

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Poliana De Melo Pessoa**

**INFLUÊNCIA DO INTEMPERISMO DA REGIÃO  
AMAZÔNICA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS  
DA MADEIRA ANGELIM-VERMELHO NA CIDADE DE  
PORTO VELHO**

**SÃO CARLOS – SP**

**2024**

**POLIANA DE MELO PESSÔA**

**INFLUÊNCIA DO INTEMPERISMO DA REGIÃO AMAZÔNICA NAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA ANGELIM-VERMELHO  
NA CIDADE DE PORTO VELHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Diego Henrique de Almeida

Área de concentração: Estruturas e Geotecnia

**SÃO CARLOS – SP**

**2024**

Pessôa, Poliana de Melo

Influência do intemperismo da Região Amazônica nas propriedades físicas e mecânicas da madeira Angelim-Vermelho na cidade de Porto Velho / Poliana de Melo Pessôa -- 2024.

66f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Diego Henrique de Almeida

Banca Examinadora: Diego Henrique de Almeida, Julio Cesar Molina, Sérgio Augusto Mello da Silva

Bibliografia

1. Intemperismo. 2. Madeira. 3. Estruturas. I. Pessôa, Poliana de Melo. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Arildo Martins - CRB/8 7180



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Poliana de Melo Pessôa, realizada em 06/11/2024.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Diego Henrique de Almeida (UFSCar)

Prof. Dr. Julio Cesar Molina (USP)

Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva (UNESP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus, pois até aqui Ele me sustentou e se fez presente, colocando ainda em meu caminho pessoas com quem pude contar em todos os momentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Diego Henrique de Almeida, responsável por me proporcionar quase todo meu entendimento sobre estruturas em madeira, expresse minha profunda gratidão. Não tenho como agradecer todo o apoio, incentivo e os ensinamentos passados, pois este se fez presente em todos os momentos, prestando apoio nos momentos ruins e comemorando vitórias. Exemplo de profissional e de ser humano, em quem também me espelho. Portanto, agradeço acima de tudo, pela amizade cultivada durante estes anos.

Ao Prof. Dr. André Luis Christoforo, com quem iniciei o presente mestrado, por todo o auxílio, contribuições, pelo acolhimento e incentivo durante o desenvolvimento da pesquisa, fundamentais para a concretização desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr, um grande mentor, a quem sou grata pela significativa contribuição e disponibilidade, sempre com sugestões e esclarecimentos pertinentes para a melhoria desta pesquisa.

Em especial, gostaria de agradecer à toda minha família, pois sei que sempre pude e sempre poderei contar com todos. Sou grata pelo apoio, pelo incentivo e pelo carinho. Destaco aqui meu amor infinito à minha mãe, Quélia, e à minha avó, Olímpia, minhas maiores referências e incentivadoras, pois a elas devo tudo que sou, os sonhos que realizei e os objetivos que pude alcançar.

Ao meu companheiro de vida, Italo, não tenho como demonstrar o amor e a gratidão que sinto por todo o apoio prestado. Incluo aqui também meus sogros, que sempre me receberam de braços abertos e se fizeram presentes.

Aos amigos de pós-graduação Pedro Jardim e Larissa Fé, pelas contribuições e pela amizade construída.

Aos técnicos de laboratório da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) Arione Cavalcante dos Santos, André Vinícius dos Santos e Evanderson Sousa Claudino, por todo o auxílio prestado durante a fase experimental desta dissertação, estes foram essenciais para o desenvolvimento e a conclusão da pesquisa.

Agradeço ao Laboratório de Propriedade dos Materiais da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Itapeva (SP), e ao Laboratório de Madeiras e Estruturas de

Madeira (LaMEM), da Universidade de São Paulo (USP), em São Carlos (SP), pela disponibilidade e auxílio durante a realização dos ensaios.

Por fim, meus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos pela oportunidade de realizar o mestrado.

## RESUMO

Apesar das vantagens apresentadas pela madeira, é comum o emprego desta em ambientes sujeitos à exposição à fatores bióticos e de intemperismo, provocando a sua degradação natural e prejudicando propriedades físicas e principalmente mecânicas de interesse, o que pode vir a afetar a vida útil das edificações. Neste contexto, a maior reserva de diversidade biológica do mundo se encontra na Amazônia, no entanto, embora esta região possua grande potencial para a produção de madeiras nativas, o setor ainda é tomado predominantemente pelas espécies Eucalipto e *Pinus*. Além disso, o intemperismo varia de acordo com a estação do ano e com a localidade, o que infere que as condições climáticas da região Amazônica podem ser ainda mais agravantes à degradação da madeira em comparação à outras regiões, possuindo como causa as suas características climáticas, por apresentar clima quente e úmido, com duas estações bem definidas, sendo uma seca e outra chuvosa, pois nesta última as precipitações se dão de formas intensas. Dessa forma, se faz necessário realizar estudos acerca da ação do intemperismo da região amazônica em madeiras nativas, visando avaliar e determinar a importância dos decréscimos nas propriedades mecânicas, pois estes podem chegar até mesmo a diminuir a classe de resistência adotada em projeto. Assim, o presente projeto de pesquisa possui como objetivo avaliar a influência da ação do intemperismo da região amazônica em Porto Velho, Rondônia, nas propriedades físicas e mecânicas da madeira Angelim-Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*), através da exposição de corpos de prova da madeira em questão ao intemperismo natural pelo período de um ano, e a posterior avaliação, através de ensaios de laboratório, das suas propriedades físicas de colorimetria e densidade, e propriedades mecânicas de dureza, módulo de elasticidade paralelo às fibras e resistência à compressão paralela às fibras. Além disso, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática a fim verificar os efeitos do intemperismo na madeira encontrados na literatura. A partir de análises estatísticas foi possível verificar que apesar de acarretar prejuízos às propriedades físicas e mecânicas da madeira, o intemperismo não perfaz uma degradação significativa à madeira em estudo no tempo delimitado para esta pesquisa, em exceção das propriedades de colorimetria e de dureza paralela às fibras, sendo necessário expandir o tempo de exposição desta a fim de verificar devidamente o seu comportamento perante os fatores climáticos da região amazônica.

**Palavras-chave:** intemperismo; madeira; Floresta Amazônica.

**ABSTRACT**

*Despite the advantages of wood, it is common to use it in environments subject to exposure to biotic and weathering factors, causing its natural manipulation, damaging physical and especially mechanical properties of interest, which can affect the useful life of buildings. In this context, the largest reserve of biological diversity in the world is found in the Amazon. However, although this region has great potential to produce native woods, the sector is still predominantly dominated by the Eucalyptus and Pine species. In addition, weathering varies according to the season and location, which implies that the climatic conditions of the Amazon region can be even more aggravating to the handling of wood compared to other regions, due to its climatic characteristics, as it has a hot and humid climate, with two well-defined seasons, one dry and one rainy, since in the latter, precipitation occurs in intense forms. Therefore, it is necessary to conduct studies on the action of weathering in the Amazon region on native woods, to evaluate and determine the importance of decreases in mechanical properties, since these can even reduce the resistance class imposed in the project. Thus, the present research project aims to evaluate the influence of the action of weathering in the Amazon region in Porto Velho, Rondônia, on the physical and mechanical properties of Angelim-Vermelho wood (*Dinizia excelsa* Ducke), by exposing specimens of the wood in question to natural weathering, and subsequently evaluating, through laboratory tests, its physical properties of colorimetry and density, and mechanical properties of hardness, modulus of elasticity parallel to the fibers and resistance to joint parallel to the fibers. In addition, a systematic literature review was carried out to verify the effects of weathering on wood found in the literature. From statistical analyses it was possible to verify that despite causing damage to the physical and mechanical properties of the wood, weathering does not significantly manipulate the wood under study in the time delimited for this research, with the exception of the colorimetry and hardness properties parallel to the fibers, making it necessary to extend the exposure time in order to correctly verify its behavior in the face of the climatic factors of the Amazon region.*

**Key words:** *weathering; timber; wood; Amazon Forest.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – PRINCIPAIS ESPÉCIES MADEIREIRAS COMERCIAIS DE ORIGEM NATIVA NO BRASIL.....	17
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DAS SEÇÕES TANGENCIAL E RADIAL E FOTOMACROGRAFIA DA MADEIRA ANGELIM-VERMELHO.....	18
FIGURA 3 – VOLUME DE EXPORTAÇÕES EM M <sup>3</sup> POR ESPÉCIE .....	19
FIGURA 4 – QUANTIDADE DE DOCUMENTOS EMITIDOS REFERENTES À DINIZIA EXCELSA POR REGIÃO .....	20
FIGURA 5 - MAPA DE CALOR.....	22
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DAS DIMENSÕES ADOTADAS PARA OS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS.....	27
FIGURA 7 - CORPOS DE PROVA EXPOSTOS AO INTEMPERISMO .....	28
FIGURA 8 – A) PESAGEM DOS CORPOS DE PROVA; B) MEDIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	30
FIGURA 9 - MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAIOS EMIC, MODELO DL30000 .....	31
FIGURA 10 - CORPO DE PROVA COM EXTENSÔMETRO ACOPLADO .....	32
FIGURA 11 – ATUADOR UTILIZADO PARA O ENSAIO DE DUREZA PELO MÉTODO JANKA .....	34
FIGURA 12 - ENSAIO DE COLORIMETRIA UTILIZANDO COLORÍMETRO PORTÁTIL DO TIPO KONICA MINOLTA CR-400 .....	35
FIGURA 13 – PRECIPITAÇÃO ACUMULADA X TEMPERATURA MÉDIA.....	38
FIGURA 14 - ANOMALIAS MENSAIS DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (°C) .....	39
FIGURA 15 - CORPOS DE PROVA NA DATA DE INÍCIO DA EXPOSIÇÃO (25/04/2023).....	40
FIGURA 16 - CORPOS DE PROVA APÓS 4 MESES DE EXPOSIÇÃO (25/08/2023) .....	41
FIGURA 17 - CORPOS DE PROVA APÓS 8 MESES DE EXPOSIÇÃO (27/12/2023) .....	41
FIGURA 18 - CORPOS DE PROVA APÓS 12 MESES DE EXPOSIÇÃO (25/04/2024) .....	42
FIGURA 19 – COMPARAÇÃO VISUAL ENTRE LOTES DE AMOSTRAS EXPOSTOS AO INTEMPERISMO DURANTE (A) 0 MESES, (B) 4 MESES, (C) 8 MESES E (D) 12 MESES .....	42
FIGURA 20 – CORPOS DE PROVA APÓS 4 MESES DE EXPOSIÇÃO COM O APARECIMENTO DE FISSURAS E RACHADURAS .....	43
FIGURA 21 – FOTO DOS CORPOS DE PROVA COM FISSURAS E RACHADURAS DURANTE O TEMPO DE EXPOSIÇÃO EM 20/10/2023.....	43
FIGURA 22 - RACHADURA NA SUPERFÍCIE DE CORPO DE PROVA APÓS 8 MESES DE EXPOSIÇÃO .....	44

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 - TERMOS DE BUSCA .....	21
TABELA 2 - <i>STRINGS</i> DE BUSCA .....	21
TABELA 3 – CONDIÇÕES HIDROMETEOROLÓGICAS DE PORTO VELHO .....	37
TABELA 4 - SÍNTESE DAS PROPRIEDADES FÍSICA, MECÂNICAS E COLORIMÉTRICAS. ....	45
TABELA 5 - MODELOS DE REGRESSÃO. ....	47

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	10
1.2 OBJETIVOS .....	11
1.2.1 Geral.....	11
1.2.2 Específicos .....	11
1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	12
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	13
2.1.1 Propriedades de interesse para a utilização da madeira na construção civil .....	13
2.2 INDÚSTRIA MADEIREIRA E DESDOBRO NA REGIÃO AMAZÔNICA .....	15
2.3 ANGELIM-VERMELHO ( <i>Dinizia excelsa Ducke</i> ).....	18
2.4 INTEMPERISMO E SEUS EFEITOS NA MADEIRA – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA .....	20
2.4.1 Intemperismo da Região Amazônica em Rondônia e Porto Velho.....	25
<b>3. MÉTODO DE PESQUISA.....</b>	<b>27</b>
3.1 CONFECÇÃO E EXPOSIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	27
3.2 COLETA DE DADOS .....	29
3.2.1 Densidade.....	30
3.2.2 Resistência à Compressão Paralela às fibras.....	31
3.2.3 Módulo de Elasticidade na direção Paralela às fibras – Rigidez Longitudinal.....	32
3.2.3.1 Dureza.....	33
3.2.4 Colorimetria .....	34
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	35
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>37</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE PORTO VELHO .....	37
4.2 COLETA DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	40
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
ANEXO I – TABELA RESUMO DOS RESULTADOS DA RBS .....	57

## 1. INTRODUÇÃO

---

O material de construção mais antigo, provavelmente, é a madeira, principalmente devido à sua disponibilidade e facilidade na utilização. Inúmeros estudos buscaram comparar a madeira com outros materiais construtivos, em especial com o concreto e o aço, e todos concluem que a madeira apresenta vantagens em pontos como: menor gasto de energia, menor emissão de carbono e ganhos econômicos (SHIGUE, 2018).

Com diversas finalidades, a madeira vem sendo empregada na construção civil em nas mais variadas atividades, sendo utilizada como fôrmas para a execução de componentes de estruturas, esquadrias, portas, pilares e vigas, atuando como elementos estruturais capazes de resistir satisfatoriamente aos esforços de compressão, tração e flexão atuantes na edificação (LIMA *et al.*, 2018; CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003).

Neste contexto, o Brasil se destaca como um dos maiores produtores de madeira do mundo. A maior reserva de diversidade biológica do mundo se encontra na Amazônia. Steege *et al.* (2016) afirma que até o momento do seu estudo, haviam sido observadas ou coletadas cerca de 12.000 espécies arbóreas na Amazônia, reconhecendo uma teoria de que existem aproximadamente 16.000 espécies como plausível, no entanto, o número real de espécies existentes ainda é desconhecido. Almeida *et al.* (2013) considera que algumas madeiras de origem amazônica apresentam vantagens devido às dimensões que estas atingem em poucos anos, possibilitando sua utilização de forma mais rápida.

Apesar do potencial apresentado na produção de madeiras nativas originárias da Floresta Amazônica, o setor ainda é tomado predominantemente pelas espécies Eucalipto e *Pinus* (ABIMCI, 2019). Um dos fatores que contribuem para este cenário é o de que, embora a atividade madeireira seja uma das principais atividades econômicas da região amazônica, a intensificação das fiscalizações ambientais e o avanço da fronteira agrícola vem diminuindo a produção de madeira serrada neste território, mantendo as indústrias como negócios familiares, sem tecnologias e mão de obra pouco qualificada, o que provoca níveis baixos de rendimento e altos de desperdício (STRAGLIOTTO; PEREIRA; OLIVEIRA, 2020).

No entanto, apesar das vantagens apresentadas pela madeira, é comum a utilização deste material em ambientes externos, estando exposta à fatores climáticos de mudanças de temperatura, chuvas, ventos, conhecidos como intemperismo, e fatores bióticos como a presença de fungos e insetos que provocam a degradação natural da madeira (COGULET; BLANCHET; LANDRY, 2016; OLANIRAN *et al.*, 2019; ROSU *et al.*, 2010). Este tipo de

degradação afeta propriedades físicas e principalmente mecânicas de interesse em elementos estruturais (ALMEIDA *et al.*, 2019; ALMEIDA *et al.*, 2021; SUAREZ *et al.*, 2022), o que pode prejudicar diretamente a vida útil das edificações.

Portanto, para a utilização da madeira como elemento estrutural, se faz necessário realizar caracterizações de forma a determinar as propriedades de interesse, classificando-a de acordo com a classe de resistência em que esta melhor se encaixa. Para realizar esta caracterização, recentemente, a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) atualizou a norma ABNT NBR 7190:2022 – “Projetos de estruturas de Madeira”, que rege os procedimentos de caracterização a serem adotados.

A nova versão da norma em questão é dividida em 7 partes, dentre as quais a de maior interesse para esta pesquisa é a ABNT NBR 7190-3:2022 – “Projeto de estruturas de madeira - Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas”, que normatiza o processo de caracterização a ser realizado para madeiras nativas.

Ressalta-se que o intemperismo varia de acordo com a estação do ano e com a localidade, tendo em vista que é diretamente dependente das condições do ambiente, por conta disso, é de suma importância o acompanhamento meteorológico do local (ALMEIDA, 2019).

Contudo, o presente trabalho possui importância ao tratar de um tema pouco abordado na literatura, trazendo informações sobre os prejuízos causados às propriedades mecânicas de madeiras nativas pela ação do intemperismo natural no período de um ano, contexto em que a maior parte dos autores adotam apenas o intemperismo artificial, que apesar de se assemelhar ao natural, é menos degradante, provavelmente devido à ação de fatores bióticos. Além disso, não foram encontradas referências na literatura que estudassem este mesmo efeito em condições amazônicas, onde as chuvas e o calor são mais severos, o que torna o presente trabalho inédito.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A cidade de Porto Velho, capital de Rondônia, está localizada em território Amazônico, apresentando um dos maiores índices pluviométricos do estado a que pertence, esta se destaca como um dos municípios que mais contribuem economicamente com o extrativismo vegetal (FRANCA, 2015; IBGE, 2016; IBGE, 2022).

Uma das madeiras mais utilizadas nesta região é o Angelim-Vermelho, mais conhecido no comércio local como Faveira-Ferro, denominação também adotada popularmente. Sua

aplicação é destinada muitas vezes à construção pesada externa (IPT, 2013), em especial em peças estruturais e pontes.

Devido ao fato de que o intemperismo é um fator determinante na degradação de madeiras externamente expostas (ALMEIDA *et al.*, 2019; OLANIRAN *et al.*, 2019; SUAREZ *et al.*, 2022), as condições de climáticas da região Amazônica podem ser ainda mais agravantes à degradação da madeira em comparação à outras regiões, o que pode ser atribuído às suas características climáticas, por apresentar clima quente e úmido, com duas estações bem definidas, sendo uma seca e outra chuvosa, pois nesta última as precipitações se dão de formas intensas. Além disso, o clima quente perdura durante todo o ano, com as temperaturas se mantendo acima de 18°C, principalmente na estação seca, onde se apresentam ainda mais altas que no restante do ano (FRANCA, 2015; COUTINHO *et al.*, 2018),

Por conta disso, se faz necessário realizar estudos acerca da ação do intemperismo da região amazônica em madeiras nativas, como o Angelim-Vermelho, a fim de avaliar e determinar a importância dos decréscimos nas propriedades mecânicas do material devido à degradação causada pela exposição, pois estes, com o passar do tempo, podem chegar até mesmo a diminuir a classe de resistência adotada em projeto. Ademais, é necessário aprofundar pesquisas em relação ao intemperismo natural, além de realizar pesquisas em condições amazônicas, tendo em vista que não foram identificados estudos neste sentido na base de dados.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Geral**

Avaliar a influência da ação do intemperismo da região amazônica em Porto Velho, Rondônia, pelo período de um ano nas propriedades físicas de densidade e colorimetria e nas propriedades mecânicas de resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade na direção paralela às fibras (rigidez) e dureza, da madeira nativa Angelim-Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*).

### **1.2.2 Específicos**

Para atingir o objetivo geral, devem ser cumpridos alguns objetivos específicos, sendo estes:

- Analisar a influência da exposição da madeira aos efeitos do intemperismo da região amazônica em Porto Velho com base no tempo de exposição;

- Comparar os resultados obtidos para a madeira sob intemperismo com os valores de referência e com valores contidos na literatura.

### **1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO**

O presente trabalho avaliou os efeitos do intemperismo da região amazônica na cidade de Porto Velho, capital de Rondônia, sobre a madeira nativa da espécie Angelim-Vermelho (*Dinizia Excelsa Ducke*) por meio da caracterização da colorimetria, da densidade aparente, da resistência e da rigidez na compressão paralela às fibras e das durezas paralela e perpendicular às fibras.

Ademais, para uma boa avaliação dos efeitos do intemperismo natural, é de interesse que estes fiquem expostos no mínimo por um ciclo hidrológico completo, estando submetidas à todas as variações do ciclo, por isso, para esta pesquisa o tempo de exposição considerado foi de um ano, a contar do mês de abril de 2023.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

---

O presente capítulo aborda sobre a madeira estrutural e suas propriedades, dando destaque ao angelim-vermelho, e intemperismo natural, principalmente no que se refere às condições amazônicas. Para a construção do raciocínio foram utilizadas pesquisas sobre estes temas encontradas nas bases de dados.

### 2.1 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O complexo fibroso contido no caule das árvores dá origem à madeira e, após o seu desdobro (corte das toras) esta pode ser aplicada como madeira serrada em técnicas construtivas (CAVALHEIRO *et al.*, 2016).

Segundo Calil Junior, Lahr e Dias (2003) a madeira se destaca na construção civil por possuir uma alta relação resistência/densidade, apresentando uma razão quatro vezes superior ao aço e dez vezes superior ao concreto, podendo ser adotada como uma solução de problemas relacionados a coberturas, cimbramentos, transposição de obstáculos, edificações destinadas a armazenamento, linhas de transmissão, obras portuárias, entre outras aplicações, sendo também destinada à fabricação de vários componentes para a edificação, como painéis de divisa, portas, pisos, forros, caixilhos e lambris.

Por ser um material renovável e abundante em áreas de manejo e reflorestamento, possui alto potencial de aproveitamento sendo extraído com baixos níveis de processamento (ALMEIDA *et al.*, 2013; CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003).

Pfeil e Pfeil (2003), dividem as madeiras utilizadas na construção civil em dois grupos distintos: as madeiras duras (*hardwoods*), também denominadas madeiras de lei, originadas de árvores dicotiledôneas, da classe das Angiospermas, que apresentam crescimento lento e folhas largas e achatadas, e as madeiras macias (*softwoods*) geralmente derivadas de árvores coníferas, da classe das Gimnospermas, apresentando crescimento rápido, sementes unidas em forma de cones e folhas de agulhas ou escamas.

#### 2.1.1 Propriedades de interesse para a utilização da madeira na construção civil

A utilização da madeira como elemento estrutural exige precauções que visam garantir a resistência da construção aos esforços atuantes nesta durante sua vida útil, sendo fundamental a sua classificação e a caracterização de suas propriedades físicas e mecânicas (ALMEIDA *et al.*, 2013).

A versão mais atual da norma que rege os projetos de estrutura de madeira, ABNT NBR 7190:2022 – “Projetos de estruturas de Madeira”, em sua primeira parte, denominada “Parte 1: Critérios de dimensionamento”, indica que as propriedades de interesse para a caracterização da madeira são densidade básica e densidade aparente, resistência, rigidez e umidade.

As propriedades físicas da madeira de maior interesse são: a anisotropia, apresentando três direções principais (longitudinal, radial e tangencial), a umidade, a retração, a dilatação linear e a deterioração da madeira, geralmente devido à ataques biológicos ou à ação do fogo (PFEIL; PFEIL, 2003).

Para a caracterização completa de madeiras de florestas nativas sem defeitos, se faz necessário realizar ensaios de resistência à compressão paralela às fibras, rigidez longitudinal, resistência à tração paralela às fibras, resistência à compressão perpendicular às fibras, rigidez perpendicular às fibras, resistência à tração perpendicular às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, resistência de embutimento paralelo às fibras, resistência ao fendilhamento, resistência à flexão e densidade aparente. Para uma caracterização mínima da resistência em espécies de madeira pouco conhecidas, podem ser realizados apenas os ensaios de resistência à compressão paralela às fibras, resistência à tração paralela às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e densidade aparente (ABNT NBR 7190-3, 2022).

Outro método apresentado pela ABNT NBR 7190-3:2022 – “Projetos de estruturas de Madeira – Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas” é o método simplificado, o qual permite a uma caracterização simplificada das resistências de madeiras de espécies usuais através dos ensaios de compressão paralela às fibras.

Estas propriedades mecânicas podem ser divididas em propriedades de resistência e propriedades de rigidez, sendo de maior interesse as propriedades de resistência denominadas resistência à compressão paralela às fibras e módulo de resistência à flexão na direção paralela às fibras, e, quanto às propriedades de rigidez destacam-se os módulos de elasticidade transversal e longitudinal (ALMEIDA *et al.*, 2013).

Anteriormente aos ensaios citados, é recomendável, ainda que sejam realizadas seleções dos corpos de prova com base em inspeções visuais, tendo em vista as propriedades mecânicas de uma peça estrutural são diferentes das propriedades mecânicas de corpos de prova que não apresentam defeitos, o que se deve a características perceptíveis ao olho humano

(CALIL NETO, 2011). Esta classificação visual consiste em uma avaliação não destrutiva da superfície da madeira (ALMEIDA *et al.*, 2013).

Ademais, dentre as propriedades de interesse da madeira, destaca-se a colorimetria, a qual pode ser influenciada por fatores como: ataques de organismos xilófagos, tratamentos químicos, tratamentos termomecânicos, composição química, anatomia e pela ação do intemperismo (ALMEIDA, 2017; BRITO, 2014; CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

De acordo com Almeida (2017), a colorimetria é uma propriedade organoléptica e, por ser uma das primeiras características que podem ser identificadas por meio de análise visual, pode ser considerada como uma das principais propriedades da madeira, por isso, algumas espécies chegam a ter seu nome popular ligado à sua coloração.

Com o fito de representar numericamente esta propriedade subjetiva, o sistema CIE  $L^*a^*b^*$  (*Comission International de L'Eclairage* ou Comissão Internacional de Iluminantes) consiste em um método que se baseia na luminosidade ou claridade, no matiz ou tonalidade e na cromaticidade ou saturação para definir a sensação da cor, o que possibilita a comparação entre as cores apresentadas pelas madeiras (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

## **2.2 INDÚSTRIA MADEIREIRA E DESDOBRO NA REGIÃO AMAZÔNICA**

O Brasil ocupa a 2ª posição no *ranking* mundial de países com maiores áreas florestais, possuindo sua base florestal composta por florestas plantadas e nativas, destas, cerca de 98,4% da composição pertence às florestas nativas. Dos produtos gerados, a madeira serrada, um produto de madeira sólida, tem a construção civil como uma de suas principais destinações (ABIMCI, 2019). Neste cenário, a floresta amazônica tem destaque na produção de madeira de origem nativa.

Considerada como a maior reserva de diversidade biológica do mundo, a região amazônica abrange 49,5% do território brasileiro, estando presente em todos os estados da Região Norte do país, além de abranger parte do Mato Grosso e do Maranhão (IBGE, 2019). Devido à variedade e quantidade de espécies de árvores disponíveis que podem ser utilizadas na produção de madeira sólida, em grande parte dessa região, o processamento e a exploração da madeira pode ser considerada uma das principais fontes econômicas, o que garante que o Brasil esteja em evidência mundialmente no cenário florestal, principalmente após a regulamentação passar a ser realizada por um Plano e Manejo Florestal Sustentável, que garante a produção e proteção da área em exploração (STRAGLIOTTO; PEREIRA; OLIVEIRA, 2020).

Devido à região Amazônica ser uma das maiores produtoras de madeira tropical no mundo, poderiam ser gerados inúmeros benefícios sócios-econômicos, desde que fossem compatibilizados o trinômio exploração – industrialização – comercialização, considerando os aspectos ecológicos da região (BENCHMOL, 1996), porém, cerca de 60% deste material é desperdiçado nas serrarias devido à ausência de planejamentos nas atividades de exploração.

Existe uma associação equivocada entre a utilização da madeira e a devastação das florestas (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003), no entanto, se esta atividade fosse realizada de maneira racional, os desperdícios seriam reduzidos e o dobro de empregos seriam gerados, com remunerações melhores, em comparação à agropecuária extensiva, que possui retorno econômico de apenas 4% (IPAM, 2001).

Dois fatores determinam as condições de desdobro da madeira, sendo eles: os fatores referentes à madeira (densidade, umidade, disposição dos elementos estruturais e presença de componentes químicos) e os fatores referentes às condições de operação das serras (tipo de dente e espaçamento entre eles, espessura e tensão da lâmina). Existem cálculos de rendimento que podem ser realizados para determinar os graus de aproveitamento da tora em madeira serrada para cada espécie (BENCHMOL, 1996).

Stragliotto, Pereira e Oliveira (2020) indicam que estas indústrias produzem um baixo rendimento com grande quantidade de resíduos, o que pode ser atribuído à baixa tecnologia e à mão de obra com pouca especialização encontrada nas indústrias, ao método utilizado (serragem com serra fita), à variedade de espécies com diferentes propriedades e de produtos gerados, e à qualidade das toras, que diversas vezes contém defeitos. Além disso, estas empresas enfrentam dificuldades no que se refere aos custos de transportes e cargas tributárias, competindo, ainda, com o grande mercado de madeira ilegal que oferece produtos com menores preços.

Apesar destes fatos, segundo o IBGE (2022), existe um crescimento positivo da produção madeireira no Brasil, o que se evidenciou em 2021, ano em que produção de madeira em tora aumentou 46,7% em relação ao ano anterior. No entanto, as espécies predominantes ainda são o Eucalipto e o *Pinus*, principalmente destinado à produção de papel e celulose. No grupo de madeiras em tora destinadas à outras finalidades, no qual a construção civil se encaixa, apenas 7,4% correspondem à outras espécies além das citadas. Isto provavelmente se dá devido às regiões Sul e Sudeste terem as maiores participações na produção florestal, com 34,6% e 34,3%, respectivamente, enquanto a região Norte contribui com 11,8%. Nesta última,

destacam-se os estados do Pará e de Rondônia, que em 2018, juntos, somavam 64% do total de empresas do setor (ABIMCI, 2019).

Neste contexto, no ano de 2021, a cidade de Porto Velho ganhou evidência como o 12º município do Brasil e 1º da Região Norte que mais contribuiu economicamente com o extrativismo vegetal (IBGE, 2022). Em 2016, o *ranking* nacional da produção madeireira em tora de extração vegetal originária de floresta nativas foi totalmente liderado pelos estados da Região Amazônica, com o município citado ocupando o 4º lugar (IBGE, 2016).

No que tange às indústrias madeireiras da região em questão, estas possuem características de negócios familiares, baixo investimento tecnológico, pouca especialização da mão de obra e produção destinada ao mercado interno, gerando, após o desdobro, produtos com grande variabilidade na sua qualidade, devido às toras serem de origem de florestas nativas (STRAGLIOTTO; PEREIRA; OLIVEIRA, 2020).

Comercialmente, as madeiras nativas são agrupadas em chamados grupos de valor a que pertencem, os quais podem variar a depender da região, mas geralmente envolvem os grupos contidos no quadro apresentado na Figura 1, onde também podem ser observadas as principais espécies pertencentes à cada grupo, sua ocorrência e seus usos (ABIMCI, 2019).

Figura 1 – Principais espécies madeireiras comerciais de origem nativa no Brasil

MADEIRA NATIVA				
MAIOR VALOR	Madeira	Espécie	Ocorrência	Usos
VALOR COMERCIAL	Especial	Cedro/Cedro Rosa, Mogno, Pau Rosa	RO, PA, MT e AM	serrados, acabamentos internos da construção civil, móveis e outros
		Ipê	RO, PA, MT e AM	serrados, pisos, decks e móveis
	Nobre	Sucupira pele de sapo	RO, PA e AM	serrados, pisos, lâminas, móveis, molduras e esquadrias
		Freijó	RO, PA e AM	portas, painéis, assoalhos e móveis
	Vermelha	Massaranduba	RO, RR, PA, AP e AM	serrados, pisos, móveis e esquadrias
		Angelim Vermelho	PA, RO, RR e AP	serrados, pisos, lâminas, molduras e esquadrias
		Angelim Pedra	PA, RO, AM e MT	serrados, pisos, casa pré-fabricadas, molduras e esquadrias
	Mista	Pequiá	RO e PA	serrados, pisos, dormentes e mourões
		Cupiúba	PA, RO, MT, e AM	serrados, pisos, móveis e esquadrias
		Mandioqueira	MT e RO	móveis, molduras e esquadrias
	Branca	Tauari	RO e PA	serrados, lâminas, móveis, molduras e esquadrias
		Breu	PA, MT e AM	serrados, lâminas, móveis e molduras
Fava		PA e MT	serrados, móveis e molduras	
MENOR VALOR				

Fonte: ABIMCI, 2019.

### 2.3 ANGELIM-VERMELHO (*Dinizia excelsa Ducke*)

Conforme exposto anteriormente, as madeiras vermelhas possuem um médio valor comercial, dentre as quais a madeira serrada de Angelim-Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*) é bastante utilizada na construção civil, principalmente no estado de Rondônia, por ser um de seus maiores produtores no país.

Também conhecida como Angelim, Angelim-Ferro, Angelim-Pedra, Angelim-Falso, Faveira-Dura, Faveira-Ferro, Faveira-Grande, entre outros, possui cerne castanho-avermelhado, alta densidade, cheiro desagradável e textura média a grossa (IPT, 2023). Pode ser encontrada nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima, além de em países como as Guianas e o Suriname (ABIMCI, 2019; IPT, 2013; IPT, 2023; SUDAM, 1979). A Figura 2 apresenta imagens das seções tangencial e radial e a fotomicrografia do Angelim-Vermelho.

Figura 2 – Representação das seções tangencial e radial e fotomicrografia da madeira Angelim-Vermelho



Fonte: IPT, 2024.

É conhecida por ser uma das maiores árvores da Amazônia, de porte gigante, podendo atingir alturas de 55 a 60 m e fustes cilíndricos de 2 m ou mais de diâmetro. Possui fuste ereto, de cor vermelho pardo na casca, com sapopemas na base e ramos com pesados galhos no alto, o que constitui uma copa larga. Apresenta madeira que pode ser classificada como muito durável, rígida, forte, e bastante resistente em contato com o solo (SUDAM, 1979).

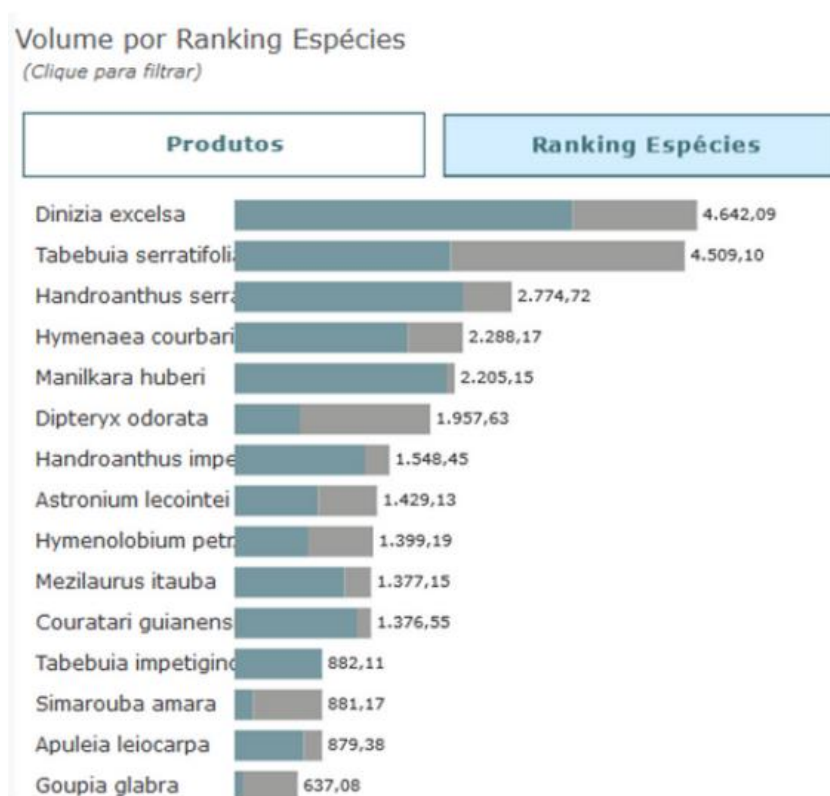
Geralmente é utilizada em peças grandes inteiras devido ao seu grande porte. Possui como característica fundamental o descolamento da sua casca, que geralmente ocorre em grandes placas, apresentando cicatrizes mais claras e alaranjadas no local desprendido, o cheiro apresentado pode ser comparado com “chulé” (EMBRAPA, 2004).

De acordo com o IPT (2013), as principais utilizações do Angelim-Vermelho na construção civil são na construção civil pesada externa, ou seja, utilizado em peças de madeira serrada destinadas a estacas marítimas, pontes, postes, obras imersas, estacas, trapiches,

cruzetas, escoras e dormentes ferroviários, estruturas pesadas e torres de observação. Além disso, também é utilizado em elementos leves com fins estruturais, esquadrias, vigas e caibros de construção civil pesada interna, e pode ser destinada a usos temporários. Em Porto Velho, esta é mais conhecida comercialmente como Faveira-Ferro e bastante utilizada em elementos estruturais de edificações e pontes.

De acordo com o Relatório de Dados dos Painéis Analíticos de Gestão Madeireira referentes ao 2º Bimestre do ano de 2023 a *Dinizia excelsa*, ganha destaque entre as espécies que representam os maiores volumes exportados, conforme exposto na Figura 3 (IBAMA, 2023).

Figura 3 – Volume de exportações em m³ por espécie



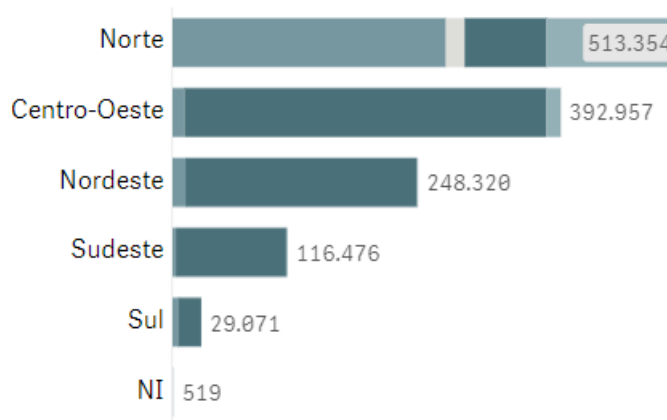
Fonte: IBAMA, 2023.

Ainda de acordo com o relatório supracitado a maior quantidade de documentos emitidos referentes à espécie em estudo se concentra na região Norte, seguida pela região Centro-Oeste, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Quantidade de documentos emitidos referentes à *Dinizia excelsa* por região

### Quantidade de Documentos por Região

(Clique para filtrar)



Fonte: IBAMA, 2023.

Devido à produção do Angelim-Vermelho estar concentrada na região Norte, seu valor comercial na região em questão é menor que em regiões onde esta é mais valiosa, em especial nas regiões Sudeste e Sul, onde possui um alto valor comercial.

Santos *et al.* (2017), propõem uma equação que afirma estimar com precisão o rendimento de madeira serrada para madeiras da espécie *Dinizia excelsa* e, com base nos resultados de sua pesquisa, através da determinação do volume total da tora é possível estimar o rendimento das peças de madeira serrada desta espécie, sendo esta uma facilidade que diminui o custo.

## 2.4 INTEMPERISMO E SEUS EFEITOS NA MADEIRA – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Uma das desvantagens apresentadas pela madeira é o seu desgaste natural e sua vulnerabilidade ao ataque de agentes biológicos (PFEIL; PFEIL, 2003; OLANIRAN *et al.*, 2019). O desgaste natural é provocado pela exposição à uma combinação de fatores externos químicos, mecânicos e energéticos naturais como precipitações, orvalho, variações de temperatura, radiação ultravioleta e vento, esta combinação é comumente denominada como intemperismo, limitando a utilização da madeira (OLANIRAN *et al.*, 2019; ROSU *et al.*, 2010). Destes, a radiação ultravioleta provoca a fotodegradação, sendo esta a mais forte e, consequentemente, mais rápida (COGULET; BLANCHET; LANDRY, 2016).

A fim de determinar os efeitos do intemperismo na madeira de acordo com a literatura foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) baseada no problema de pesquisa que norteia o presente projeto, gerando embasamento para a elaboração da fundamentação

teórica, através da coleta de estudos acerca da influência do intemperismo na madeira e do levantamento dos principais efeitos deste nas propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Inicialmente, foram elaboradas *strings* de busca utilizando apenas os principais termos relacionados à questão da pesquisa, em inglês, a fim de se obter maiores resultados. Os termos selecionados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Termos de busca

<b>Termo em português</b>	<b>Termo em inglês</b>	<b>Sinônimos/equivalentes</b>
Madeira	<i>Timber</i>	<i>Wood</i>
Intemperismo	<i>Weathering</i>	-
Propriedades Físicas	<i>Physical property</i>	<i>Physical properties</i>
Propriedades Mecânicas	<i>Mechanical property</i>	<i>Mechanical properties</i>
Construção	<i>Construction</i>	<i>Building / Structure</i>

Fonte: Autora, 2024.

Foram elaboradas duas *strings* de busca baseadas na Tabela 1 - Termos de busca Tabela 1, sendo uma que considera propriedades físicas e outra que considera propriedades mecânicas, tendo em vista que alguns artigos trazem apenas uma destas abordagens, enquanto outros trazem as duas. As *strings* utilizadas são apresentadas na Tabela 2, com seus respectivos operadores booleanos, e as bases de dados utilizadas foram a Scopus e a Web Of Science (WOS), as quais fornecem uma gama abrangente de resultados.

Tabela 2 - *Strings* de busca

<b>CÓD</b>	<b><i>Strings</i></b>
S1	(timber OR wood) AND (weathering) AND (“physical property” OR “physical properties”) AND (structure OR building OR construction)
S2	(timber OR wood) AND (weathering) AND (“mechanical property” OR “mechanical properties”) AND (structure OR building OR construction)

Fonte: Autora, 2024.

Os artigos que discorrem sobre as duas abordagens foram retornados para ambas as *strings*, portanto, estes, foram filtrados posteriormente através *software* StArt, onde foram excluídos artigos duplicados ou que não abordassem sobre madeira destinada à construção civil sob ação do intemperismo.

Tendo em vista a pouca quantidade de trabalhos que tratassem acerca da ação do intemperismo natural em madeiras sem tratamento, decidiu-se por utilizar também aqueles que consideram o intemperismo artificial/acelerado, já que este último busca reproduzir as



Todos os estudos coletados reconhecem o intemperismo como um agente causador de degradação da madeira através da ação de fatores como: luz solar, umidade, mudanças de temperatura, ventos e fatores biológicos. Além disso, também reconhecem que os efeitos destes fatores acabam por alterar propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira.

O intemperismo artificial, apesar de se assemelhar ao natural, se apresenta menos agressivo tendo em vista as condições de exposição à fatores biológicos e de poluição presentes no modo natural (TONDI *et al.*, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2019; ALMEIDA *et al.*, 2021; SUAREZ *et al.*, 2023).

Um ponto bastante abordado dentre os estudos existentes é a mudança de coloração que a madeira apresenta após exposta às intempéries que, além de um atributo estético, também serve como parâmetro para determinar algumas propriedades desta. No que tange à colorimetria, portanto, este tipo de degradação confere à madeira uma coloração descrita por Cogulet, Blanchet e Landry (2016) como amarelada e/ou prateada, enquanto Almeida *et al.* (2019), Almeida *et al.* (2021), Kamperidou e Barboutis (2021), Olaniran *et al.* (2019), Shen *et al.* (2018) e Tondi *et al.* (2017) consideram que a madeira tende a partir para a cor cinza. Kamperidou e Barboutis (2021) descrevem este fenômeno como uma descoloração, enquanto Almeida *et al.* (2021) e Shen *et al.* (2018) consideram como um escurecimento.

As alterações colorimétricas provavelmente são causadas pela lixiviação dos extratos da madeira solúveis em água e às reações fotoquímicas e oxidativas graduais que são aceleradas principalmente por os fatores de luz ultravioleta e umidade (KAMPERIDOU; BARBOUTIS, 2021). Almeida *et al.* (2021), do mesmo modo, infere que este efeito se deve à degradação da lignina nas amostras e à diminuição dos valores médios de luminosidade, principalmente quando se trata de amostras de madeiras macias submetidas ao intemperismo natural.

Żółtowska *et al.* (2022), assim como os demais autores, concluem que as amostras expostas ao intemperismo mudaram significativamente a cor para tons de cinza, perdendo a hidrofobicidade em razão da lixiviação de lignina, extrativos e hemiceluloses e um aumento significativo na proporção de celulose hidrofílica na superfície desgastada superior da madeira, ultrapassando o limite de teor de umidade adequado para o ataque de fungos xilófagos. Kamperidou e Barboutis (2021) também observaram sinais de infestação fúngica e colonização de míldio (manchas pretas).

Outro efeito comum da ação do intemperismo, observado nos estudos, é o aumento da rugosidade e da aspereza e a aparição de manchas, rachaduras e/ou fissuras na superfície da madeira (KAMPERIDOU E BARBOUTIS, 2021; OLANIRAN *et al.*, 2019; SHEN *et al.*, 2018;

TOPALOGLU, 2019). De acordo com Olaniran *et al.* (2019), estas fissuras e rachaduras são o resultado de tensões internas causadas pelo constante umedecimento e secagem da madeira somados à variação climática, sendo originadas das microfissuras presentes na parede celular da madeira.

Jankowsky (1990), atribui o aparecimento de rachaduras principalmente às diferenças de umidade e de retração nas direções radial e tangencial da madeira durante a secagem. Huang *et al.* (2012) aponta que o intemperismo aumenta a molhabilidade da madeira, tendo em vista que as fissuras presentes na superfície da madeira após o intemperismo, permitem a entrada de água na parede celular com maior facilidade, aumentando sua molhabilidade, pois acelera de maneira significativa a absorção e penetração da água na superfície da madeira, reduzindo o tempo total de umedecimento, o que se deve à combinação de alterações estruturais e alterações químicas, com isso, a camada danificada apresenta características físicas e químicas alteradas e, em geral, a resistência da madeira diminui com o aumento da umidade.

Almeida *et al.* (2019), ao analisar propriedades como módulos de elasticidade, resistência à flexão estática, resistência à compressão paralela às fibras, dureza perpendicular às fibras e limite elástico no ensaio de flexão estática, submetidas tanto ao intemperismo artificial quanto ao natural, constatou que todas as propriedades mecânicas sofreram influência, tendo as propriedades de MOE em flexão estática e resistência convencional em flexão estática sofrido decréscimos, enquanto o limite elástico no teste de flexão estática aumentou, levando ao aumento da fragilidade da madeira. O autor constatou que o desempenho mecânico da madeira diminuiu 15,7% após 360 dias do tratamento de intemperismo natural.

Em consonância, Suarez *et al.* (2023) observaram decréscimos nas resistências à flexão e compressão e na rigidez do material, o que torna evidente o efeito negativo das intempéries sobre a madeira.

Olaniran *et al.* (2019), por sua vez, observaram uma redução de 47% da resistência à tração e do módulo de elasticidade após a ação do intemperismo artificial nas amostras. Além disso, também foi observada uma perda de peso que provavelmente se deve à perda de extrativos causada pela degradação e lixiviação promovidas pelo intemperismo. Os autores inferem, ainda, que as propriedades deixaram de sofrer alterações significativas após duas semanas de intemperismo artificial.

Gunes, Ersin e Altunok (2024) afirmam que a espécie da madeira é o fator determinante no que se refere às alterações descritas para o MOE.

Cai *et al.* (2020) concluem que a dureza diminui de acordo com o tempo de intemperismo, o que pode ser relacionado com a degradação das paredes celulares da madeira, mudanças no teor de umidade e erosão da superfície, existindo uma proporção inversa entre teor de umidade e dureza. Uma das causas apontadas para esta relação é o inchaço da parede celular induzido pela umidade, o que provoca que menos substâncias disponíveis da parede celular por unidade de área resistam à carga.

Nasir, Fathi e Kazemirad (2021) relataram que a formação de rachaduras microscópicas na superfície da madeira aumenta a porosidade desta, diminuindo os valores de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) das amostras estudadas pelos autores com o tempo de exposição. A diminuição do MOR também revela que a resistência da madeira diminuiu.

Conforme exposto, os estudos presentes na literatura afirmam que os efeitos do intemperismo se manifestam na madeira, em sua maioria, da seguinte maneira: alterando sua colorimetria, causando escurecimento ou descoloração e conferindo à madeira uma cor amarelada ou acinzentada/prateada; provocando o aumento da rugosidade e da aspereza, a aparição de manchas, rachaduras e/ou fissuras na superfície da madeira; ocasionando o decréscimo da densidade; diminuindo a dureza e a capacidade mecânica de resistência à compressão.

No entanto, ressalta-se que não foram encontrados estudos realizados em condições amazônicas, tampouco utilizando madeiras nativas como o Angelim-Vermelho.

#### **2.4.1 Intemperismo da Região Amazônica em Rondônia e Porto Velho**

Por estar localizada próxima à Linha do Equador, a região amazônica é marcada por uma alta incidência de radiação solar e por aspectos relacionados à circulação atmosférica e à dinâmica dos sistemas atmosféricos atuantes nesta porção da América do Sul, predominando o calor e a umidade. Outro fator de destaque é a precipitação pluvial, expressa em grandes volumes, chegando a causar impactos no espaço geográfico quando intensos (FRANCA, 2015).

A Bacia Amazônica apresenta duas estações definidas distintas, com uma estação chuvosa, na qual os meses de novembro a abril apresentam altas precipitações mensais variando de 200 a 400 mm, e outra estação seca, de maio a outubro, onde as precipitações não ultrapassam os 150 mm mensais, em geral, além disso, cerca de 70% da precipitação anual se concentra na estação chuvosa (COUTINHO *et al.*, 2018).

O Estado de Rondônia, em especial o município de Porto Velho, é caracterizado por chuvas abundantes, principalmente entre os últimos e os primeiros meses do ano, os quais apresentam precipitações de valores extremos (BEZERRA; DANTAS; TRINDADE, 2010).

Neste cenário, a cidade de Porto Velho se destaca com um dos maiores índices de pluviosidade do estado, possuindo um ciclo hidrológico com duas estações bem definidas, iniciando-se no mês de setembro. De acordo com Bezerra, Dantas e Trindade (2010), o clima do município em questão pode ser classificado como tropical chuvoso do tipo Aw, apresentando um regime pluviométrico anual de 2.286,6 mm, sendo o primeiro trimestre do ano o mais chuvoso, contribuindo com aproximadamente 49,1% da precipitação média anual, além de uma estação relativamente seca entre os meses de junho a agosto, por serem os menos chuvosos, com precipitações que correspondem a apenas 4,7% da precipitação média anual, a qual contribui para a flammabilidade e uma grande ocorrência de queimadas.

Quanto à temperatura, em geral, esta atinge picos mais altos no mês de setembro, enquanto nos demais a temperatura média mensal varia de 25,2°C a 26,6°C, com umidade relativa mensal do ar se mantendo acima de 80% durante todo o ano, exceto nos meses de junho, julho e agosto, onde esta chega a 20% (BEZERRA; DANTAS; TRINDADE, 2010).

Bernini, Borges e Martinez (2019) descrevem, no local em questão, um comportamento chuvoso entre os meses de outubro a janeiro, enquanto de maio a setembro predomina a estação seca. Bezerra, Dantas e Trindade (2010), por sua vez, descrevem uma sazonalidade bem definida, apresentando um período chuvoso, de novembro a abril, com precipitações mensais de 228,9 mm a 329,6 mm, dois períodos de transição entre regimes, sendo um no mês de maio e outro no mês de outubro, e um período de estiagem, de junho a setembro, com precipitações mensais de 38,7 mm a 107,7 mm.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

O presente capítulo reúne informações acerca do universo amostral adotado, destinado inicialmente ao intemperismo natural e, posteriormente, às análises e ensaios laboratoriais que visam a caracterização das propriedades da madeira. Ademais, são descritos os procedimentos a serem realizados para o estudo destas propriedades e para o tratamento estatístico dos resultados.

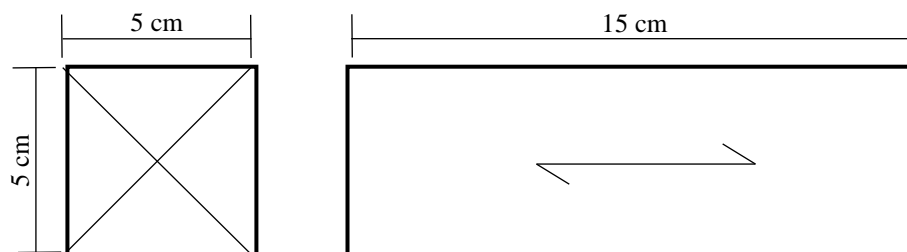
Este estudo possui como estratégia de pesquisa uma abordagem experimental, tendo em vista que serão avaliadas as influências do intemperismo no objeto de estudo através de análises visuais e ensaios laboratoriais.

#### 3.1 CONFECÇÃO E EXPOSIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova de madeira nativa foram obtidos e confeccionados em serraria localizada no município de Porto Velho. A madeira escolhida pertence à espécie *Dinizia excelsa*, da classe das dicotiledôneas, denominada popularmente como Angelim Vermelho, sendo conhecida como Faveira Ferro na região onde será realizado o estudo. A terceira parte da ABNT NBR 7190:2022 “Projeto de estruturas de madeira – Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas” classifica a espécie em questão como pertencente à classe de resistência D60, a mais alta dentre as classes dispostas.

Para os ensaios de determinação de resistência à compressão, densidade aparente, colorimetria, dureza e módulo de elasticidade, foram confeccionados corpos de prova prismáticos de seção transversal quadrada contendo 5 cm de lado, e comprimento de 15 cm (Figura 6).

Figura 6 – Representação das dimensões adotadas para os corpos de prova prismáticos



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7190-3, 2022.

Foram analisados um total de 48 corpos de prova prismáticos, os quais foram colocados em exposição sobre uma grade metálica, apoiada em estrutura com inclinação de 45°, em área externa no *Campus* José Ribeiro Filho, da Fundação Universidade Federal de Rondônia

(UNIR), no município de Porto Velho, capital do estado de Rondônia, estando submetidos ao intemperismo natural que ocorre na região, localizada em meio à Amazônia (Figura 7). Vale ressaltar que não foram aplicados tratamentos aos corpos de prova.

Figura 7 - Corpos de Prova expostos ao intemperismo



Fonte: Autora, 2023.

As condições climáticas de temperatura da região foram acompanhadas através da estação meteorológica Usina Santo Antônio, cujos dados são disponibilizados através da Coordenadoria de Recursos Hídricos (COREH) da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), localizada no município em questão.

No que se refere às condições de precipitação, estas foram acompanhadas através de Estação Pluviométrica, pertencente à Agência Nacional de Águas (ANA) situada na cidade de Porto Velho, cujos dados são disponibilizados através da plataforma Hidroweb.

Além destes dados, também foram consultados os boletins hidrometeorológicos de eventos críticos mensais disponibilizados pela Coordenadoria de Geociências (COGEO), também pertencente à SEDAM, em parceria com a ANA. Tais boletins são elaborados através de informações disponibilizadas por satélites, estações hidrológicas e meteorológicas, oriundas de diversas instituições que monitoram o clima no Estado de Rondônia, apresentando o panorama das condições climáticas e hidrológicas do estado em questão, em especial do

município de Porto Velho, além de apresentarem comparações indicando se os parâmetros se mantiveram ou não em acordo com os apresentados na série histórica.

Foram consideradas apenas as informações disponibilizadas referentes ao período em que os corpos de prova estiveram expostos, ou seja, entre os meses de abril de 2023 e abril de 2024.

### 3.2 COLETA DE DADOS

As coletas de dados foram realizadas durante a caracterização da madeira, executada através de inspeções visuais e de ensaios laboratoriais. Inicialmente, foram armazenados 12 corpos de prova prismático, a fim de servirem como referência. Posteriormente, a cada 4 meses, esta mesma quantidade de amostras foi retirada da exposição e destinada a caracterização para a coleta de dados referentes à influência do intemperismo natural nas propriedades da madeira.

Os ensaios para a determinação destas propriedades foram realizados tanto no Laboratório de Propriedade dos Materiais pertencente ao Departamento de Engenharia do Instituto de Ciências e Engenharia na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Itapeva (SP), quanto no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM), do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP), em São Carlos (SP).

As propriedades mecânicas de resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade na direção paralela às fibras e dureza, assim como a propriedade física de densidade, foram determinadas com base na ABNT NBR 7190:2022 “Projeto de estruturas de madeira – Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas”. A colorimetria, por sua vez, determinada utilizando colorímetro portátil, de acordo com a norma ASTM D 2244 (2022) “*Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates*”, através do método CIEL\*a\*b\*.

A escolha destas propriedades, em especial em relação à resistência à compressão paralela às fibras, se deu, pois, são as propriedades de maior interesse no que se refere à adoção da madeira da espécie *Dinizia excelsa* na construção civil devido à sua utilização ser voltada à estruturas de edificações e de pontes.

O teor de umidade da madeira durante os ensaios foi mantido em equilíbrio com o ambiente. Os procedimentos adotados durante estes ensaios estão descritos adiante.

### 3.2.1 Densidade

De acordo com a ABNT NBR 7190:2022 “Projeto de estruturas de madeira – Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas”, a densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) para lotes de madeira considerados homogêneos é determinada da mesma maneira que a massa específica convencional, sendo definida pela razão entre a massa e o volume dos corpos de prova com teor de umidade de 12% (Equação 1).

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (1)$$

Onde:

$m_{12}$  é a massa do corpo de prova, em kg;

$V_{12}$  é o volume do corpo de prova, em m<sup>3</sup>.

A massa dos corpos de prova foi aferida com o auxílio de uma balança de precisão, enquanto o volume foi obtido a partir das medidas dos corpos de prova obtidas com a utilização de paquímetro digital (Figura 8).

Figura 8 – a) Pesagem dos corpos de prova; b) Medição dos corpos de prova



(a)

(b)

Fonte: Autora, 2024.

### 3.2.2 Resistência à Compressão Paralela às fibras

O ensaio de resistência à compressão paralela às fibras objetivou determinar a resistência da madeira à compressão paralela às fibras através da máxima tensão de compressão atuante em um corpo de prova.

Com esta finalidade, o ensaio em questão foi realizado com o auxílio de uma Máquina Universal de Ensaio EMIC, modelo DL30000 (Figura 9), através da qual, inicialmente, aplicou-se um carregamento monotônico crescente no corpo de prova, com taxa em torno de 10 MPa/min, até o rompimento do teste. Desta forma, a propriedade em questão pôde ser calculada através da Equação 2:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (2)$$

Em que:

$f_{c0}$  é a resistência à compressão paralela às fibras, em MPa;

$F_{c0,max}$  é a força máxima de compressão aplicada durante o ensaio, em N;

$A$  é a área inicial da seção transversal comprimida, em mm<sup>2</sup>;

Figura 9 - Máquina Universal de Ensaio EMIC, modelo DL30000



Fonte: Autora, 2024.

### 3.2.3 Módulo de Elasticidade na direção Paralela às fibras – Rigidez Longitudinal

O módulo de elasticidade na direção paralela às fibras é o que determina a rigidez longitudinal da madeira. Esta propriedade é obtida a partir do trecho linear do diagrama de tensão *versus* deformação específica, expresso em MPa.

Desta forma, o módulo de elasticidade em questão foi obtido durante os ensaios de resistência a compressão, com o auxílio de extensômetro acoplado ao corpo de prova, conforme apresentado na Figura 10.

A utilização do extensômetro é fundamental para a determinação das deformações específicas medidas nos corpos de prova nos pontos de tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência  $f_{c0}$ .

Figura 10 - Corpo de prova com extensômetro acoplado



Fonte: Autora, 2024.

Com isso, a propriedade em questão foi calculada através da Equação 3:

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (3)$$

Em que:

$E_{c0}$  é o módulo de Elasticidade na direção paralela às fibras, em MPa;

$\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}$  são as tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência à compressão paralela às fibras;

$\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}$  são as deformações específicas medidas no corpo de prova, correspondentes às tensões  $\sigma_{50\%}$  e  $\sigma_{10\%}$ .

### 3.2.3.1 Dureza

O método utilizado para a determinação da dureza de um lote de madeira nativa considerado homogêneo é conhecido como método Janka, no qual esta propriedade é determinada através da penetração de uma semiesfera de aço com área diametral de 1 cm<sup>2</sup> em uma das faces do corpo de prova prismático, ocasionada pela atuação de uma tensão.

A tensão atuante deve ser provocada nas direções paralela e perpendicular às fibras, aplicando-se um carregamento monotônico crescente, através da utilização de um dispositivo especial entre o atuador e o corpo de prova, até que a esfera atinja uma penetração de profundidade igual seu raio, por pelo menos 1 minuto. A dureza, portanto, é determinada por meio da Equação 4:

$$f_H = \frac{F_{max}}{A_{seção\ Diametral}} \quad (4)$$

Sendo que:

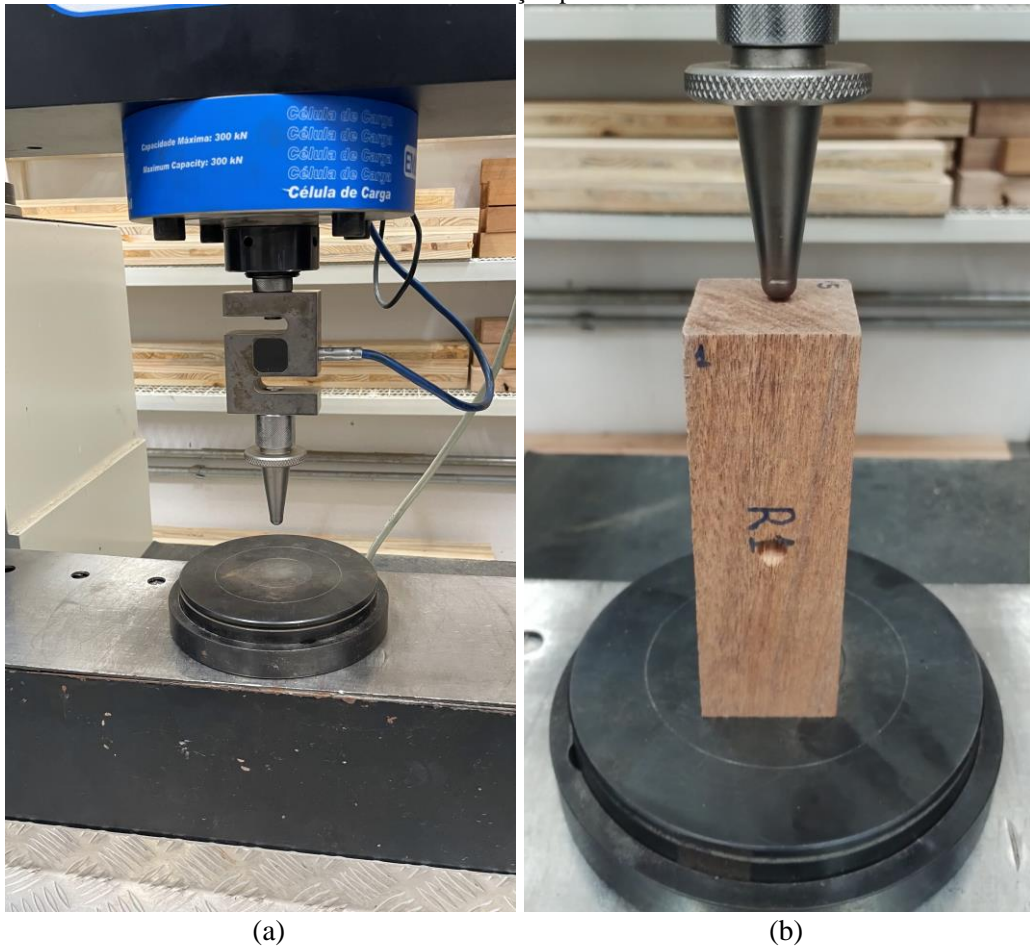
$f_H$  é a dureza da madeira, em N/mm<sup>2</sup>;

$F_{max}$  é a força máxima aplicada para provocar a penetração da semiesfera citada, na profundidade igual ao seu raio, em N;

$A_{seção\ Diametral}$  é a área da seção diametral da esfera de 1 cm<sup>2</sup> (100 mm<sup>2</sup>).

O mesmo equipamento disposto na Figura 9 foi utilizado para o ensaio de dureza pelo método Janka e mais detalhes do atuador utilizado para penetração pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – a) Atuador utilizado para o ensaio de dureza pelo método Janka; b) Ensaio de dureza Janka na direção paralela às fibras



Fonte: Autora, 2024.

Os ensaios foram realizados tanto na direção paralela às fibras quanto na direção perpendicular às fibras. Quando medida na direção paralela às fibras, denomina-se a dureza como  $f_{H0}$ , e quando medida na direção perpendicular às fibras, como  $f_{H90}$ .

### 3.2.4 Colorimetria

As análises colorimétricas se deram através de um colorímetro portátil, do tipo Konica Minolta CR-400 (Figura 9/Figura 12), visando traduzir as cores apresentadas pela madeira através do método conhecido como “CIE  $L^*a^*b^*$ ”, recomendado pela CIE, onde os resultados de parâmetros colorimétricos obtidos representam as escalas entre cores, correspondendo a:

- $L^*$ : representado por uma escala que varia entre o preto (valor 0) e o branco (valor 100);
- $a^*$ : representado por uma escala que varia entre o vermelho e o verde, onde “+ $a^*$ ” representa o vermelho e “- $a^*$ ” o verde;
- $b^*$ : representado por uma escala que varia entre o amarelo e o azul, onde “+ $b^*$ ” representa o amarelo e “- $b^*$ ” o azul.

Dessa forma, “L\*” corresponde à luminosidade, sendo definido por escalas de cinza, enquanto “a\*” e “b\*” correspondem à tonalidade, apresentada de acordo com as cores azul, amarelo, verde e vermelho, em valores numéricos que variam de 0 a 60.

Figura 12 - Ensaio de Colorimetria utilizando colorímetro portátil do tipo Konica Minolta CR-400



Fonte: Autora, 2024.

Não existe a necessidade de seguir parâmetros específicos durante a confecção de corpos de prova que serão submetidos ao ensaio de colorimetria, de acordo com a norma ASTM D2244:2011. Optou-se por realizar apenas uma medição em cada corpo de prova, a fim de simular, por exemplo, a obtenção de parâmetros colorimétricos no estoque de uma serraria.

### 3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

O teste de contraste de médias de Tukey, ao nível de 5% de significância e com o auxílio do software Minitab® 18, foi utilizado de maneira a investigar a influência dos níveis dos fatores nas variáveis resposta de interesse, no qual “A” denota o tratamento associado ao maior valor médio da propriedade, “B” o segundo maior valor médio e assim de forma sucessiva, e letras iguais implicam em tratamentos distintos com médias estatisticamente equivalentes entre si.

O teste de Anderson Darling será utilizado na verificação da normalidade dos resíduos da análise de variância (ANOVA), de maneira a validar os resultados do teste de contraste de médias de Tukey.

Além do teste de contraste de médias, modelos de regressão linear (Equação 5), quadrático (Equação 6), exponencial (Equação 7) e logarítmico (Equação 8) foram utilizados na estimativa das propriedades mecânicas em função dos períodos (T) de medição estabelecidos das madeiras expostas as intempéries.

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot T + \varepsilon \quad (5)$$

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot T + \alpha_2 \cdot T^2 + \varepsilon \quad (6)$$

$$Y = \alpha_0 \cdot \exp(\alpha_1 \cdot T) + \varepsilon \quad (7)$$

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln(T) + \varepsilon \quad (8)$$

Das Equações de 5 a 8, Y consiste na propriedade mecânica medida (a ser estimada),  $\alpha_i$  são os coeficientes das equações a serem ajustados pelo método dos mínimos quadrados e  $\varepsilon$  é o erro aleatório.

Ademais, foram adotados modelos de regressão, cuja precisão será avaliada por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), e de análise de variância, também com nível de 5% de significância ( $\alpha$ ), de maneira a avaliar a significância dos modelos. Tal significância é observada quando o valor-p (probabilidade p) é menor do que o nível de significância adotado ( $p\text{-valor} < 0,05$ ).

Por fim, os resultados obtidos neste projeto foram comparados aos resultados contidos na literatura.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta os parâmetros hidrometeorológicos observados no município de Porto Velho no decorrer do tempo de exposição dos corpos de prova e os resultados dos ensaios realizados nestes. Ademais, são expostas as discussões acerca de análises estatísticas dos resultados da coleta de dados.

##### 4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE PORTO VELHO

A partir dos dados disponibilizados, foram calculadas as médias mensais de umidade relativa do ar, radiação solar diária e temperaturas mínimas, médias e máximas, além dos valores de precipitação acumulada, dispostos na Tabela 3. Ademais, na Tabela 3 supracitada também é apresentada a média do período de exposição dos corpos de prova para cada um dos parâmetros descritos.

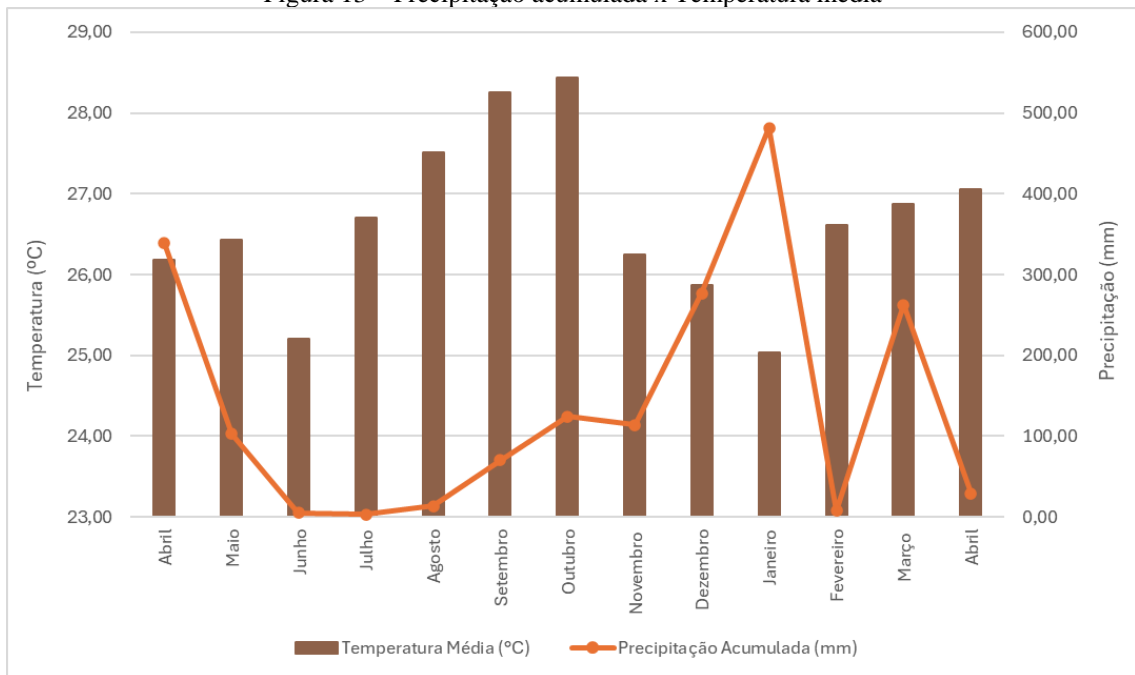
Tabela 3 – Condições hidrometeorológicas de Porto Velho

Ano	Mês	Precip. Acum. (mm)	Umid. Relat. Ar (%)	Temp. Max. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Med. (°C)	Radiação Solar Diária (MJ/m <sup>2</sup> )
2023	Abril	338,80	86,56	30,86	23,56	26,18	13,29
	Maio	102,80	85,05	31,49	23,64	26,43	12,88
	Junho	4,80	79,26	31,19	21,70	25,20	12,75
	Julho	3,00	67,72	34,22	21,68	26,70	14,84
	Agosto	13,20	71,77	34,50	23,51	27,51	12,73
	Setembro	70,00	71,88	34,94	24,22	28,26	15,46
	Outubro	124,40	72,23	34,78	24,22	28,44	14,19
	Novembro	113,60	75,81	32,03	22,52	26,25	13,42
	Dezembro	276,80	84,86	30,51	23,07	25,86	11,02
	2024	Janeiro	481,80	87,80	29,39	22,74	25,03
Fevereiro		7,60	86,33	31,29	24,07	26,62	10,51
Março		262,60	87,58	31,81	24,31	26,87	12,17
Abril		29,20	87,28	31,28	24,49	27,05	10,64
<b>Médias</b>		<b>140,66</b>	<b>80,32</b>	<b>32,18</b>	<b>23,36</b>	<b>26,65</b>	<b>12,60</b>

Fonte: Autora, 2024.

O gráfico apresentado na Figura 13 representa a comparação entre os valores de temperatura média e precipitação acumulada apresentados.

Figura 13 – Precipitação acumulada x Temperatura média



Fonte: Autora, 2024.

As maiores temperaturas e, conseqüentemente, menores níveis de umidade relativa do ar, portanto, foram observadas nos meses compreendidos entre julho e outubro, enquanto as menores foram observadas nos meses de junho e janeiro.

Os maiores índices de precipitação ocorreram no período de dezembro a janeiro, enquanto os menores se concentraram entre junho e agosto, além do mês de fevereiro. Ademais, conforme esperado, os índices de precipitação se demonstraram inversos aos de temperatura, ou seja, quanto maiores as temperaturas, menores os índices de precipitação observados.

A consulta aos boletins hidrometeorológicos objetiva analisar possíveis anomalias que possam ter ocorrido no período estudado quando comparado com a série histórica de dados.

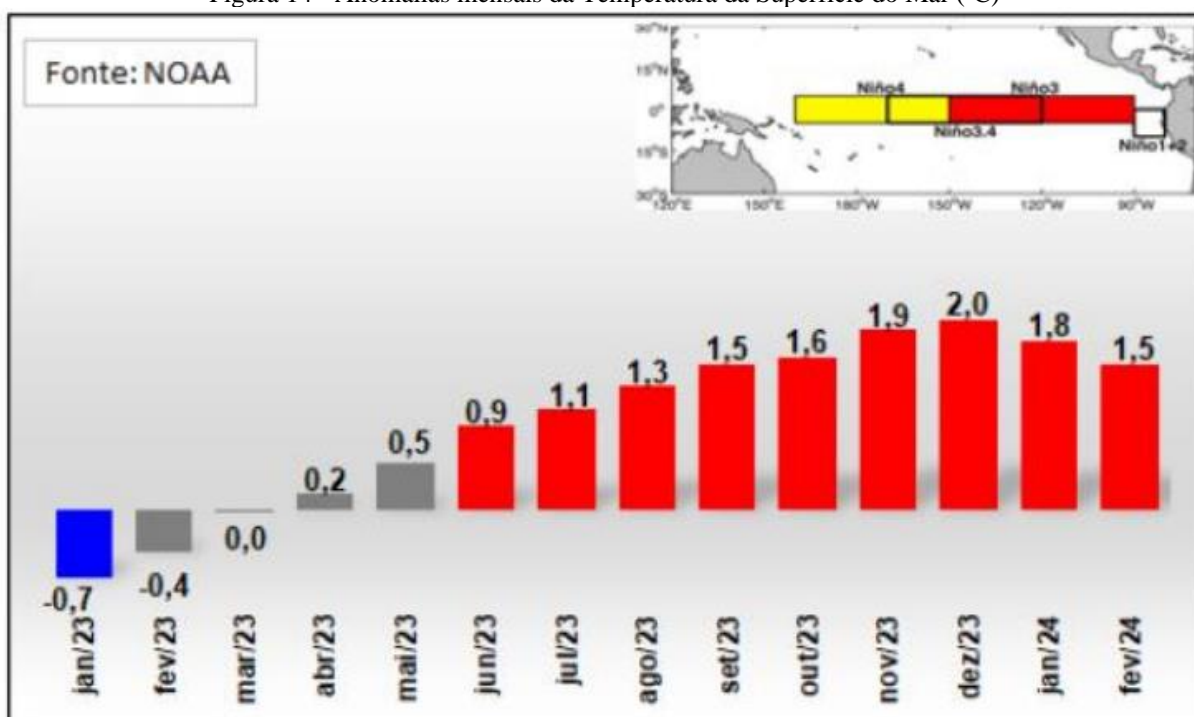
Dentre os boletins hidrometeorológicos analisados, compreendendo os meses entre abril do ano de 2023 e fevereiro de 2024, todos os meses, com exceção do mês de setembro, indicam que nestes períodos os níveis de precipitação em Rondônia se mantiveram dentro de um padrão variando entre a normalidade e o acumulado moderado de chuva, quando comparados com as médias históricas.

A região de Porto Velho apresentou um excedente de precipitação (acima do previsto) nos meses de abril, maio, agosto, dezembro, janeiro e fevereiro. Apesar destes excedentes observados em dezembro e janeiro, a região de Porto Velho ainda se enquadrava em uma condição de seca, a qual recuou apenas no mês de fevereiro.

O mês de setembro se demonstrou insatisfatório por apresentar níveis de precipitação abaixo do previsto. Os boletins mensais dos meses de junho, outubro e novembro de 2023 e dos meses de março e abril de 2024 não foram disponibilizados até a presente data.

A partir de dezembro de 2023 os boletins passaram a informar acerca das condições de temperatura. Neste mês em questão, foi constatado um aumento de 2°C acima da média histórica da região, enquanto no ano de 2024 os aumentos foram de 1,8°C em janeiro e 1,5°C em fevereiro. A Figura 14, retirada do boletim de fevereiro de 2024, apresenta o resumo das anomalias de temperatura mensais observadas na região em estudo, onde também é possível verificar dados de meses anteriores nos quais este tipo de informação não era disponibilizada.

Figura 14 - Anomalias mensais da Temperatura da Superfície do Mar (°C)



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) adaptado por SEDAM (2024)

Informações acerca de uma má distribuição das chuvas no tempo e no espaço são frequentes nos boletins analisados, os quais indicam que apesar dos índices de chuva se demonstrarem dentro da normalidade, em muitos casos poucos dias apresentaram muita chuva de forma espacializada, enquanto muitos dias não apresentaram chuva alguma.

Isto se evidencia no que se refere aos excedentes de precipitação supracitados, o que pode ser observado no mês de agosto, que apesar de ter apresentado excedente, registrou apenas 8 dias de chuva, dos quais o acumulado mensal se concentrou em apenas 2 dias.

Em suma, parâmetros de precipitação descritos servem como estimativas, pois os índices de precipitação indicados não correspondem totalmente ao incidente nos corpos de

prova, tendo em vista que, por se apresentarem de forma especializada, existem grandes chances de o pluviômetro ter captado níveis de chuva em momentos que não chovia no local onde os corpos de prova estavam expostos, e vice-versa.

#### 4.2 COLETA DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Ao longo do tempo de exposição ao intemperismo foi possível notar uma clara mudança de coloração e aspecto da madeira com a passagem dos meses, conforme exposto nas Figura 15 a Figura 19, nas quais é possível observar que a madeira tende a adquirir uma cor escura e acinzentada, fenômeno este descrito na literatura.

Figura 15 - Corpos de prova na data de início da exposição (25/04/2023)



Fonte: Autora, 2023.

Figura 16 - Corpos de prova após 4 meses de exposição (25/08/2023)



Fonte: Autora, 2023.

Figura 17 - Corpos de prova após 8 meses de exposição (27/12/2023)



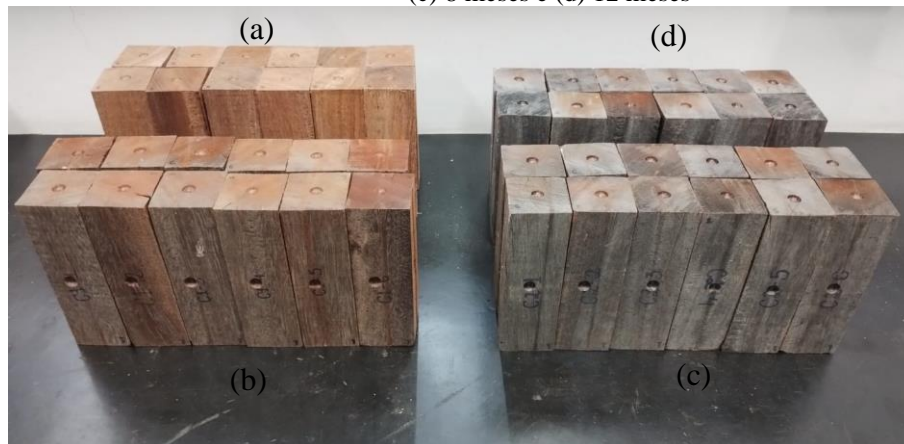
Fonte: Autora, 2023.

Figura 18 - Corpos de prova após 12 meses de exposição (25/04/2024)



Fonte: Autora, 2024.

Figura 19 – Comparação visual entre lotes de amostras expostos ao intemperismo durante (a) 0 meses, (b) 4 meses, (c) 8 meses e (d) 12 meses



Fonte: Autora, 2024.

Além desta variação de coloração, logo nos primeiros meses de exposição a madeira apresentou mudanças de aspecto no que se refere ao surgimento de fissuras e rachaduras e aumento da rugosidade e aspereza (Figura 20). O mesmo efeito fora observado conforme o aumento do tempo de exposição (Figura 21), com um corpo de prova chegando a apresentar uma rachadura atravessando toda sua superfície (Figura 22). Em nenhum período de exposição fora observada a presença de fungos ou insetos, o que confirma o relatado nas Informações sobre Madeiras do IPT, cujas informações disponibilizadas em seu *site* (<https://madeiras.ipt.br/angelim-vermelho/>) inferem que o angelim vermelho possui durabilidade natural com o cerne apresentando alta resistência ao ataque de organismos xilófagos (fungos e insetos).

Figura 20 – Corpos de prova após 4 meses de exposição com o aparecimento de fissuras e rachaduras



Fonte: Autora, 2023.

Figura 21 – Foto dos corpos de prova com fissuras e rachaduras durante o tempo de exposição em 20/10/2023



Fonte: Autora, 2023.

Figura 22 - Rachadura na superfície de corpo de prova após 8 meses de exposição



Fonte: Autora, 2023.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios e os valores coeficientes de variação (CV - %) das propriedades físicas, mecânicas e colorimétricas em função do número de meses (N) de exposição da madeira de Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*) ao intemperismo natural, assim bem como os valores das probabilidades p (p-valor) do teste de normalidade de Anderson-Darling sobre os resíduos da análise de variância (ANOVA, 5% de significância) e os resultados do teste de contraste de médias de Tukey (5% de significância).

Tabela 4 - Síntese das propriedades física, mecânicas e colorimétricas.

N	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )	L	a*	b*
0	1,08 (1,91%) A	55,52 (7,39%) A	12,41 (7,29%) A	20,47 (8,46%) A
4	1,06 (3,63%) A	47,43 (5,73%) B	5,85 (12,96%) B	11,57 (8,97%) B
8	1,07 (4,06%) A	47,78 (4,49%) B	1,81 (11,50%) C	5,24 (11,30%) C
12	1,06 (3,89%) A	48,06 (8,75%) B	1,59 (21,14%) C	3,30 (19,71%) D
p-valor	0,096	0,183	0,157	0,198
N	$f_{c0}$ (MPa)	$E_{c0}$ (MPa)	$f_{H0}$ (kN)	$f_{H90}$ (kN)
0	79,90 (11,74%) A	22.256 (22,65%) A	12,93 (4,27%) A	12,12 (10,01%) A
4	77,57 (16,07%) A	20.779 (30,39%) A	12,55 (8,08%) A	12,23 (12,01%) A
8	85,30 (10,58%) A	23.412 (20,26%) A	11,20 (11,58%) B	12,53 (11,03%) A
12	79,66 (12,99%) A	19.702 (21,30%) A	11,03 (12,15%) B	11,75 (14,43%) A
p-valor	0,395	0,878	0,868	0,531

Fonte: Autora, 2024.

\*Probabilidade *p* (*p*-valor) do teste de normalidade de Anderson-Darling (5% de significância) superior a 5% implica na normalidade na distribuição dos resíduos, o que valida os resultados da ANOVA (5% de significância). Do teste de contraste de médias de Tukey (5% de significância), para uma determinada propriedade, A denota o tratamento associado ao maior valor médio, B ao segundo maior valor médio, e assim sucessivamente, e letras iguais implicam em tratamentos distintos com médias estatisticamente equivalentes entre si.

Da Tabela 4, cabe destacar que os *p*-valores do teste de normalidade de Anderson-Darling sobre os resíduos da análise de variância foram superiores ao nível de 5% de significância em todas as propriedades avaliadas, o que implica na validação dos resultados da ANOVA.

O Coeficiente de Variação trata-se de uma relação entre o desvio padrão e a média. Neste sentido, a ABNT NBR 7190:2022 “Projeto de estruturas de madeira – Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas”, infere que se admitem coeficientes de variação de 18% para as resistências a esforços normais e de 28% para as resistências a esforços tangenciais. Deste modo, na Tabela 4 é possível perceber as propriedades de resistência se mantiveram dentro desta porcentagem delimitada, o que indica uma homogeneidade nos dados, demonstrando a estabilidade desta propriedade e a baixa probabilidade de variações ao acaso.

Ainda, os resultados apresentados na Tabela 4 inferem que as propriedades de densidade aparente, resistência à compressão paralela às fibras, MOE na compressão medido na direção paralela às fibras e dureza Janka na direção perpendicular às fibras, apesar de

sofrerem decréscimos em alguns períodos de exposição, não foram afetadas de maneira significativa pelos efeitos do intemperismo no período de estudo.

Isto provavelmente se deve ao fato de que o Angelim Vermelho, classificado como uma madeira de classe D60 de acordo com a ABNT NBR 7190:2022, e sendo determinado para o lote de referência um  $f_{c0,k}$  de 66,35 MPa obtido a partir das amostras ensaiadas, a classe de resistência mais elevada de madeiras nativas, se enquadra como uma madeira folhosa e, em geral, em relação às coníferas, estas possuem uma estrutura mais complexa e tecidos mais especializados, com um maior número de células e pouca porosidade, dificultando a imersão de outros materiais e proporcionando uma dureza mais elevada. Estas características proporcionam à madeira em estudo um comportamento mais uniforme nos valores de propriedades de resistência, o que pode favorecer na estabilidade da madeira em relação aos efeitos causados pelo intemperismo.

No que tange ao  $E_{c0}$  e ao  $f_{c0}$ , vale salientar que ambas as propriedades sofreram decréscimos nos lotes referentes aos 4 e 12 meses de exposição em comparação com o lote de referência, com apenas o lote referente aos 8 meses de exposição destoando deste resultado. Estes decréscimos apresentados em tais propriedades podem estar ligados à formação de fissuras e rachaduras conforme exposto. Gunes, Ersin e Altunok (2024) afirmam que em sua pesquisa o fator climático foi o fator que menos afetou propriedade de  $E_{c0}$  da madeira quando exposta ao intemperismo.

Em relação à dureza na direção paralela às fibras ( $f_{H0}$ ), os valores apresentados para os lotes de referência e de 4 meses de exposição são considerados estatisticamente equivalentes entre si, assim como os lotes de 8 e 12 meses de exposição. Ademais, é possível perceber que esta propriedade sofreu prejuízos em seus valores médios conforme o tempo de exposição foi se ampliando, também possuindo como prováveis agentes causadores o surgimento de fissuras e rachaduras na superfície dos corpos de prova.

No entanto, para a colorimetria, o lote de referência apresentou maiores valores no parâmetro de luminosidade, com uma diminuição deste no lote referente aos 4 meses de exposição, voltando a ser elevado no demais lotes, porém, ainda se mantendo menor que o valor de referência. Apesar desta variação, os três períodos de envelhecimento natural foram estatisticamente equivalentes entre si. Um comportamento diferente do de L foi observado nos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , os quais apesar de demonstrarem maiores valores no lote de referência sofreram apenas decréscimos com o decorrer do tempo de exposição, sem equivalências

estatísticas entre si, com exceção do parâmetro  $a^*$  para os lotes referentes a 8 e 12 meses de exposição.

Este comportamento dos parâmetros colorimétricos pode ser traduzido como um escurecimento da madeira e esta diminuição dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  indicam que a coloração da madeira convergiu para tons mais neutros. Herrera *et al.* (2018) e Almeida *et al* (2021) atribuem este efeito à degradação da lignina e à lixiviação dos extrativos.

Na Tabela 5 são apresentados os modelos de regressão polinomiais (de graus 1 ou 2) de melhor ajuste com base na análise de variância (ANOVA, 5% de significância), que consiste em uma análise de sensibilidade dos coeficientes presentes nessas equações. Pela ANOVA, é possível identificar se o aumento na ordem do polinômio realmente promove melhorias significativas na precisão desses na estimativa das propriedades aqui investigadas em função do período (trimestral) de exposição da madeira de Angelim Vermelho ao intemperismo natural.

Tabela 5 - Modelos de regressão.

Modelo	R <sup>2</sup> (%)	p-valor
$\rho_{ap} \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1.072 - 0.001046 \cdot N$	1.66%	0.382 (NS)
$L = 55.10 - 2.121 \cdot N + 0.1309 \cdot N^2$	43.36%	0.000 (S)
$a = 12.47 - 2.101 \cdot N + 0.09906 \cdot N^2$	98.07%	0.000 (S)
$b = 20.56 - 2.749 \cdot N + 0.1085 \cdot N^2$	97.50%	0.000 (S)
$f_{c0} \text{ (MPa)} = 79.56 + 0.1753 \cdot N$	0.57%	0.609 (NS)
$E_{c0} \text{ (MPa)} = 22291 - 125.7 \cdot N$	1.21%	0.457 (NS)
$f_{H0} \text{ (N)} = 12983 - 176.3 \cdot N$	34.84%	0.000 (S)
$f_{H90} \text{ (N)} = 12284 - 19.82 \cdot N$	2.87%	0.519 (NS)

Fonte: Autora, 2024.

\*P-valor da ANOVA (5% de significância) inferior a 5% implica na significância (S) do modelo (variações em N explicam variações nas variáveis dependentes), e na não significância (NS) em caso contrário ( $p\text{-valor} \geq 0.05$ ).

Os modelos de regressão expostos na Tabela 5 obedecem aos resultados apresentados anteriormente. Portanto, conforme supracitado, estes demonstram que dos parâmetros estudados, apenas os relacionados à colorimetria e à dureza na direção paralela às fibras possuem significância pela ANOVA, apresentando modelos de regressão linear que supostamente possibilitam estimar a variação destas propriedades em períodos não estudados.

Para as demais propriedades em estudo, observando o modelo de regressão, bem como o p-valor da ANOVA, os quais não são significativos, é possível inferir que estas propriedades

não sofreram efeitos significativos com a exposição ao intemperismo no período de estudo, diferentemente da colorimetria e da dureza paralela às fibras.

Ademais, foi possível perceber que em sua maioria as propriedades de resistência em estudo apresentaram um comportamento semelhante em relação ao lote de referência, sendo: uma diminuição dos resultados no lote de 4 meses de exposição, seguido por um aumento no lote de 8 meses de exposição, seguido por novamente um decréscimo no lote de 12 meses de exposição. Isto pode estar atribuído, ao fato de que o lote que ficou exposto por 4 meses sofreu apenas uma estação seca e quente, com baixo teor de umidade, enquanto o lote exposto por 8 meses além deste período dispôs de um período de transição, onde havia um maior equilíbrio entre a chuva e o Sol e, por fim, o lote exposto por 12 meses, além destes períodos sofreu um período bastante chuvoso com umidade do ar elevada e menores índices de radiação solar. Por isto, acredita-se que o lote referente a 8 meses conseguiu atingir um equilíbrio maior, com menos esforços que os demais, apesar destes terem sido armazenados com o mesmo teor de equilíbrio.

Vale salientar que não foram encontrados estudos aplicando tratamentos de intemperismo acerca desta espécie ou de outras espécies nativas semelhantes, assim como não foram encontrados estudos que considerem as condições climáticas da região em questão para fins de comparação na literatura.

## 5. CONCLUSÕES

---

A partir dos resultados apresentados, é possível concluir que os objetivos da presente pesquisa foram alcançados, constatando-se que a exposição da madeira Angelim-Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*) ao intemperismo da região amazônica na cidade de Porto Velho, capital de Rondônia, para o tempo estudado, correspondente a 1 ano de exposição, apesar de acarretar prejuízos às propriedades físicas e mecânicas da madeira, não perfaz uma degradação significativa à esta espécie, com exceção das propriedades de colorimetria e de dureza paralela às fibras, as quais sofreram maiores variações.

Provavelmente, devido à madeira em estudo ser classificada como uma folhosa D60 de acordo com a ABNT NBR 7190:2022, esta demonstre certa resistência e estabilidade em relação aos efeitos causados pelo intemperismo, o que faria necessário um estudo com maiores tempos de exposição.

A partir de modelos de regressão linear, foram propostas equações que visam calcular os parâmetros referentes à colorimetria e a dureza paralela às fibras para outros períodos de exposição além dos em estudo.

Considerando que houve a degradação da madeira em função da exposição ao intemperismo, é possível concluir ainda, em harmonia com a literatura acerca de outras regiões e de outras espécies de madeira em estudo, que a exposição ao intemperismo propicia a degradação progressiva e que, conseqüentemente, existe a necessidade de novos estudos com maiores períodos de exposição, para que seja possível quantificar o grau de degradação ano a ano.

Sugere-se, portanto, que sejam realizadas pesquisas neste sentido considerando corpos de prova submetidos à maiores períodos de exposição visando avaliar melhor os efeitos e o comportamento da madeira nativa frente a este tipo de intemperismo. Ademais, seria de interesse realizar ensaios visando a análise química do material exposto ao intemperismo a fim de avaliar, por exemplo, a perda de extrativos da madeira.

Por fim, não foi possível realizar comparações fiéis com este resultado devido à ausência de estudos acerca de madeiras nativas e de condições climáticas amazônicas na literatura.

## REFERÊNCIAS

---

ABNT NBR 7190-3. **Projeto de estruturas de madeira - Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas.** Associação Brasileira de Normas Técnicas 2022.

ALMEIDA, Diego Henrique De. **ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA E DE RIGIDEZ DE MADEIRAS TROPICAIS BRASILEIRAS PELA TÉCNICA DE COLORIMETRIA.** [s.l.: s.n.].

ALMEIDA, Diego Henrique De; SCALIANTE, Ricardo de Mello; DE MACEDO, Lauren Borges; MACÊDO, Alcebíades Negrão; DIAS, Antonio Alves; CHRISTOFORO, André Luis; CALIL, Carlito. Caracterização completa da madeira da espécie amazônica paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb) em peças de dimensões estruturais. **Revista Arvore**, [S. l.], v. 37, n. 6, p. 1175–1181, 2013. ISSN: 01006762. DOI: 10.1590/S0100-67622013000600019.

ALMEIDA, Tiago Hendrigo De. Efeito do intemperismo sobre propriedades da madeira. [S. l.], p. 121, 2019.

ALMEIDA, Tiago H.; ALMEIDA, Diego H.; CHAHUD, Eduardo; BRANCO, Luiz A. M. N.; PINHEIRO, Roberto V.; CHRISTOFORO, André L.; LAHR, Francisco A. R. Mechanical performance of wood under artificial and natural weathering treatments. **BioResources**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 6267–6277, 2019. ISSN: 19302126. DOI: 10.15376/biores.14.3.6267-6277.

ALMEIDA, Tiago H.; ALMEIDA, Diego H.; GONÇALVES, Débora; LAHR, Francisco A. R. Color variations in CIELAB coordinates for softwoods and hardwoods under the influence of artificial and natural weathering. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 35, n. June 2020, 2021. ISSN: 23527102. DOI: 10.1016/j.job.2020.101965.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, ABIMCI. Estudo Setorial. [S. l.], 2019.

BENCHMOL, Isaac Sidney. Técnicas de desdobro e produtividade da floresta Amazônica em madeira serrada. [S. l.], 1996.

BERNINI, Henrique; BORGES, Henrique D.; MARTINEZ, Jean Michel. Quasi-Analytical Algorithm Calibration for Retrieval of Inherent Optical Properties from Extremely Turbid Waters: The Case of Madeira River Basin. **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, [S. l.], p. 6150–6153, 2019. ISBN: 9781538691540. DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8897766.

BEZERRA, Ricardo Braz; DANTAS, Renilson Targino; TRINDADE, Avenildson Gomes. **Caracterização temporal da precipitação pluvial do município de Porto Velho/RO no período de 1945 a 2003**. [s.l.: s.n.].

BRITO, Leandro Dussarrat. Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. [S. l.], 2014.

CAI, Chenyang; HAAPALA, Antti; HABIBUR RAHMAN, Mohammad; TIITTA, Markku; TIITTA, Valteri; TOMPPO, Laura; LAPPALAINEN, Reijo; HERÄJÄRVI, Henrik. **Effects of Two-year Weather Exposure on Thermally Modified *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, and**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: [www.nrcresearchpress.com](http://www.nrcresearchpress.com).

CALIL JUNIOR, Carlito; LAHR, Francisco Antônio Rocco; DIAS, Antônio Alves. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. [s.l.: s.n.]. ISBN: 9788520442968.

CALIL NETO, Carlito. Madeira Laminada Colada (MLC): Controle de qualidade em combinações espécie-adesico-tratamento preservativo. **Phys. Rev. E**, [S. l.], n. Mlc, 2011.

CAMARGOS, José Arlete A.; GONÇALEZ, Joaquim C. **A COLORIMETRIA APLICADA COMO INSTRUMENTO NA ELABORAÇÃO DE UMA TABELA DE CORES DE MADEIRA**. [s.l.: s.n.].

COGULET, Antoine; BLANCHET, Pierre; LANDRY, Véronic. Wood degradation under UV irradiation: A lignin characterization. **Journal of Photochemistry and Photobiology B**:

**Biology**, [S. l.], v. 158, p. 184–191, 2016. ISSN: 18732682. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2016.02.030.

COUTINHO, Eliane de Castro; ROCHA, Edson José Paulino Da; LIMA, Aline Maria Meiguins; RIBEIRO, Hebe Morganne Campos; GUTIERREZ, Lucy Anne Cardoso Lobão; BARBOSA, Ana Júlia Soares; PAES, Gleicy Karen Abdon Alves; BISPO, Carlos José Capela; TAVARES, Paulo Amador. Variabilidade climática da precipitação na Bacia Amazônica brasileira entre 1982 e 2012. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 22, p. 149–164, 2018.

ALMEIDA, Tiago H.; DE ALMEIDA, Diego H.; GONÇALVES, Débora; LAHR, Francisco A. R. Color variations in CIELAB coordinates for softwoods and hardwoods under the influence of artificial and natural weathering. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 35, 2021. ISSN: 23527102. DOI: 10.1016/j.jobbe.2020.101965.

EMBRAPA, Amazonia Oriental. Angelim-vermelho, Dinizia excelsa. [S. l.], p. 1–2, 2004. ISBN: 8587690310.

FRANCA, Rafael Rodrigues Da. Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. **Revista Geografias**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 44–58, 2015. ISSN: 1808-8058. DOI: 10.35699/2237-549x..13392.

GUNES, Mehmet; ERSIN, Cagatay; ALTUNOK, Mustafa. **Effect of Climate and Wood Type on Elastic Modulus of Heat-treated Wood and its Optimization by the Taguchi Method**. **BioResources** North Carolina State University, 2024. (2) ISSN: 19302126. DOI: 10.15376/biores.19.2.3138-3148.

HERRERA, René; ARRESE, Ainhoa; DE HOYOS-MARTINEZ, Pedro L.; LABIDI, Jalel; LLANO-PONTE, Rodrigo. Evolution of thermally modified wood properties exposed to natural and artificial weathering and its potential as an element for façades systems. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 172, p. 233–242, 2018. ISSN: 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.157.

HUANG, Xianai; KOCAEFE, Duygu; KOCAEFE, Yasar; BOLUK, Yaman; PICHETTE, Andre. Changes in wettability of heat-treated wood due to artificial weathering. **Wood Science and Technology**, [S. l.], v. 46, n. 6, p. 1215–1237, 2012. ISSN: 00437719. DOI: 10.1007/s00226-012-0479-6.

IBAMA. **PAINÉIS ANALÍTICOS DA GESTÃO MADEIREIRA**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.gov.br/ibama>.

IBGE. Produção da extração vegetal e silvicultura, 2016. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.**, [S. l.], v. 31, p. 1, 2016.

IBGE. Produção da Extração Vegetale da Sivilcutura. [S. l.], p. 1–8, 2022.

IPT, Insituto de Pesquisa Tecnológica. **Catálogo De Madeiras Brasileiras Para a Construção Civil**. [s.l.: s.n.]. 104 p. ISSN: 1098-6596. ISBN: 978-85-09-00175-9.

JANKOWSKY, Ivaldo P. Fundamentos De Secagem De Madeiras. **Documentos Florestais**, [S. l.], n. 10, p. 1–13, 1990.

KAMPERIDOU, Vasiliki; BARBOUTIS, Ioannis. Natural Weathering Performance of Thermally Treated Poplar and Black Pine Wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, [S. l.], v. 23, n. 23, p. 01–12, 2021 a. ISSN: 0718221X. DOI: 10.4067/s0718-221x2021000100424.

KAMPERIDOU, Vasiliki; BARBOUTIS, Ioannis. Natural Weathering Performance of Thermally Treated Poplar and Black Pine Wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, [S. l.], v. 23, n. 23, p. 01–12, 2021 b. ISSN: 0718221X. DOI: 10.4067/s0718-221x2021000100424.

LIMA, Tales Fernando Pegoraro; DE ALMEIDA, Tiago Hendrigo; DE ALMEIDA, Diego Henrique; CHRISTOFORO, André Luis; LAHR, Francisco Antonio Rocco. Physical and mechanical properties of tatajuba wood specie (*Bagassa guianensis*) from two different Brazilian regions. **Revista Materia**, [S. l.], v. 23, n. 3, 2018. ISSN: 15177076. DOI: 10.1590/S1517-707620180003.0519.

NASIR, Vahid; FATHI, Hamidreza; KAZEMIRAD, Siavash. Combined machine learning–wave propagation approach for monitoring timber mechanical properties under UV aging. **Structural Health Monitoring**, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 2035–2053, 2021. ISSN: 17413168. DOI: 10.1177/1475921721995987.

OLANIRAN, Samuel Oluyinka; ETIENNE, Cabane; KEPLINGER, Tobias; OLUFEMI, Babatola; RÜGGERBERG, Markus. Mechanical behaviour of acetylated rubber wood subjected to artificial weathering. **Holzforschung**, [S. l.], v. 73, n. 11, p. 1005–1016, 2019. ISSN: 1437434X. DOI: 10.1515/hf-2018-0274.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira - 6ª Edição**. 2003.

ROSU, Dan; TEACA, Carmen Alice; BODIRLAU, Ruxanda; ROSU, Liliana. FTIR and color change of the modified wood as a result of artificial light irradiation. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S. l.], v. 99, n. 3, p. 144–149, 2010. ISSN: 10111344. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2010.03.010.

SANTOS, Ronaldo O. Dos; ARAÚJO, César C. S. De; TAVARES, Hanna V. B.; SILVA, Diego A. S. Da; OLIVEIRA, Cinthia P. De; LIMA, Robson B. De. Modelagem do rendimento em madeira serrada para espécies comerciais em serrarias do estado do Amapá. **Nativa**, [S. l.], v. 5, p. 612–618, 2017. ISSN: 2318-7670. DOI: 10.5935/2318-7670.v05nespa23.

SCHMITT CAVALHEIRO, Raquel; HENRIQUE ALMEIDA, Diego; HENDRIGO DE ALMEIDA, Tiago; LUIS CHRISTOFORO, André; ANTONIO ROCCO LAHR, Francisco. Density as Estimator of Shrinkage for Some Brazilian Wood Species. **International Journal of Materials Engineering**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 107–112, 2016. ISSN: 2166-5400. DOI: 10.5923/j.ijme.20160603.08.

SHEN, Haiying; ZHANG, Shaodi; CAO, Jinzhen; JIANG, Jun; WANG, Wang. Improving anti-weathering performance of thermally modified wood by TiO<sub>2</sub> sol or/and paraffin emulsion. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 169, p. 372–378, 2018. ISSN: 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.036.

SHIGUE, Erich Zaguó. Difusão da Construção em Madeira no Brasil: Agentes, Ações e Produtos. [S. l.], p. 247, 2018.

STEEGE, Hans Ter; VAESSEN, Rens W.; CÁRDENAS-LÓPEZ, Dairon; SABATIER, Daniel; ANTONELLI, Alexandre; DE OLIVEIRA, Sylvia Mota; PITMAN, Nigel C. A.; JØRGENSEN, Peter Møller; SALOMÃO, Rafael P. The discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 6, p. 1–15, 2016. ISSN: 20452322. DOI: 10.1038/srep29549.

STRAGLIOTTO, Michelly Casagrande; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi; OLIVEIRA, Aylson Costa. Indústrias Madeireiras E Rendimento Em Madeira Serrada Na Amazônia Brasileira. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade**, [S. l.], p. 499–518, 2020. DOI: 10.37885/200801030.

SUAREZ, Elisabet; RESCALVO, Francisco J.; FERNANDEZ, Alba; CRUZ, Ana; GALLEGO, Antolino. Influence of weathering on mechanical properties of culm samples of *Guadua angustifolia* Kunth bamboo with and without nodes. **Wood Material Science and Engineering**, [S. l.], 2022. ISSN: 17480280. DOI: 10.1080/17480272.2022.2039961.

SUAREZ, Elisabet; RESCALVO, Francisco J.; FERNANDEZ, Alba; CRUZ, Ana; GALLEGO, Antolino. Influence of weathering on mechanical properties of culm samples of *Guadua angustifolia* Kunth bamboo with and without nodes. **Wood Material Science & Engineering**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 434–445, 2023. ISSN: 1748-0272. DOI: 10.1080/17480272.2022.2039961. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17480272.2022.2039961>.

SUDAM, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. Pesquisas e Informações sobre espécies florestais da Amazônia. [S. l.], 1979.

TONDI, Gianluca; HU, Jinbo; RIZZO, Filippo; BUH, Janez; MEDVED, Sergej; PETUTSCHNIGG, Alexander; THEVENON, Marie France. Tannin-caprolactam and Tannin-PEG formulations as outdoor wood preservatives: weathering properties. **Annals of Forest Science**, [S. l.], v. 74, n. 1, 2017. ISSN: 1297966X. DOI: 10.1007/s13595-016-0605-y.

ŻÓŁTOWSKA, Sonia; MITTERPACH, Jozef; ŠEDIVKA, Přemysl; JEROUŠEK, Lukáš; PÁNEK, Miloš. Outdoor efficacy of additional hydrophobic treatment of weathered wood by siloxane. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 360, n. July, 2022. ISSN: 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129134.

## ANEXO I – TABELA RESUMO DOS RESULTADOS DA RBS

Título	Ano da publicação	Autores	Objetivo	Tipo de Intemperismo	Espécie da Madeira	Propriedades Estudadas	Resultados
Influence of weathering on mechanical properties of culm samples of <i>Guadua angustifolia</i> Kunth bamboo with and without nodes	2023	Suarez, E ; Rescalvo, F.J.; Fernandez, A. ; Cruz, A. ; Gallego, A.	Analisar o comportamento do bambu <i>Guadua angustifolia</i> Kunth sob várias perspectivas a partir de três tipos de testes para caracterizar suas propriedades mecânicas (compressão, tração e flexão), em amostras com e sem nós, e o efeito da exposição em elementos por dois anos, sem nenhum tipo de proteção, na cidade de Granada (sul da Espanha).	Natural	Bambu <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	Compressão, Tração e Flexão	Observou-se uma clara diferença de comportamento entre as amostras, com diminuição dos valores de tensão máxima e rigidez nas amostras submetidas à deterioração ambiental externa. Devido à deterioração causadas pelo intemperismo as amostras apresentaram fissuras muito acentuadas, em alguns casos, fazendo com que a fissura atravessasse completamente a seção da amostra. No que se refere à tração paralela às fibras, em termos médios a tensão máxima foi 6,3% superior nas amostras expostas a condições exteriores. Em relação ao módulo de elasticidade (MOE), no caso das amostras sem nó em condições ambientais externas, observa-se um leve aumento de 9,5% em relação às amostras controle, enquanto as amostras com nó sofreram uma diminuição de 22,5% no MOE. Ao analisar os resultados dos testes de flexão, observou-se que em média, as tensões de flexão para as amostras expostas ao ar livre foram 5,4% e 12,9% menores em relação à amostra controle sem nós. Os autores concluem que, quando submetido à compressão, o material evidencia claramente como o efeito das intempéries afeta negativamente a sua resistência, assim como a rigidez.
Effect of accelerated weathering test on selected properties of bamboo, scots pine and oriental beech wood treated with waterborne preservatives	2019	Topaloglu, E.	Revelar o efeito do intemperismo acelerado em várias propriedades de espécimes de Bambu ( <i>Phyllostachys bambusoides</i> ), Faia oriental ( <i>Fagus orientalis</i> ) e Pinheiro silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> ), não tratados e tratados com água e avaliar o desempenho dos conservantes usados neste estudo.	Artificial	Bambu ( <i>Phyllostachys bambusoides</i> ), Faia oriental ( <i>Fagus orientalis</i> ) e Pinheiro silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> )	Mudanças na densidade, resistência à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura estático e módulo de elasticidade.	Os resultados de densidade encontrados apresentados pelos autores não possuem relevância para a presente revisão bibliográfica, tendo em vista que estão atrelados às condições de tratamento utilizadas nos corpos de prova, e não com os efeitos do intemperismo propriamente.

Título	Ano da publicação	Autores	Objetivo	Tipo de Intemperismo	Espécie da Madeira	Propriedades Estudadas	Resultados
Influence of the wood quality and treatment temperature on the physical and mechanical properties of thermally modified radiata pine	2019	Herrera-Díaz, R.; Sepúlveda-Villaruel, V.; Torres-Mella, J.; Salvo-Sepúlveda, L.; Llano-Ponte, R.; Salinas-Lira, C.; Peredo, M.A.; Ananías, R.A.	O objetivo deste estudo foi examinar os efeitos da qualidade dos tratamentos térmicos utilizados na madeira nas propriedades físicas obtidas em duas temperaturas de tratamento diferentes, comumente utilizadas em nível indústria	Artificial	Pinheiro Radiata ( <i>Pinus radiata</i> D. Don)	Dentre os ensaios realizados, apenas o de colorimetria considerou os efeitos do intemperismo.	Os autores observaram um efeito escurecido e sem amarelamento ou avermelhamento nas amostras não tratadas expostas ao intemperismo acelerado, alterando a cor em até 5% em relação ao valor inicial.
Combined machine learning-wave propagation approach for monitoring timber mechanical properties under UV aging	2021	Nasir, V.; Fathi, H.; Kazemirad, S.	O objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo inteligente de aprendizado de máquina capaz de lidar com uma ampla gama de produtos de madeira sem conhecer a espécie de madeira e o tempo de exposição aos raios UV.	Artificial	Abeto ( <i>Abies alba</i> ), amieiro ( <i>Alnus glutinosa</i> ), carvalho ( <i>Quercus</i> spp.) e choupo ( <i>Populus euroamericana</i> )	Testes de propagação de ondas Lamb, flexão de três pontos, MOE e MOR.	As velocidades das ondas Lamb (CL) e de cisalhamento (CS) diminuíram com o tempo de exposição aos raios UV, o que foi mais perceptível após 150 horas e 240 horas de exposição. A maior redução de CL após 240 h de exposição foi observada no abeto (redução de ~10%) seguido pela madeira de carvalho (6,5%), choupo (5%) e amieiro (4%). Uma tendência semelhante também foi observada para a redução de CS nas quatro espécies de madeira. A média dos valores de MOE e MOR das amostras diminuiu com o tempo de exposição aos raios UV. A faixa de redução do MOE foi entre 12%, para o amieiro, e 22%, para o abeto. No que se refere ao MOR, a diminuição foi entre 11%, para o amieiro, e 17% para choupo. Esta diminuição pode ser atrelada à formação de rachaduras microscópicas na superfície da madeira.
Tannin-caprolactam and Tannin-PEG formulations as outdoor wood preservatives: weathering properties	2017	Tondi, G.; Hu, J.; Rizzo, F.; Buh, J.; Medved, S.; Petutschnigg, A.; Thevenon, M. F.	O objetivo do estudo é encontrar aditivos adequados para formulações à base de tanino para superar limitações no que tange à resistências às intempéries, sem comprometer as outras propriedades.	Artificial e Natural	Pinheiro silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)	Foram realizados ensaios de lixiviação, resistência ao fogo, estabilidade dimensional e colorimetria. Destes, apenas a colorimetria considerou os efeitos do intemperismo.	Os autores apontam que as amostras de madeira convergem, em geral, para a cor cinza após a exposição à ambos os tipos de intemperismo, no entanto, o intemperismo natural apresenta uma degradação mais avançada.

Título	Ano da publicação	Autores	Objetivo	Tipo de Intemperismo	Espécie da Madeira	Propriedades Estudadas	Resultados
Color variations in CIELAB coordinates for softwoods and hardwoods under the influence of artificial and natural weathering	2021	de Almeida, T. H.; de Almeida, D. H.; Gonçalves, D.; Lahr, F. A. R.	Estudar as mudanças de cor para madeiras macias e duras intemperizadas coletadas em áreas florestais certificadas em oito classes de resistência.	Artificial e Natural	Pinus L., Simarouba amara Aubl., Anacardium giganteum W. Hancock ex Engl., Erisma uncinatum Warm., Bagassa guianensis Aubl. e Peltogyne lecointei Ducke.	Colorimetria	Ambos os tratamentos de intemperismo proporcionaram uma diminuição nos valores médios de luminosidade, evidenciando assim um efeito de escurecimento causado pelo intemperismo, em especial para o intemperismo natural. Foi observado, ainda, uma grande redução dos valores de a* (vermelho-verde) e b* (amarelo/azul) devido ao intemperismo natural. De acordo com o padrão CIELAB, fica mais evidente uma tonalidade cinza neutra (acromática) quando esses parâmetros estão próximos de zero. As amostras naturalmente intemperizadas (coníferas e folhosas) diferem principalmente na luminosidade quando comparadas com as demais, com a menor distribuição de valores. Mudanças em a* foram assumidas como ligadas a mudanças em grupos cromóforos em extrativos de madeira, e em b*, à degradação de lignina seguida por uma etapa de lixiviação. Os resultados indicaram que um tratamento de intemperismo natural pode ser caracteristicamente ligado a amostras cinzas e mais escuras. Para o intemperismo artificial, os valores de luminosidade e b* diminuíram, enquanto a* permaneceu inalterado, significando que as amostras ficaram cinza e mais escuras, semelhantes ao efeito do intemperismo natural, mas com a* não sendo consideravelmente afetado.
The Effect of Artificial Weathering on Surface Properties of Thermally Modified Oriental Beech Wood	2021	Turkoglu, T.; Toker, H.; Baysal, E.; Gunduz, A.; Altay, C.; Kucuktuvek, M.; Peker, H.	O estudo teve como objetivo determinar alguns parâmetros superficiais como rugosidade superficial e mudanças de cor de amostras de madeira de faia oriental ( <i>Fagus orientalis</i> L.) termicamente modificadas após 750 horas de intemperismo artificial.	Artificial	Faia oriental ( <i>Fagus orientalis</i> L.)	Rugosidade superficial e Colorimetria	Após o intemperismo artificial, houve o aumento da aspereza da madeira não tratada. O valor encontrado para o parâmetro de rugosidade da superfície, altura média pico-vale (Rz), foi de 106,63%. A exposição ao intemperismo causou, ainda, a diminuição dos valores de luminosidade, além de conferir uma cor avermelhada à madeira, apresentando valores de b* positivos, o que pode ser devido à modificação de alguns grupos cromóforos da lignina.

Título	Ano da publicação	Autores	Objetivo	Tipo de Intemperismo	Espécie da Madeira	Propriedades Estudadas	Resultados
Changes in wettability of heat-treated wood due to artificial weathering	2012	Huang, X. A.; Kocaefe, D.; Kocaefe, Y.; Boluk, Y.; Pichette, A.	O objetivo deste estudo é investigar a evolução da molhabilidade do pinheiro-bravo norte-americano ( <i>Pinus banksiana</i> ), álamo-trémulo ( <i>Populus tremuloides</i> ) e bétula ( <i>Betula papyrifera</i> ) tratados termicamente durante o intemperismo artificial.	Artificial	Pinheiro-bravo norte-americano ( <i>Pinus banksiana</i> ), álamo-trémulo ( <i>Populus tremuloides</i> ) e bétula ( <i>Betula papyrifera</i> )	Molhabilidade e Composição química através de Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (ATR-FTIR).	Os resultados sugerem que o intemperismo acelera significativamente a absorção e penetração de água em superfícies de madeirões tratadas, reduzindo significativamente o tempo total de umedecimento, o que aumenta a molhabilidade. A diferença na estrutura da superfície da madeira pode causar diferenças na molhabilidade, o que também podem estar relacionadas a mudanças nas propriedades químicas do material. Tais resultados foram reafirmados através da MEV, tendo em vista que esta evidenciou grandes fissuras longitudinais e horizontais presentes nas superfícies tangenciais longitudinais de todas as três espécies, permitindo uma entrada mais fácil de água na parede celular, o que consequentemente diminui os ângulos de contato. Ademais, a camada de madeira danificada possui características físicas e químicas diferentes daquelas do volume de madeira e a profundidade máxima do dano parece desempenhar um papel importante na molhabilidade da espécie durante o intemperismo artificial. A FTIR apontou que todas as bandas características de lignina diminuem significativamente como resultado do processo de intemperismo para todas as espécies, o que indica que a lignina é o componente mais degradado durante o intemperismo. Além disso, foi observada uma perda da cristalinidade da superfície das madeiras em estudo, o que o aumenta a proporção do componente celulose amorfa e, consequentemente, aumenta a afinidade pela água.
Outdoor efficacy of additional hydrophobic treatment of weathered wood by siloxane	2022	Zołtowska, S.; Mitterpach, J.; Sedivka, P.; Jerousek, L.; Pánek, M.	O estudo teve como objetivo investigar a eficácia e a estabilidade do tratamento hidrofóbico adicional por siloxano aplicado a madeira de abeto, larício e carvalho pré-envelhecida durante a subsequente exposição ao ar livre.	Natural	Abeto ( <i>Picea abies</i> , L. Karst), Larício ( <i>Larix decidua</i> , L.) e Carvalho ( <i>Quercus robur</i> , L.).	Colorimetria, molhabilidade de superfície, rugosidade e ATR-FTIR	As amostras expostas ao intemperismo mudaram significativamente a cor para tons de cinza, de acordo com trabalhos conhecidos. As referências de madeira de abeto, larício ou carvalho nativa não tratada rapidamente perderam a hidrofobicidade e, após 9 meses de intemperismo, a razão para isso é a lixiviação de lignina, extrativos e hemiceluloses e um aumento significativo na proporção de celulose hidrofílica na superfície desgastada superior da madeira. A madeira sem tratamento de referência ultrapassou o limite de teor de umidade adequado para o ataque de fungos xilófagos, em todas as espécies de madeira testadas. Deste ponto de vista, a madeira de abeto, com menor durabilidade natural e suscetibilidade a podridões, é mais arriscada como material de construção. A madeira sem tratamento encharcou durante a precipitação significativamente mais rápido devido à fotodegradação e lixiviação de lignina hidrofóbica e matriz de superfície extrativa. Os demais resultados encontrados apresentados pelos autores não possuem relevância para a presente revisão bibliográfica, tendo em vista que estão atrelados às condições de tratamento utilizadas nos corpos de prova, e não com os efeitos do intemperismo propriamente.

Título	Ano da publicação	Autores	Objetivo	Tipo de Intemperismo	Espécie da Madeira	Propriedades Estudadas	Resultados
Mechanical behaviour of acetylated rubber wood subjected to artificial weathering	2019	Olaniran, S. O.; Etienne C.; Keplinger, T.; Olufemi, B.; Rüggeberg, M.	O estudo tem como objetivo caracterizar o comportamento tensão-deformação, resistência à tração e módulo de Young de amostras de madeira não modificadas e acetiladas.	Artificial	Seringueira (H. brasiliensis Muell Arg.)	Tensão-deformação, resistência à tração, módulo de Young e Colorimetria.	Durante o processo de intemperismo, distorções de forma, como torção e rachaduras foram observadas nas amostras sem tratamento, geralmente estas são resultado de tensões internas geradas por mudanças de umidade durante a umedecimento e secagem. Além disso, tais amostras apresentaram cor cinza após o intemperismo. A perda de peso foi maior para as amostras de referência (até 9,6% após 4 semanas), provavelmente devido à degradação bem documentada da lignina e à subsequente lixiviação de fragmentos de lignina das superfícies de madeira durante a exposição à radiação UV e chuva. O intemperismo com lixiviação de fragmentos de lignina degradados progrediu mais rápido e mais profundamente nas amostras de referência. As amostras de referência não intemperizadas mostraram uma rigidez média à tração de $19,0 \pm 4,5$ GPa. O módulo de elasticidade das amostras de referência diminuiu em função do tempo de intemperismo para $10,3 \pm 4,7$ GPa após 4 semanas de intemperismo. A resistência à tração foi reduzida em 47% após 2 semanas de intemperismo para amostras não modificadas. Nenhuma diminuição adicional foi encontrada após 3 e 4 semanas. Os demais resultados encontrados apresentados pelos autores não possuem relevância para a presente revisão bibliográfica, tendo em vista que estão atrelados às condições de tratamento utilizadas nos corpos de prova, e não com os efeitos do intemperismo propriamente.

Título	Ano da publicação	Autores	Objetivo	Tipo de Intemperismo	Espécie da Madeira	Propriedades Estudadas	Resultados
Evolution of thermally modified wood properties exposed to natural and artificial weathering and its potential as an element for facades systems	2018	Herrera, R; Arrese, A.; de Hoyos-Martinez, P.L.; Labidi, J. ; Llano-Ponte, R.	O objetivo do estudo é determinar os efeitos de fatores ambientais em madeira termicamente modificada (de espécies folhosas e macias) durante sua vida útil em propriedades físico-mecânicas, térmicas e ópticas.	Artificial e Natural	Pinheiro radiata (Pinus radiata D. Don) e freixo europeu (Fraxinus excelsior L.)	Densidade, teor de umidade, MOE, MOR, dureza superficial, dureza, estabilidade térmica e colorimetria.	Em relação ao método de intemperismo utilizado, a exposição natural teve um efeito mais proeminente no teor de umidade, o que pode ser atrelado aos fatores bióticos que começam a se desenvolver durante a exposição. Todas as amostras apresentaram densidade decrescente após a exposição ao intemperismo, provavelmente por conta das fases de degradação da madeira, nas quais a água desempenha um papel crucial. No início, uma lenta mudança estrutural foi observada na superfície, seguida por uma rápida erosão dos componentes da madeira produzida pela lixiviação de hemiceluloses, abrasão da superfície e, finalmente, surgiram rachaduras e grãos elevados, resultando na perda de massa. As maiores perdas em MOE foram encontradas em amostras não tratadas (tanto Freixo quanto Pinheiro) expostas ao envelhecimento natural, com reduções de 12 a 29%. Os resultados mostraram que os fatores bióticos inerentes às intempéries naturais afetaram em maior medida as amostras de madeira não tratada. Em relação ao MOR, este sofreu decréscimos, o que pode ser correlacionado com a diminuição da densidade após a exposição ao intemperismo. Esta redução confirmou a suscetibilidade da madeira não tratada à lixiviação química durante as condições de intemperismo, levando a uma maior despolimerização de lignina e liberação extrativa, o que contribui para a quebra microestrutural. Assim como as demais propriedades, a dureza superficial também foi prejudicada pelos efeitos do intemperismo. A variação colorimétrica dos parâmetros na madeira não tratada foi significativa e negativa, mas não foram observadas diferenças claras entre os testes de intemperismo artificial e natural. Os parâmetros L e b* da madeira não tratada diminuíram, indicando o escurecimento da madeira, a qual passou para tons acinzentados. As mudanças de L indicaram que a luz ultravioleta degradou rapidamente os extrativos na madeira, o que levou a uma diminuição considerável da luminosidade nas superfícies. Ambas as amostras não tratadas inicialmente tenderam ao amarelamento e, em relação às tendências gerais de cores, as superfícies das amostras não modificadas tornavam-se cinza-prateadas após longos períodos de luz natural e exposição aos raios UV. Este efeito estaria associado à quebra química da lignina e dos extrativos. Os testes de intemperismo e envelhecimento não comprometeram significativamente a degradação térmica das madeiras.

Título	Ano da publicação	Autores	Objetivo	Tipo de Intemperismo	Espécie da Madeira	Propriedades Estudadas	Resultados
Evolution of thermally modified wood properties exposed to natural and artificial weathering and its potential as an element for facades systems	2018	Shen, H.; Zhang, S.; Cao, J.; Jiang, J.; Wang, W.	O estudo possui como objetivo investigar a propriedade anti-intempéries da madeira termicamente modificada por pós-tratamentos com TiO <sub>2</sub> e/ou emulsão de parafina para controlar a luz UV e a umidade, respectivamente.	Artificial	Pinheiro silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)	Colorimetria, molhabilidade, MEV e ATR-FTIR	Quanto à colorimetria, com o envelhecimento artificial, a superfície das amostras de madeira tornou-se mais clara e esbranquiçada durante o ensaio de intemperismo artificial. O fenômeno mostra que fatores climáticos, como radiação ultravioleta e água, fizeram a superfície da madeira desbotar e perder seu brilho original. Após a exposição, as amostras de madeira não tratada apresentaram fissuras significativas nas bordas da cava perpendiculares à direção axial, confirmando a degradação dos componentes da madeira. Os resultados do ensaio de ATR-FTIR revelam a perda do teor de lignina da madeira. A relação lignina/carboidrato diminuiu nas amostras de madeira de com o aumento do tempo de exposição, confirmando a degradação preferencial dos componentes da lignina durante a irradiação ultravioleta. Os demais resultados encontrados apresentados pelos autores não possuem relevância para a presente revisão bibliográfica, tendo em vista que estão atrelados às condições de tratamento utilizadas nos corpos de prova, e não com os efeitos do intemperismo propriamente.
Effects of Two-year Weather Exposure on Thermally Modified Picea abies, Pinus sylvestris, and Fraxinus excelsior Wood	2020	Cai, C.; Haapala, A.; Rahman, M. H.; Tiitta, M.; Tiitta, V.; Tomppo, L.; Lappalainen, R.; Heräjärvi, H.	O objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças nas propriedades de pinheiro silvestre, abeto e freixo europeu termicamente modificados após 2 anos de exposição prolongada a condições externas e avaliar o potencial do método de técnica de ultrassom para a verificação interna da madeira termicamente modificada.	Natural	Pinheiro silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> L.), freixo europeu ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) e Abeto ( <i>Picea abies</i> , L. Karst),	Densidade, FTIR-ATR, pH, colorimetria, teor de umidade, dureza e abaulamento.	Não foram observadas mudanças significativas nas densidades. O intemperismo teve um efeito proeminente na degradação de grupos funcionais da madeira não tratada. Os resultados apresentados pela FTIR-ATR reafirmam que a fotodegradação diminuiu o teor de lignina e causa um aumento na participação da celulose na madeira. Mudanças semelhantes em intensidades de pico responsáveis pela lignina, hemicelulose e celulose foram observadas na superfície das amostras de todas as espécies. Todos os espécimes indicaram um aumento no teor de umidade de equilíbrio o que pode ser explicado pelo aumento dos grupos hidroxila e pela degradação de lignina hidrofóbica. A dureza diminuiu em função do tempo de intemperismo, o que pode ser relacionado com a degradação das paredes celulares da madeira, mudanças no teor de umidade e erosão da superfície. A proporção inversa entre teor de umidade e dureza é justificada pelo fato de que a água substitui as pontes de hidrogênio nas regiões amorfas da celulose, aumentando a flexibilidade da rede polimérica e facilitando a deflexão da madeira durante o carregamento. Além disso, o inchaço da parede celular induzido pela umidade faz com que menos substâncias disponíveis da parede celular por unidade de área resistam à carga. O abaulamento o pode ser afetado por fatores climáticos, como umidade e precipitação imediatamente antes de cada dia de medição.

Título	Ano da publicação	Autores	Objetivo	Tipo de Intemperismo	Espécie da Madeira	Propriedades Estudadas	Resultados
Natural weathering performance of thermally treated poplar and black pine wood	2021	Kamperidou, V.; Barboutis, I.	Durante as pesquisas as espécies de madeira de choupo e pinheiro-larício foram submetidas a tratamento térmico em condições variantes e a sua resistência às intempéries naturais foi investigada através da determinação de propriedades cruciais para o seu aproveitamento, como a cor e a rugosidade da superfície, foram, ainda, realizadas avaliações microscópicas da aparência e estrutura das amostras antes e após 100 dias de exposição ao ar livre, a fim de compreender a resposta da madeira tratada termicamente ao processo natural de intemperismo.	Natural	Choupo (ou álamo) (Populus sp.) and Pinheiro-larício (Pinus nigra L.)	Caracterização macroscópica e microscópica, colorimetria e rugosidade superficial.	Em geral, observou-se um grau de descoloração (cinza), provavelmente devido à lixiviação dos extratos solúveis em água e às reações fotoquímicas e oxidativas graduais que são aceleradas principalmente por os fatores de luz ultravioleta e umidade. Esta alteração de cor registrada nas superfícies radiais expostas foi, em todos os casos, distribuída uniformemente por toda a superfície da placa. Além disso, a madeira tornou-se áspera, surgiram novas manchas na superfície, sinais de infestação fúngica e colonização de mildio (manchas pretas). Após a exposição, as superfícies das amostras de ambas as espécies revelaram um maior grau de rugosidade. Os demais resultados encontrados apresentados pelos autores não possuem relevância para a presente revisão bibliográfica, tendo em vista que estão atrelados às condições de tratamento utilizadas nos corpos de prova, e não com os efeitos do intemperismo propriamente.
Effect of Climate and Wood Type on Elastic Modulus of Heat-treated Wood and its Optimization by the Taguchi Method	2024	Gunes, M.; Ersin, C.; Altunok, M.	Neste estudo, o método Taguchi foi utilizado para examinar o tratamento térmico, a impregnação de taninos e as condições climáticas artificiais para determinar quais dos fatores identificados	Artificial	Pinheiro silvestre (Pinus sylvestris L.), carvalho-branco (Quercus petraea L.) e castanheira-portuguesa (Castanea sativa M.)	MOE	Os resultados obtidos demonstraram que o fator que mais afeta o módulo de elasticidade é a espécie da madeira, seguido do tratamento adotado, e o fator que menos afeta é o fator climático. Os demais resultados encontrados apresentados pelos autores não possuem relevância para a presente revisão bibliográfica, tendo em vista que estão atrelados às condições de tratamento utilizadas nos corpos de prova e com o método Taguchi (modelo matemático), e não com os efeitos do intemperismo propriamente.

Título	Ano da publicação	Autores	Objetivo	Tipo de Intemperismo	Espécie da Madeira	Propriedades Estudadas	Resultados
			impactam significativamente a resistência do módulo de elasticidade da madeira à flexão.				
Mechanical performance of wood under artificial and natural weathering treatments	2019	Almeida, T.H.; Almeida, D.H.; Chahud, E.; Branco, L.A.M.N.; Pinheiro, R.V.; Christoforo, A. L.; Lahr, F.A.R.	Este trabalho possui o objetivo de investigar as mudanças no desempenho mecânico da madeira submetida a tratamentos de intemperismo natural e artificial, abrangendo todas as classes de resistência do código normativo brasileiro, para fornecer informações mais gerais e úteis sobre o desempenho mecânico da madeira envelhecida. Além disso, foi determinada uma relação entre os tratamentos de intemperismo artificial e natural com base nas propriedades mecânicas da madeira.	Artificial e Natural	Pinus sp (C20, C25 e C30), Simarouba amara (D20), Anacardium giganteum (D30), Erisma uncinatum (D40), Bagassa guianensis (D50) e Peltogyne lecointei (D60).	Módulo de elasticidade e resistência convencional na flexão estática, resistência à compressão paralela ao grão, dureza perpendicular ao grão e limite elástico no ensaio de flexão estática.	Todas as propriedades mecânicas foram influenciadas pelo tratamento de intemperismo natural. As propriedades de MOE em flexão estática e resistência convencional em flexão estática diminuíram com o envelhecimento artificial e natural, mas o limite elástico no teste de flexão estática aumentou com os mesmos tratamentos, o que levou ao aumento da fragilidade da madeira. O desempenho mecânico da madeira diminuiu 15,7% após 360 dias do tratamento de intemperismo natural com base nos modelos de regressão linear significativa.