhado em Braúna: 0,86m<sup>3</sup>

$$mC = (0,86 \times 1.230) \times 0,47 \times (44/12)$$

$$mC = 1.815 \text{ Kg/CO}_2$$

Elementos feitos de Pereiro (*Aspidosperma pyriformium*)

Volume calculado para as madeiras do telhado em Pereiro: 1,84m<sup>3</sup>

$$mC = (1,84 \times 634) \times 0,47 \times (44/12)$$

$$mC = 2.008,56 \text{ Kg/CO}_2$$

Totalizando 4.126,52 Kg/CO<sub>2</sub> para o telhado e 4.429,48 Kg/CO<sub>2</sub> para todos os elementos de madeira.

## **Memória de cálculo de carbono estocado nos elementos de madeira na fazenda Caiçarinha.**

Para chegar até o valor do carbono estocado, os seguintes cálculos foram feitos:

### **Esquadrias:**

Volume calculado para as madeiras da esquadria em Cumaru (*Amburana cearenses*): 0,72m<sup>3</sup>

$$mC = (0,72 \times 586) \times 0,47 \times (44/12)$$

$$mC = 728 \text{ Kg/CO}_2$$

### **Telhado:**

Elementos feitos de Aroeira Aroeira (*Myracrodruon urundeuva Allemão*)

Volume calculado para as madeiras do telhado em Aroeira: 1,35m<sup>3</sup>

$$mC = (1,35 \times 740) \times 0,47 \times (44/12)$$

$$mC = 1.721,62 \text{ Kg/CO}_2$$

Elementos feitos de Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*)

Volume calculado para as madeiras do telhado em Aroeira: 2,59m<sup>3</sup>

$$mC = (2,59 \times 634) \times 0,47 \times (44/12)$$

$$mC = 2.825,52 \text{ Kg/CO}_2$$

Totalizando 4.547,14 Kg/CO<sub>2</sub> para o telhado e 5.275,14 Kg/CO<sub>2</sub> para todos os elementos de madeira.

## Memória de cálculo de carbono estocado nos elementos de madeira na fazenda Ingá.

Para chegar até o valor do carbono estocado, os seguintes cálculos foram feitos:

### Esquadrias:

Volume calculado para as madeiras da esquadria em Cumaru (*Amburana cearenses*): 0,64m<sup>3</sup>

$$mC = (0,64 \times 586) \times 0,47 \times (44/12)$$

$$mC = 644,78 \text{ Kg/CO}_2$$

### Telhado:

Elementos feitos de Aroeira Aroeira (*Myracrodruon urundeuva Allemão*)

Volume calculado para as madeiras do telhado em Aroeira: 1,35m<sup>3</sup>

$$mC = (0,55 \times 740) \times 0,47 \times (44/12)$$

$$mC = 701,97 \text{ Kg/CO}_2$$

Elementos feitos de Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*)

Volume calculado para as madeiras do telhado em Aroeira: 2,59m<sup>3</sup>

$$mC = (1,81 \times 634) \times 0,47 \times (44/12)$$

$$mC = 1.977,81 \text{ Kg/CO}_2$$

Totalizando 2.679,78 Kg/CO<sub>2</sub> para o telhado e 3.324,56 Kg/CO<sub>2</sub> para todos os elementos de madeira.