



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Francisco Davi Freitas Alves

**Deterioração da madeira de espécies nativas da Caatinga submetidas à campo de
apodrecimento**

Mossoró-RN
Julho/2025

Francisco Davi Freitas Alves

**Deterioração da madeira de espécies nativas da Caatinga submetidas à campo de
apodrecimento**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Rodolfo de Melo

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Rusch

Mossoró-RN

Julho/2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A474d Alves, Francisco Davi Freitas.
Deterioração da madeira de espécies nativas da
Caatinga submetidas à campo de apodrecimento /
Francisco Davi Freitas Alves. - 2025.
52 f. : il.

Orientador: Rafael Rodolfo de Melo.
Coorientador: Fernando Rusch.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Florestal, 2025.

1. Durabilidade natural. 2. biodeterioração. 3.
resistência mecânica. 4. madeiras do semiárido. I.
Melo, Rafael Rodolfo de, orient. II. Rusch,
Fernando , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Francisco Davi Freitas Alves

**Deterioração da madeira de espécies nativas da Caatinga submetidas à campo de
apodrecimento**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Florestal.

Defendida em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Rafael Rodolfo de Melo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Fernando Rusch, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Felipe Bento de Albuquerque, Prof. Dr. (IFRN)
Membro Examinador

In memoriam do meu avô, Raimundo Dias de Araújo, que sempre acreditou no meu potencial e sonhou em me ver um profissional da área de campo. Sua memória, seus ensinamentos e seu exemplo de vida foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, com imensa gratidão e amor, à minha mãe, Maria Cleide Freitas Dias, por todo incentivo, carinho, apoio incondicional e dedicação, que foram pilares essenciais ao longo de toda a minha jornada acadêmica e de vida.

Ao meu pai, Francisco Aldeci dos Santos Alves, também dedico este trabalho, por ser o meu maior exemplo, meu melhor amigo, pelo apoio constante desde o início do curso, por me ensinar o valor da educação e da ciência, pela ajuda e suporte em todos os aspectos da minha vida acadêmica e por sempre acreditar no meu potencial.

À minha irmã, Jéssica Maria Freitas Alves, que esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio, força e incentivo durante toda minha graduação.

À minha querida sobrinha, Maria Jasmine Freitas de Almeida, o mais novo e iluminado membro da nossa família. É uma alegria vê-la crescer, tornando-se uma criança especial, inteligente e cheia de encantos, te amo minha fofinha.

Dedico ainda à minha avó, Maria Cleosmar de Freitas Dias, que foi fundamental em toda a minha história acadêmica e em minha criação desde os primeiros anos de vida, sendo base de amor, ensinamentos e exemplo de dedicação.

Não seria possível realizar este trabalho, e este sonho, sem o amor, o carinho e a ajuda que todos vocês me deram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, que é meu tudo, e por me conceder saúde, força e sabedoria para enfrentar cada desafio desta caminhada.

Em segundo ao meu orientador, Professor Rafael Rodolfo de Melo, por ter aberto as portas do conhecimento científico para mim e se tornar o maior exemplo de pesquisador e professor que levo como referência. Sou grato por todo o suporte, apoio e dedicação em todos os momentos em que precisei, e pela amizade construída ao longo dessa caminhada, que certamente levarei para a vida.

Estendo meus agradecimentos ao meu coorientador, Fernando Rusch, pela confiança depositada em meu potencial, por acreditar em mim e pelo suporte prestado sempre que necessário.

Agradeço também a José Wilsom Gomes de Freitas, Raimunda de Brito Lima e toda a sua família, pelo apoio fundamental no dia da minha matrícula e pela ajuda generosa na minha mudança, momentos que marcaram o início desta jornada. Sou profundamente grato também pelo apoio constante que sempre me ofereceram ao longo do caminho.

Agradeço também aos meus amigos e amigas que estiveram comigo durante toda a graduação, em especial a Maria Cleoneide Carlos Ribeiro, Cassia Silva, Joana Alice, Ana Beatriz, Ingrid Carla, José Eduardo, José Filipe e demais amigos e companheiros do curso de Engenharia Florestal e de outros cursos, que de alguma forma contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal.

Meu agradecimento aos pesquisadores que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial a Edgley Alves de Oliveira Paula, por sempre me fazer enxergar meus erros de forma construtiva, e ao Professor Saulo Tasso, que gentilmente se dispôs a me ajudar na interpretação e modelagem dos dados meteorológicos. Também aos membros examinadores da banca, o Professor Felipe Bento de Albuquerque e Márcia Ellen Chagas dos Santos Couto.

Por fim, deixo meu sincero agradecimento aos meus familiares e amigos que sempre estiveram presentes, oferecendo apoio e suporte nos momentos mais necessários, em especial a Gustavo Elias Freitas Gomes e Gustavo Martins Sousa, que foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

RESUMO

A madeira frequentemente é utilizada em contato com o solo. Isso gera um ambiente favorável ao ataque de fungos ou possibilita ponto de acesso de cupins. Assim, a suscetibilidade da madeira a agentes deteriorantes, são fundamentais para adequação da espécie ao uso em cada ambiente. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a evolução da deterioração da madeira de cinco espécies nativas da Caatinga, que foram submetidas à campo de apodrecimento durante o período de cinco anos e meio. Os materiais utilizados foram as madeiras das espécies pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), jurema-de-embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.), pau-branco (*Cordia oncocalyx* Allemão) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). Como tratamento controle, foram adotadas toras de *Eucalyptus* sp., tratadas com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA). A instalação do experimento foi feita em blocos casualizados, com seis repetições para cada espécie. A cada seis meses as estacas foram desenterradas e submetidas a avaliação de notas atribuídas em função do desgaste e, a pesagem para estimativa da perda de massa. Ao término do experimento, foram produzidos corpos de prova a partir das estacas em campo, para a realização de ensaios de resistência à compressão paralela às fibras. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com posterior comparação das médias por meio do teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade. A avaliação da deterioração por perda de massa, de notas atribuídas e a resistência a compressão paralela indicaram que a espécie sabiá apresentou o melhor desempenho, com 17,30% de perda de massa, 81,11 de nota média e 66,28 MPa, inclusive com resultados similares ao material padrão (*Eucalyptus* tratado com CCA) que obteve 96,65 de nota média, 14,89% de perda de massa e 42,62 MPa. Diferentemente das espécies pau-branco e pereiro, que demonstraram as maiores deteriorações neste estudo. Isto reforça a indicação do sabiá como uma espécie promissora para o uso em mourões, estacas ou outras aplicações em que as peças de madeira sejam utilizadas em contato com o solo.

Palavras-chave: Durabilidade natural; biodeterioração; resistência mecânica; madeiras do semiárido.

ABSTRACT

Wood is often used in contact with the soil. This creates a favorable environment for fungal attack or provides an access point for termites. Therefore, tests that evaluate this characteristic are essential for identifying the most suitable species for use in each environment. This study aims to assess the progression of wood deterioration in five native species from the Caatinga biome, which were subjected to a field decay test for a period of five and a half years. The materials used were wood from the following species: pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), jurema-de-embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.), pau-branco (*Cordia oncocalyx* Allemão), and sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). As a control treatment, logs of *Eucalyptus* sp. treated with Chromated Copper Arsenate (CCA) were used. The experiment was set up in a randomized block design, with six replications for each species. Every six months, the stakes were removed from the soil and evaluated using scores assigned according to wear, as well as weighed to estimate mass loss. At the end of the experiment, test specimens were produced from the stakes in the field, which were then used to perform compression strength tests parallel to the grain. The results were evaluated through analysis of variance, followed by mean comparison using the Scott-Knott test (1974) at a 5% significance level. The deterioration assessment, based on mass loss, assigned scores, and parallel-to-grain compression strength, indicated that the sabiá species showed the best performance, with 17.30% mass loss, an average score of 81.11, and 66.28 MPa, with results even comparable to the standard material (CCA-treated *Eucalyptus*), which had an average score of 96.65, 14.89% mass loss, and 42.62 MPa. In contrast, the pau-branco and pereiro species showed the greatest deterioration. This reinforces the recommendation of sabiá as a promising species for use in fence posts, stakes, or other applications in which wood pieces are used in contact with the soil.

Keywords: Natural durability; biodeterioration; mechanical resistance; semi-arid wood.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Registro fotográfico das espécies utilizadas no estudo: (A) Pereiro (<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.), (B) Pau-branco (<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão), (C) Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.), (D) Jurema-de-embira (<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.), (E) Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir)	23
Figura 2: Mapa de localização do município de Governador Dix-Sept Rosado-RN.....	28
Figura 3: O modelo do campo de apodrecimento para madeiras de diferentes espécies florestais nativas da região Semiárida e amostras controle (<i>Eucalyptus</i> tratado)	29
Figura 4: Campo de apodrecimento para madeiras de diferentes espécies florestais nativas da região Semiárida e amostras controle (<i>Eucalyptus</i> tratado)	30
Figura 5: Corpo de prova sendo submetido no teste de compressão paralela às fibras realizado na máquina de ensaios EMIC	32
Figura 6: Dados meteorológicos do local do experimento do campo de apodrecimento em Mossoró-RN, no período de 2019-2024.....	34
Figura 7: Evolução dos valores medianos que representa o critério visual de deterioração representado pelas notas de cada uma das espécies.....	35
Figura 8: Evolução dos valores medianos obtidos acerca do critério de degradação da perda de massa de cada espécie.	36
Figura 9: Representação evolutiva da deterioração dos corpos de prova em escala visual de cada uma das espécies.....	37
Figura 10: Gráfico com valores medianos obtidos na última coleta, que representam o critério visual de deterioração mostrado pelas notas de cada uma das espécies. Dados obtidos no dia 30 de abril de 2024.....	38
Figura 11: Gráfico com valores medianos obtidos na última coleta que representam o critério de deterioração da perda de massa de cada uma das espécies. Dados obtidos no dia 30 de abril de 2024.	39
Figura 12: Valores médios obtidos a partir do teste de Scott-Knott a 5%, que representam os módulos de ruptura (MPa) oriundos da compressão dos corpos de prova de cada uma das espécies.....	41
Figura 13: Valores médios obtidos a partir do teste de Scott-Knott a 5%, que comparam os valores de MOR (MPa) da madeira no topo (não enterrada) com a madeira da base (enterrada) na compressão dos corpos de prova de cada estaca das espécies	42
Figura 14: Valores médios obtidos a partir do teste de Scott-Knott a 5% que representam a densidade aparente (g/cm ³) oriunda dos corpos de prova de cada espécie.....	43

Figura 15: Quadro com valores de densidade aparente (após o campo de apodrecimento) das madeiras de espécies nativas da Caatinga	43
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do índice de deterioração da madeira.....	30
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
cm	Centímetros
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
Dr.	Doutor
DSI	Índice de Susceptibilidade à Deterioração
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
g	Gramas
g/cm³	Gramas por centímetro cúbico
Kg	Quilogramas
Kg/m³	Quilogramas por metro cúbico
m	Metros
mm	Milímetros
mm m⁻¹	Milímetros por minuto
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
NDC	Número de Dias com Chuva
RN	Rio Grande do Norte

LISTA DE SÍMBOLOS

@	Arroba
©	Copyright
®	Marca registrada
%	Porcentagem
\$	Cifrão
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1. Características da Madeira.....	18
2.2. Espécies utilizadas.....	19
2.2.1. Pereiro (<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.)	19
2.2.2. Pau-branco (<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão).....	20
2.2.3. Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.)	20
2.2.4. Jurema-de-embira (<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.)	21
2.2.5. Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir).....	22
2.2.6. Registro fotográfico das espécies utilizadas	22
2.3. Durabilidade Natural da Madeira.....	23
2.4. Testes de Durabilidade Natural.....	25
2.4.1. Ensaio de apodrecimento acelerado.....	25
2.4.2. Ensaio em campo de apodrecimento.....	25
2.5. Avaliação das Propriedades Mecânicas.....	26
2.5.1. Compressão paralela às fibras	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Matéria-prima	28
3.2. Campo de apodrecimento	29
3.3. Monitoramento da deterioração das madeiras	30
3.4. Análise Estatística	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1. Evolução da deterioração.....	35
4.2. Desempenho final das amostras.....	37
4.3. Resistência a compressão após os testes de deterioração	40
4.4. Densidade das madeiras após os testes de deterioração	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
6. REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

A madeira sempre foi fundamental para a humanidade, sendo utilizada ao longo das eras para os mais diversos fins. Esses usos variaram desde sua queima para aquecimento e cozimento, até sua aplicação como material para construir casas, ferramentas, móveis, entre outros produtos. Claramente, as formas de utilização da madeira mudaram significativamente ao longo do tempo, principalmente em função dos recursos florestais disponíveis e das características climáticas, culturais e tecnológicas das áreas geográficas (Negro; Zanuttini, 2022).

A depender da utilização a madeira é frequentemente exposta ao ar ou em contato com o solo (ou seja, descansando na superfície do solo) ou enterrada (parcial ou totalmente). Também pode estar em contato com um corpo d'água (seja marinha, salobra ou doce), com ou sem contato com o solo subjacente. Exemplos dessas utilizações incluem a sua aplicação como postes, mourões, estacas, paliçadas, suportes de decks, dormentes de ferrovias, estacas de fundação terrestres e aquáticas, dentre outros (Marais; Brischke; Militz, 2022).

Com relação as estacas e mourões, a degradação biológica causada por fungos está intimamente ligada à presença de água ou de umidade no solo. O enterro de peças de madeira diretamente no solo sem tratamento gera um ambiente favorável para que os fungos ataquem as estacas ou possibilite ponto de acesso de cupins (Farias *et al.*, 2023), ocorrendo a necessidade de utilização de produtos químicos para tratar a madeira e prolongar sua vida útil. No entanto, muitas dessas substâncias químicas são tóxicas para o meio ambiente e ameaçam a vida humana e aquática, fazendo com que estudos acerca da interação madeira-solo sejam de extrema relevância (Olaga *et al.*, 2024).

Deste modo, a utilização da madeira sem emprego de preservantes pode ser uma vantagem do ponto de vista econômico e ambiental (Järvinen; Ilgin; Karjalainen, 2022). Mas, este uso só seria possível para àquelas espécies que apresentam uma elevada durabilidade natural. Essa característica é definida como a capacidade inerente da madeira de resistir à deterioração causada pelo intemperismo, abrasão ou organismos deterioradores, como bactérias, fungos, insetos e organismos marinhos, sem a necessidade de tratamento preservativo (Sundararaj *et al.*, 2023).

Testes que avaliam esta característica, com destaque para aqueles realizados em ambientes natural, como os ensaios de campo de apodrecimento são imprescindíveis para subsidiar a tomada de decisão na escolha da madeira mais adequada (Morris *et al.*, 2011). Os

testes de envelhecimento artificial e deterioração em condições de laboratório, aceleram o processo de desgaste da madeira ou dos produtos derivados, mas não conseguem replicar com precisão o desempenho destes materiais nas condições reais de uso. Razão pela qual, muitos estudos consideram testes de exposição ao ar livre da madeira e de seus produtos a principal técnica para avaliar a durabilidade natural da madeira (Wang; Cao; Liu, 2021).

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a evolução da deterioração da madeira de cinco espécies nativas da Caatinga, que foram submetidas à campo de apodrecimento durante o período de cinco anos e meio.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Características da Madeira

Dentre os materiais de origem biológica, a madeira é sem dúvida o mais conhecido e utilizado, o lenho de uma árvore contém grande quantidade de substâncias que são utilizadas como matérias primas em quase todos os campos da tecnologia. Ela é um material composto de células produzidas por uma árvore viva para suportar a copa, conduzir água e nutrientes dissolvidos do solo à copa, armazenar materiais de reserva (principalmente carboidratos). Seu tecido é complexo devido a sua formação por diferentes tipos de células, as quais desempenham diferentes funções (Klock; Andrade, 2013).

Com relação à composição da madeira, o lenho apresenta distintas regiões macroscópicas, sendo as duas principais o cerne e alburno. O cerne é a região mais interna do tronco, composto por células mortas espessas, que são lignificadas e impregnadas com extrativos. Essa é a parte da árvore mais resistente ao apodrecimento e ataque de organismos xilófagos, visada comercialmente para confecção de móveis, devido à sua alta durabilidade natural e cor mais escura. Já o alburno, região de cor mais clara e que circunda o cerne, é formado por células vivas, que são responsáveis pela condução de líquidos dentro da planta (Pedrazzi *et al.*, 2019).

É válido destacar também uma outra característica essencial da madeira, que é se enquadrar como um material anisotrópico, ou seja, não apresenta as mesmas propriedades em todas as direções. Assim, diferentes aspectos da estrutura celular são revelados em direções distintas, o que exige o estudo da anatomia da madeira em três diferentes planos. Para estudos anatômicos adotam-se os planos convencionais de corte transversal, radial e tangencial (Nisgoski, 2016).

Tão importantes quanto as características anatômicas descritas anteriormente, são as químicas, já que elas definem a utilização deste material para a produção de papel, que é uma das principais finalidades industriais da madeira. Especificamente, a sua composição é celulose, hemicelulose e lignina (Pettersen, 1984), sendo a celulose um polímero linear altamente organizado de D-glucopiranosil-1,4-D-glucopiranosose (Pydimalla; Chirravuri; Uttaravalli, 2023), que tem propriedades cristalinas devido à disposição ordenada das suas moléculas em determinadas regiões chamadas micelas (Nisgoski, 2016).

Contrárias à celulose, as hemiceluloses são misturas de polissacarídeos sintetizadas na madeira quase inteiramente a partir de resíduos de glicose, manose, galactose, xilose, arabinose,

ácido 4-O-metilglucurônico e ácido galacturônico. Geralmente, as hemiceluloses possuem peso molecular muito menor do que a celulose e algumas são ramificadas. Elas estão intimamente associadas à celulose, e algumas hemiceluloses estão presentes em quantidades anormalmente elevadas quando a planta está sob estresse, por exemplo, a madeira de compressão apresenta um conteúdo de galactose maior que o normal, bem como um teor mais alto de lignina (Pettersen, 1984).

Diferentemente das hemiceluloses, a lignina pode ser definida como um polímero natural complexo, heterogêneo e crucial, desenvolvido para sustentar as funções das plantas (Ralph *et al.*, 2004). Ela é a terceira substância macromolecular componente da madeira. Suas moléculas são formadas completamente diferente dos polissacarídeos, pois são constituídas por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano. Há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas (Klock; Andrade, 2013).

Todos estes aspectos mostram diversos caracteres que diversificam os empregos e usos da madeira, seja para a produção de papel e celulose, produção de estacas ou em usos para componentes estruturais, sendo estes especificamente, relacionados com suas propriedades mecânicas. Isto é exemplificado tendo em vista a relação resistência-peso favorável, que a torna uma opção viável e econômica para várias aplicações na construção civil e outras utilizações (Nascimento, 2024).

2.2. Espécies utilizadas

2.2.1. Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.)

A espécie *Aspidosperma pyrifolium* Mart., que é encontrada nas regiões que abrangem a Argentina seguindo até o México. No Brasil, é conhecida popularmente por Pereiro, sendo encontrada principalmente no semiárido nordestino (Andrade, 2019). As árvores possuem folhas simples, e em altura, as maiores atingem dimensões próximas a 9 m e 30 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo), na idade adulta. Seu tronco é tortuoso, com bifurcações na parte superior, e com fuste geralmente curto. Com relação à madeira, é considerada resistente, macia, muito durável e fácil de se trabalhar (Carvalho, 2003).

Muitas vezes é utilizada como planta ornamental, por ser uma árvore de pequeno porte e pela beleza da sua copa, podendo ser empregada no paisagismo. Também é utilizada na recuperação de áreas degradadas, inclusive em matas ciliares. É uma das poucas espécies

indicadas para a recuperação de áreas em processo de desertificação, por sua importância na adaptação às mais severas condições de seca e solos rasos ou pedregosos (Costa, 2015).

Além das diversas utilidades econômicas (madeira, medicina popular, veterinária popular e ornamental) possui importância ecológica (sistemas agroflorestais, contribuição com néctar e pólen para abelhas em épocas em que poucas espécies florescem na Caatinga) (Aquino; Falcão; Almeida-Cortez, 2017).

2.2.2. Pau-branco (*Cordia oncocalyx* Allemão)

Pertencente à família Cordiaceae, o pau-branco (*Cordia oncocalyx* Allemão) é uma árvore encontrada nos sertões de baixa a média altitude, com predominância nos solos do tipo luvisolos crômicos órticos, latossolos, argissolos e planossolos háplicos. A árvore pode alcançar até 15 m de altura, sendo uma espécie de crescimento rápido, com sistema radicular lateral, caule inerte, lenho difuso-poroso, moderadamente pesado, com 730 kg/m³ densidade aparente (Araújo Filho, 2013).

É considerada uma espécie secundária tardia, mas que rebrota com facilidade. Seus indivíduos originados de estruturas remanescentes (tocos) cumprem funções ecológicas distintas, muito mais próximas a uma espécie pioneira, que sofre consequências e desempenha funções distintas dos indivíduos que surgirão em um futuro distante, caso estas áreas avancem no processo de regeneração sem outros eventos ecológicos drásticos, como fogo, corte raso e pastoreio intensivo (Girão, 2022).

Sua madeira tem larga aplicação na construção civil, como linhas, caibros, ripas, assoalhos, para confecção de móveis, caixilhos e baús, para usos externos, como moirões e estacas (Lorenzi, 1992). Além disso, a espécie possui usos medicinais e a madeira também é considerada boa para a produção de lenha e carvão (Carvalho, 2008).

2.2.3. Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.)

Da família Fabaceae, o sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) é uma árvore típica dos estágios intermediários da sucessão secundária em muitos sítios da Caatinga, encontrada nos sertões nordestinos de baixa a elevada altitude, na maioria dos solos da região, com predominância nos luvisolos crômicos órticos, latossolos, argissolos e planossolos háplicos. Árvore que pode alcançar até 9,0 m de altura, é de crescimento rápido, com sistema radicular

lateral, caule espinhoso, lenho poroso, pesado, densidade aparente de 880 kg/m³ (Araújo Filho, 2013).

É uma espécie classificada como caducifólia precoce, com copa arredondada, de densidade mediana e folhas compostas. Apresenta brotação e alcança pleno desenvolvimento foliar no início do período chuvoso, florescendo e frutificando por volta da metade dessa estação. Com o começo da seca, entra em dormência, marcada pela queda das folhas. É aproveitada como planta forrageira, fornecedora de lenha e estacas para cercas, além de ser importante na apicultura para a coleta de pólen e néctar (Araújo Filho, 2013).

Sua madeira é muito apropriada para usos externos, como moirões, estacas, postes, dormentes, esteios e, para lenha e carvão. A folhagem constitui valiosa forragem para o gado durante a longa estiagem do sertão semiárido. A árvore apresenta características ornamentais, principalmente pela forma entouceirada que geralmente se apresenta, podendo ser empregada no paisagismo em geral. É também muito empregada como cerca viva defensiva, e amplamente cultivada para produção de madeira. Como planta tolerante à luz direta e de rápido crescimento, é ideal para reflorestamentos heterogêneos destinados à recomposição de áreas degradadas de preservação permanente (Lorenzi, 1992).

2.2.4. Jurema-de-embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.)

A *Mimosa ophthalmocentra* Mart, ex Benth, é uma espécie arbórea da família Fabaceae conhecida popularmente como jurema-de-embira (Figueirôa *et al.*, 2005), natural da Caatinga, ocorre nos estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Essa espécie cresce sobre solos arenosos, argilosos ou pedregosos, em altitudes que variam de 100 a 800 m (Silva; Simon; Tozzi, 2015).

A altura média varia entre 3 e 6 m, podendo chegar até 12 m. O caule é rugoso e com espinhos retos, e as folhas são bipinadas com 2-4 pares de pinas. Já sua inflorescência tem a forma de espiga (Figueirôa *et al.*, 2005). Seus frutos são um craspédio, não estipitado. A superfície é geralmente reticulada e ondulada. As sementes são pleurogramáticas, com o pleurograma apical-basal (Córdula; Morim; Alves, 2014).

O lenho de *Mimosa ophthalmocentra*, apresenta elevada densidade, tanto no tronco como nos galhos, demonstrando alto valor energético e madeireiro para a produção de álcool e carvão vegetal (Silva *et al.*, 2011). Como leguminosa, outro grande benefício do seu uso é a produção de matéria orgânica estimulando diversos processos químicos e biológicos que melhoram a fertilidade do solo, além de terem um sistema radicular profundo (Silva, 2015).

2.2.5. Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir).

A jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), é uma espécie arbórea característica da região Nordeste do Brasil, sendo encontrada também nas regiões Norte e Sul do México (Dantas, 2009), pertencente à família Fabaceae e com predominância nas áreas do bioma Caatinga, é considerada uma espécie do estrato arbóreo com qualidade forrageira na alimentação de ruminantes (Silva, 2020).

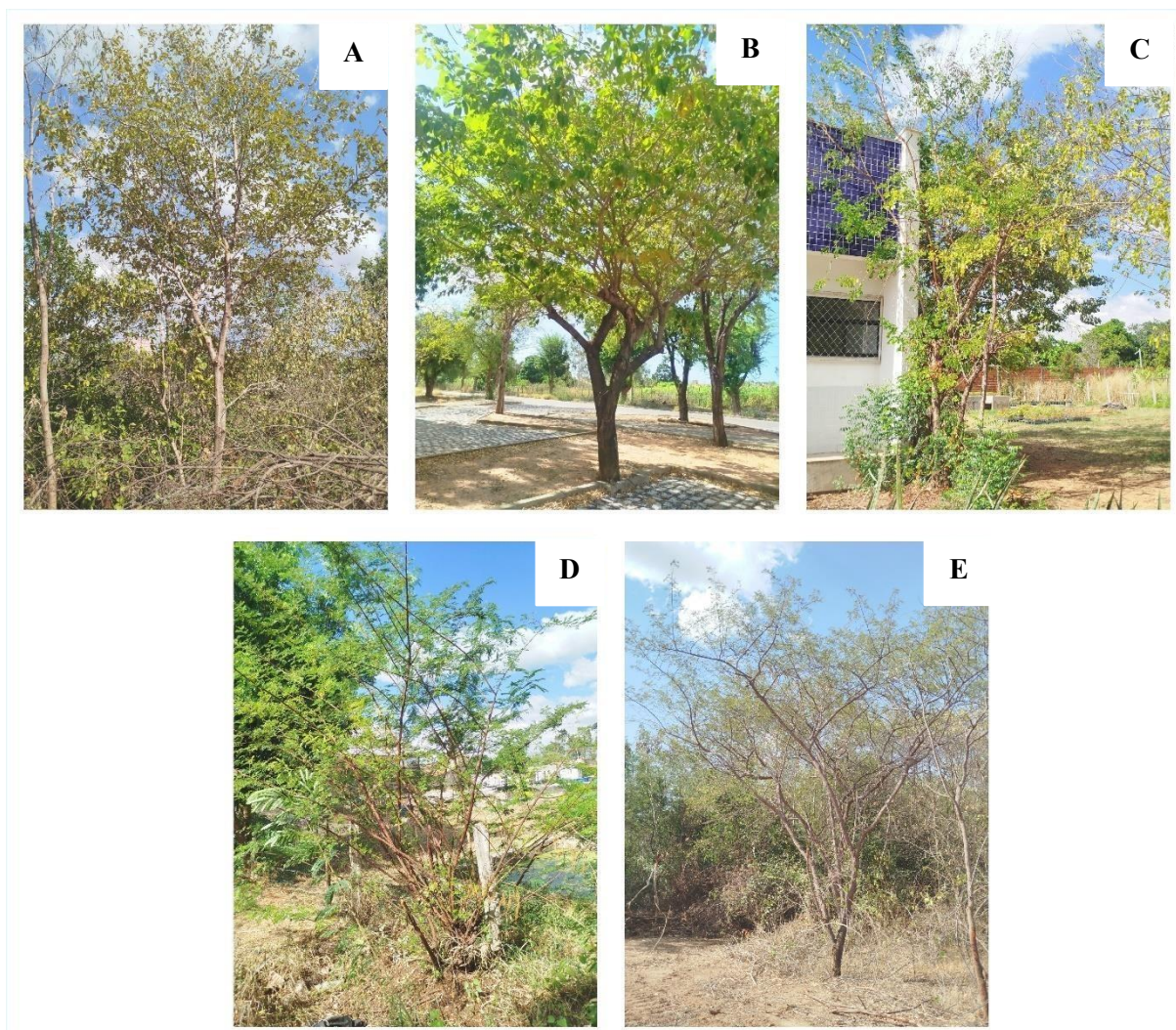
A espécie apresenta comportamento semidecíduo, perdendo parte das folhas em determinados períodos. Na fase adulta, exemplares de maior porte podem alcançar cerca de 7 metros de altura e aproximadamente 30 centímetros de diâmetro à altura do peito (DAP). O tronco, geralmente reto ou levemente inclinado, possui acúleos distribuídos de forma esparsa. Seu ritidoma apresenta coloração castanho-escuro, por vezes acinzentada, com textura grosseira, rugosa e marcada por fendas, enquanto a casca interna se distingue pelo tom vermelho-escuro (Carvalho, 2010).

O emprego da espécie como fonte de energia é amplamente consolidado (Rocha et al., 2015). Entretanto, quando submetida a um manejo adequado, apresenta um potencial econômico e ambiental ainda mais expressivo, permitindo usos diversos como a produção de lenha, estacas e feno, além de servir como planta forrageira. Também pode ser aproveitada para atividades apícolas e para aplicações medicinais (Morais, 2019).

2.2.6. Registro fotográfico das espécies utilizadas

Para ilustrar as espécies descritas neste trabalho, na Figura 1 estão representadas as espécies *Aspidosperma pyrifolium* Mart (Pereiro), *Cordia oncocalyx* Allemão (Pau-branco), *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth (Sabiá), *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth (jurema-de-embira) e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir (jurema-preta). Todas as imagens foram obtidas no Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN.

Figura 1: Registro fotográfico das espécies utilizadas no estudo: (A) Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), (B) Pau-branco (*Cordia oncocalyx* Allemão), (C) Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), (D) Jurema-de-embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.), (E) Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir).



Fonte: Autor (2025).

2.3. Durabilidade Natural da Madeira

Os principais componentes da madeira são as hemiceluloses, a celulose e a lignina, que se encontram principalmente dentro da parede celular e conferem à madeira propriedades estruturais. Esses compostos, juntamente com o amido, a pectina, os açúcares simples, os ácidos graxos e as proteínas, que são armazenados principalmente nas células do parênquima, são suscetíveis à degradação por microrganismos especializados, principalmente fungos e bactérias (Lopez; Martín, 2023).

Os microrganismos fúngicos em conjunto com os insetos, fazem parte das duas principais categorias de agentes bióticos que podem buscar sua fonte de energia nos polissacarídeos formadores da parede celular. Estes organismos em conjunto dos insetos, fazem

parte das duas principais categorias de agentes bióticos que podem buscar sua fonte de energia nos polissacarídeos formadores da parede celular. O ataque deles resulta no apodrecimento, descoloração ou danos mecânicos na madeira que afeta diretamente no seu preço e funcionalidade (Carlos; Diodato; Castro, 2021), e também pode ser definido pelo termo “durabilidade biológica”.

A durabilidade biológica é um fator importante para a seleção da madeira ou de produtos de madeira com desempenho adequado para uma classe de uso específica. Além de outros fatores, como clima, condições específicas de uso, design do produto e manutenção, a durabilidade é relevante para a previsão da vida útil dos produtos de madeira em uso (Jacobs *et al.*, 2019).

Considerando os fatores descritos que influenciam a degradação, é válido destacar que, algumas espécies florestais possuem alta durabilidade natural e são capazes de resistir por muitos anos no campo em boas condições de uso e em diversos ambientes. E isso torna o conhecimento sobre a degradação da madeira como de fundamental importância para classificar o uso final de acordo com a durabilidade natural de cada espécie (Farias *et al.*, 2023). Além disso, atualmente, quando estender a vida útil dos produtos de madeira é de grande interesse e importância, o desenvolvimento de preservantes naturais, com impacto mínimo no final do ciclo de vida da madeira tratada, é um imperativo do ponto de vista da saúde humana e da proteção ambiental (Broda, 2020).

Um fator que pode ser considerado para aumentar a durabilidade da madeira, são as propriedades antifúngicas de vários extratos vegetais. Tais propriedades os tornam interessantes como fonte potencial de substâncias naturais, que podem ser usadas como preservantes alternativos da madeira contra o apodrecimento, e promover o material que possui estes extratos como matéria-prima de produtos que necessitam de resistência frente ao ataque de organismos xilófagos (Broda, 2020).

Desta forma, a importância de estudar a durabilidade está na relevância de estudos confiáveis sobre o desempenho da madeira para construir estruturas seguras, que atendam às expectativas de vida útil. Isso é especialmente importante em locais onde há, tanto a escassez de espécies naturalmente duráveis nas florestas locais, quanto por lugares com restrições ao uso de biocidas. Estes estudos fornecem resultados mais confiáveis e servem como base para previsões mais precisas da vida útil (Keržič *et al.*, 2024).

2.4. Testes de Durabilidade Natural

Por se tratar de um produto de natureza biológica, a madeira e seus derivados necessitam de avaliações que mensurem a sua durabilidade e proteção contra intempéries dos organismos causadores de dano (Barbosa; Santana; Moutinho, 2022). Para avaliar estes parâmetros, são feitas caracterizações da durabilidade natural da madeira, e estas podem ser avaliadas por meio de envelhecimento acelerado em laboratório ou da exposição de amostras em ensaios de campo (Batista *et al.*, 2021).

2.4.1. Ensaio de apodrecimento acelerado

Os testes laboratoriais de envelhecimento acelerado da madeira são frequentemente conduzidos em condições estéreis, utilizando fungos decompositores em cultura pura, geralmente com uma espécie fúngica aplicada. Essa abordagem favorece o crescimento do microrganismo por meio do excesso de nutrientes e umidade, já que a madeira não é permitida a secar em nenhum momento ao longo do ensaio. Consequentemente, esse tipo de teste foca exclusivamente na medição da toxicidade dos extrativos naturais da madeira (Blom; Bergström, 2005).

Embora estes testes permitam condições claramente definidas e um alto nível de reprodutibilidade, geralmente é impossível replicar completamente as condições da vida real. Em contraste, são comumente aceitos os testes de campo que oferecem condições mais realistas, mas que frequentemente sofrem com durações de teste inaceitavelmente longas (Kržišnik *et al.*, 2020).

2.4.2. Ensaio em campo de apodrecimento

Os ensaios de campo, conhecidos como campos de apodrecimento, expõem a madeira ao solo, às intempéries do ambiente de ensaio (clima, pluviosidade, solo) e a uma vasta gama de microrganismos e insetos xilófagos (Barillari, 2002). Estes ensaios também permitem avaliar a interação entre a madeira, o preservante, a eficiência do processo de tratamento, a retenção do preservante na madeira. Embora sejam ensaios de longa duração, representam com maior fidelidade as reais condições de uso (Freitas, 2002).

Este processo de deterioração resulta em alterações químicas e mecânicas da madeira em serviço, as quais influenciam diretamente em sua vida útil. As madeiras mais suscetíveis à deterioração apresentam menor tempo de vida útil em serviço (Batista *et al.*, 2021).

Como os ensaios de campo sobre a durabilidade natural da madeira costumam ser realizados em contato direto com o solo, a madeira está sujeita à ação conjunta de fungos de apodrecimento suave, basidiomicetos e outros microrganismos presentes no solo. Diante dessa diversidade de agentes degradadores, os testes laboratoriais que geralmente envolvem apenas basidiomicetos, acabam não reproduzindo de forma adequada as condições reais, o que pode comprometer sua eficiência na avaliação da durabilidade comparada aos dados obtidos em campo (Van Acker *et al.*, 2003).

Desta forma, há a recomendação de que a durabilidade natural seja avaliada em ensaios de campo de apodrecimento implantados em ambiente livre de vegetação, caracterizado como campo de apodrecimento aberto, e em ambiente natural com ampla vegetação (Carlos; Diodato; Castro, 2021).

2.5. Avaliação das Propriedades Mecânicas

As características físicas e mecânicas da madeira, possibilitam sua aplicação em usos que vão desde os acabamentos de interiores às grandes estruturas, como pavilhões, coberturas e ponte (Segundinho *et al.*, 2018). É importante dentre estas características observar as variações nas propriedades até mesmo ao longo do comprimento de uma mesma peça (Matos; Molina, 2016). Neste sentido, a compressão paralela às fibras é um dos mais importantes parâmetros na concepção de elementos estruturais, principalmente de madeira (Ferro *et al.*, 2013).

2.5.1. Compressão paralela às fibras

Como o próprio nome do ensaio sugere, a compressão paralela às fibras ou compressão axial é avaliada com a aplicação de uma carga que efetua pressão na seção transversal axial do corpo-de-prova, ou no sentido paralelo das fibras da madeira, com velocidade controlada, até a sua ruptura (Moreschi, 2012).

A compressão na madeira pode ocorrer em três orientações: paralela, normal e inclinada em relação às fibras. Quando solicitada por compressão paralela, as forças atuam ao longo do comprimento das células, que reagem em conjunto, conferindo alta resistência à madeira. Já sob compressão normal ou perpendicular, a resistência é menor, pois a força age na direção em que as células possuem baixa resistência (Valle *et al.*, 2012).

Considerando ainda a solicitação e as forças que atuam sob compressão em estruturas de madeira, o exemplo mais prático disto é quando consideramos em edificações de madeira, as deformações que se concentram nas conexões e que deveriam ser consideradas nos projetos. Embora elas estejam sob compressão paralela às fibras e sejam frequentemente ignoradas nas conexões, o estudo destas deformações é fundamental para compreender o comportamento estrutural da madeira em situações específicas. Pois apesar das deformações serem maiores quando a compressão ocorre perpendicularmente do que paralelamente, a compressão paralela também influencia diretamente a rigidez e a resistência dos elementos estruturais. Essa diferença é causada pela anisotropia da madeira, e entender esse fenômeno é essencial para o dimensionamento seguro de estruturas de maior porte (Totsuka, 2024).

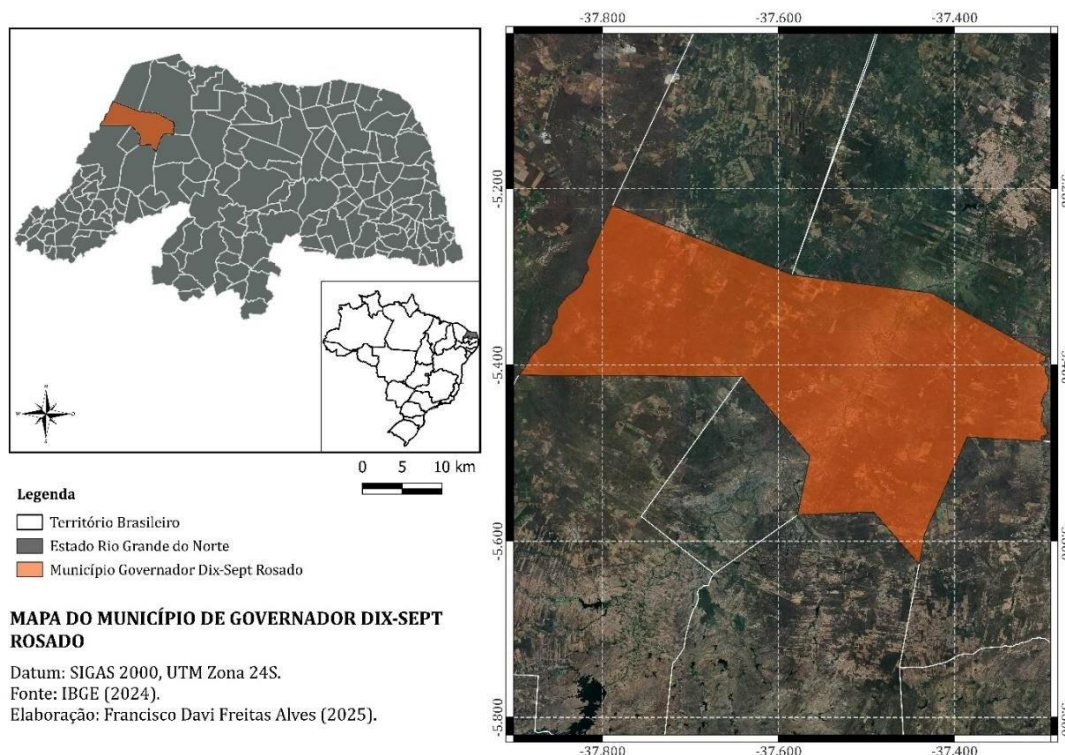
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Matéria-prima

Para o presente estudo foram utilizadas a madeira de cinco espécies nativas e abundantes no bioma Caatinga (Silva *et al.*, 2022). As espécies selecionadas foram o pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), o pau-branco (*Cordia oncocalyx* Allemão), o sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), a jurema-de-embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.), e a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir).

Para cada espécie foram abatidas três árvores, as quais foram coletadas em uma área de Caatinga manejada localizada no município de Governador Dix-Sept Rosado, estado do Rio Grande do Norte (Figura 2). Foram confeccionadas 36 estacas de 50 cm de comprimento, e com diâmetro à altura do peito entre 8 a 12 cm. Para padrão de comparação, foram utilizadas toras de *Eucalyptus* sp., tratadas com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA)¹, com as mesmas dimensões das demais, e que são extremamente utilizadas na construção de cercas em propriedades rurais (Vechi; Júnior, 2018).

Figura 2: Mapa de localização do município de Governador Dix-Sept Rosado-RN.



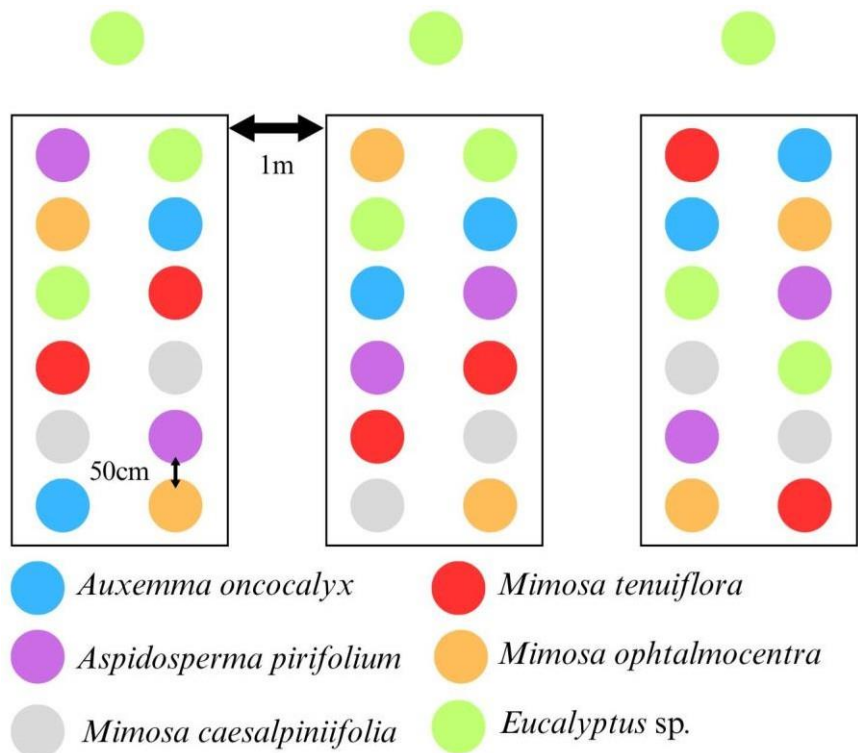
Fonte: Autor (2025), adaptado de IBGE (2024).

¹ Matéria-prima empregada no presente trabalho é mesma utilizada por Batista (2020), que realizou a análise após as toras permanecerem por 1 (um) ano em campo.

3.2. Campo de apodrecimento

O campo de apodrecimento foi instalado no Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizado na cidade de Mossoró-RN, Brasil, no ano de 2019. A instalação do foi feita em de três blocos casualizados com seis repetições para cada espécie. Em cada bloco foram inseridas 02 (duas) repetições por espécie e 02 (duas) amostras controle (*Eucalyptus* tratado). Além destas, na mesma área experimental, foram adicionadas 03 (três) toras de *Eucalyptus* tratado para aferição da variação do teor de umidade (Figura 3). O espaçamento utilizado entre as toras foi de 50 cm e 1 m entre blocos. O aterramento de cada um das toras foi realizado em formato vertical até a metade do comprimento das mesmas (Figura 4).

Figura 3: O modelo do campo de apodrecimento para madeiras de diferentes espécies florestais nativas da região Semiárida e amostras controle (*Eucalyptus* tratado).



Fonte: Autor (2025), adaptado de Batista (2020).

Figura 4: Campo de apodrecimento para madeiras de diferentes espécies florestais nativas da região Semiárida e amostras controle (*Eucalyptus* tratado).



Fonte: Autor (2022).

3.3. Monitoramento da deterioração das madeiras

O campo experimental foi implantado no ano de 2019, sendo monitorado periodicamente a cada seis meses, até sua desinstalação após cinco anos e meio, em outubro de 2024. Em cada uma das análises periódicas, as estacas foram desenterradas e submetidas a avaliação de notas, onde foi estimada a relação entre o estado de sanidade da madeira e o índice de deterioração (Tabela 1), conforme sugerido por Lepage (1970). Para reduzir a subjetividade da análise, as notas de cada tora foram atribuídas por três avaliadores, sendo considerada o resultado da média atribuída.

Tabela 1: Classificação do índice de deterioração da madeira.

Estado de Sanidade	Nota
Sadio ou nenhum ataque	100
Ataque leve ou moderado de fungos ou de térmitas	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas	70
Apodrecimento intenso ou ataque interno de térmitas	40
Quebra/perda quase total de resistência	0

Fonte: Lepage (1970).

Após as avaliações, o material foi limpo e levado ao laboratório para pesagem e determinação da massa úmida momentânea das amostras. As três amostras utilizadas para o controle de umidade foram encaminhadas a estufa, sendo submetidas a uma temperatura de 60°C durante 72 horas. Em seguida, estas amostras foram novamente pesadas para estimativa de seu teor de umidade (Equação 1).

$$TU\% = Pu - \frac{Ps}{Pu} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: Pu = Peso úmido (kg); Ps = Peso seco (kg); TU = Teor de Umidade (%).

O teor de umidade médio observado para estas amostras foi utilizado como padrão para as demais espécies. Essa escolha metodológica foi adotada para não submeter as madeiras em estudo em um ambiente com elevadas temperaturas, interferindo no processo de colonização das amostras por fungos e insetos e, por consequência, tendenciar os resultados experimentais. Para cada tora amostrada foi descontada a massa de água (Equação 2), sendo assim, foi possível estimar a perda de massa que as espécies tiveram (Equação 3).

$$Pas = Mu - (Tu(\%) * Mu) \quad (\text{Equação 2})$$

$$PM = \frac{(Pis - Pas)}{Pis} * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: Pas = Peso atual seco; Pis = Peso inicial seco; Ps = Peso seco; PM = Perda de massa (%).

Posteriormente, foram produzidos corpos de prova a partir das estacas em campo, com dimensões de 25 mm x 25 mm x 100 mm (largura x espessura x comprimento). Estas amostras foram utilizadas para calcular os valores da densidade aparente de cada uma das espécies após a realização do experimento (Equação 3).

$$D = \frac{M}{(R \times T \times L)} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: D = Densidade aparente (g/cm^3); M = Massa do corpo de prova (g); R = Dimensão radial do corpo de prova (cm); T = Dimensão tangencial do corpo de prova (cm); L = Dimensão longitudinal do corpo de prova (cm).

As amostras também foram utilizadas na máquina de ensaios EMIC para o teste de compressão (Figura 5), realizado com velocidade de ensaio de $0,02 \text{ mm m}^{-1}$, com célula de carga de 100 kN, e tendo como base a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 2022), que estabelece as diretrizes para realização do teste de compressão paralela às fibras. A partir dos dados obtidos no teste de compressão, foi possível dos Módulos de Ruptura (MOR), para cada um dos corpos de prova analisados no experimento.

Figura 5: Corpo de prova sendo submetido no teste de compressão paralela às fibras realizado na máquina de ensaios EMIC.



Fonte: Autor (2025).

3.4. Análise Estatística

As informações obtidas após desinstalação do campo de apodrecimento (desgaste final; perda de massa final; densidade após o ataque; resistência após o ataque) foram submetidas a testes de normalização e homogeneidade dos dados para posteriormente uma análise de variância (ANOVA). Para os fatores detectados como significativos pelo teste de F, foram submetidos ao teste de comparação de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade, por intermédio do software Sisvar.

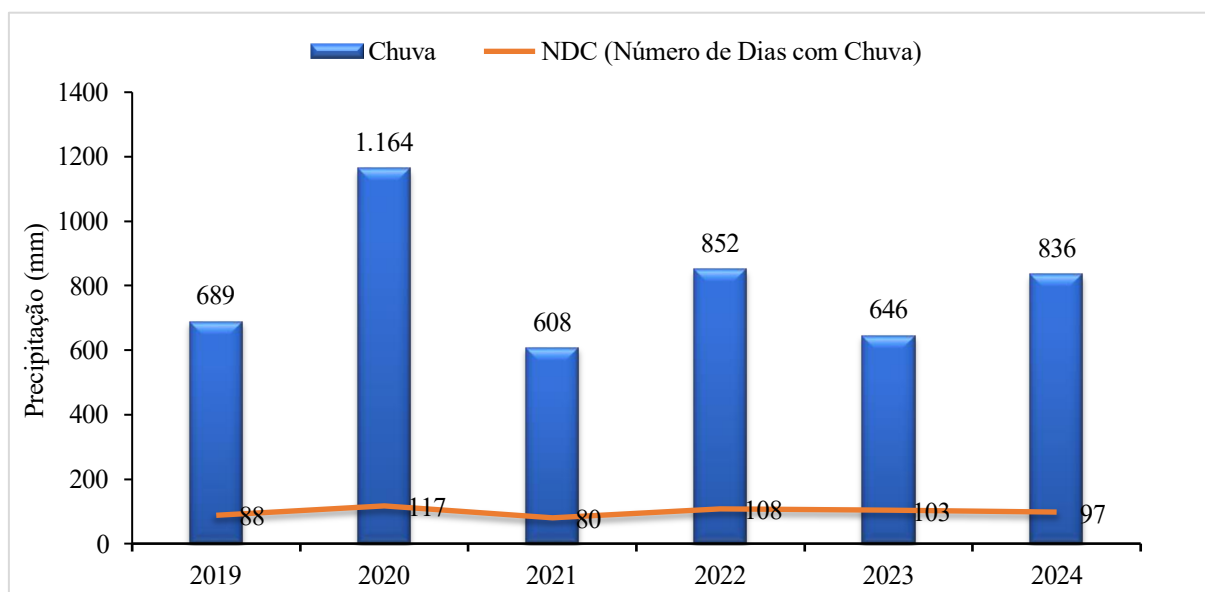
O Scott-Knott (SK) é um algoritmo de agrupamento hierárquico utilizado como ferramenta de análise exploratória de dados. Foi desenvolvido para auxiliar pesquisadores que trabalham com experimentos da ANOVA, nos quais a comparação entre médias de tratamentos é uma etapa importante para identificar grupos homogêneos distintos dessas médias, sempre que o teste F indicar significância (Jelihovschi; Faria; Allaman, 2014). A separação é feita através da minimização da variação dentro e maximização da variação entre grupos. Os resultados são facilmente interpretados, devido à ausência de ambiguidade. Desta forma ele resulta em maior objetividade e clareza (Borges; Ferreira, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram avaliados com base na variação temporal das notas atribuídas pelo desgaste e, da perda de massa observadas durante o período que estas madeiras permaneceram em campo.

Entretanto, tendo em vista que o experimento foi realizado em uma área aberta e sujeita às intempéries. E, que estes fatores influenciam diretamente a velocidade de deterioração das madeiras, alguns dados meteorológicos ao longo de período de exposição foram monitorados (Figura 6). Estas informações foram obtidas a partir da estação meteorológica da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). Com o intuito de fornecer um aporte as informações obtidas neste estudo durante as avaliações e coletas de dados realizadas.

Figura 6: Dados meteorológicos do local do experimento do campo de apodrecimento em Mossoró-RN, no período de 2019-2024.



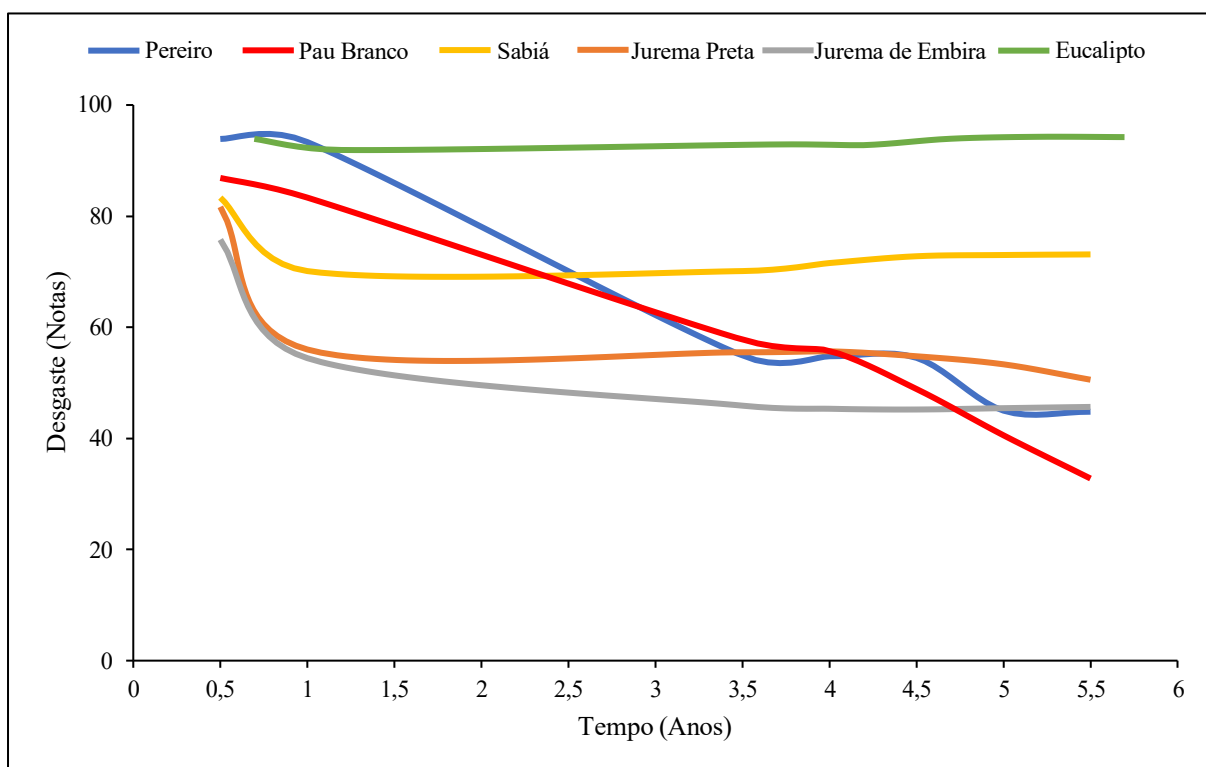
Fonte: Autor (2025).

Após análise dos dados meteorológicos durante o período de 2019 a 2024, verificou-se irregularidades nos valores índices pluviométricos, especificamente no ano de 2020, em tanto a precipitação, quanto o NDC foram os mais altos. Diferentemente do que ocorreu nos anos de 2021 e 2023 os quais obtiveram valores mais baixos de precipitação anual. Os NDC mais baixos estão representados pelos anos de 2021 e 2019.

4.1. Evolução da deterioração

A partir das análises, observou-se um aumento no desgaste da madeira, que é um parâmetro já esperado no processo de deterioração. Contudo, o nível e a velocidade do desgaste foi variável entre as diferentes espécies avaliadas. A madeira sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e as amostras utilizadas como referência (eucalipto tratado), apresentaram o melhor desempenho ao longo das avaliações. A madeira da espécie pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão) obteve os menores valores. A jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.) e jurema de embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.) oscilaram, mas se mantiveram no grupo de notas medianas ao término do experimento (Figura 7).

Figura 7: Evolução dos valores medianos que representa o critério visual de deterioração representado pelas notas de cada uma das espécies.

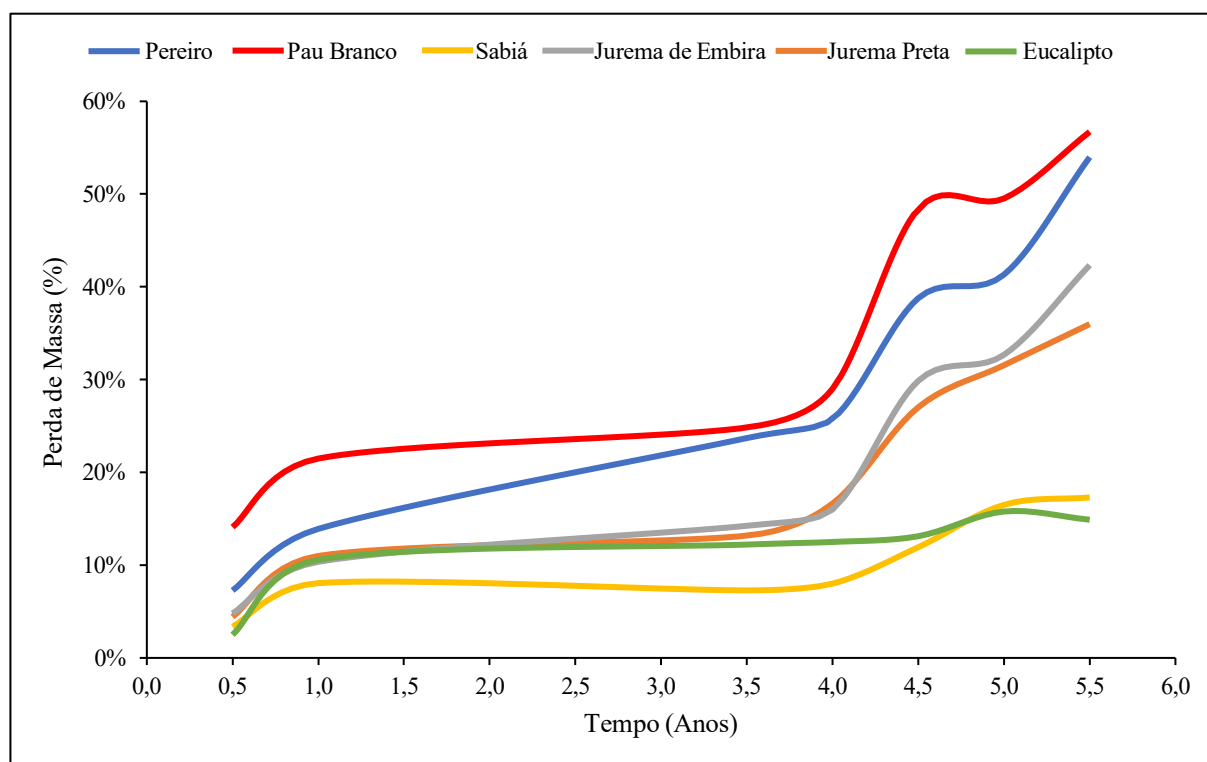


Fonte: Autor (2025).

Na Figura 8, é apresentado a evolução da perda de massa ao longo do experimento. As espécies apresentaram tendência de aumento na porcentagem de perda de massa. A madeira de

sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), apresentou desempenho similar a controle (eucalipto tratado), com percentuais abaixo dos 20%. Jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) e jurema de embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.) apresentaram desempenho moderado e as maiores deteriorações foram observadas para as madeiras de pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão) e pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.).

Figura 8: Evolução dos valores medianos obtidos acerca do critério de degradação da perda de massa de cada espécie.



Fonte: Autor (2025).

A Figura 9 aponta a evolução visual e deterioração das espécies no período final do estudo. As repetições das espécies pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.) e jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) se deram considerando os corpos de prova em estado visivelmente mais avançado de decomposição.

É possível observar que em alguns períodos, as espécies tiveram uma coloração e um comportamento diferente quando comparado com os outros, e isto está diretamente relacionado à precipitação e o clima de cada época do ano, pois os períodos mais evidentes, de 42 e 54 meses, correspondem à época chuvosa dos anos de 2023 e 2024.

A continuidade do período chuvoso influencia nos maiores níveis de deterioração da madeira (Quintilhan *et al.*, 2018), assim como a variação no teor de umidade na madeira, que

além de favorecer ao ataque de agentes bióticos no processo de bioteterioração, também pode influenciar na deterioração da madeira por agentes abióticos (Bahia, 2015).

Dos agentes abióticos especificamente, o efeito mais amplamente observado da exposição prolongada da madeira não tratada às condições climáticas externas, incluindo períodos de sol e chuva, é a mudança de cor na superfície da madeira. As mudanças iniciais na coloração em direção a tons mais amarelados ou acastanhados têm sido descritas como relativamente rápidas. Estas mudanças geralmente são perceptíveis em relação à madeira não exposta nos primeiros dias de exposição ao ar livre (Kropat; Hubbe; Laleicke, 2020).

Figura 9: Representação evolutiva da deterioração dos corpos de prova em escala visual de cada uma das espécies.



Fonte: Autor (2025).

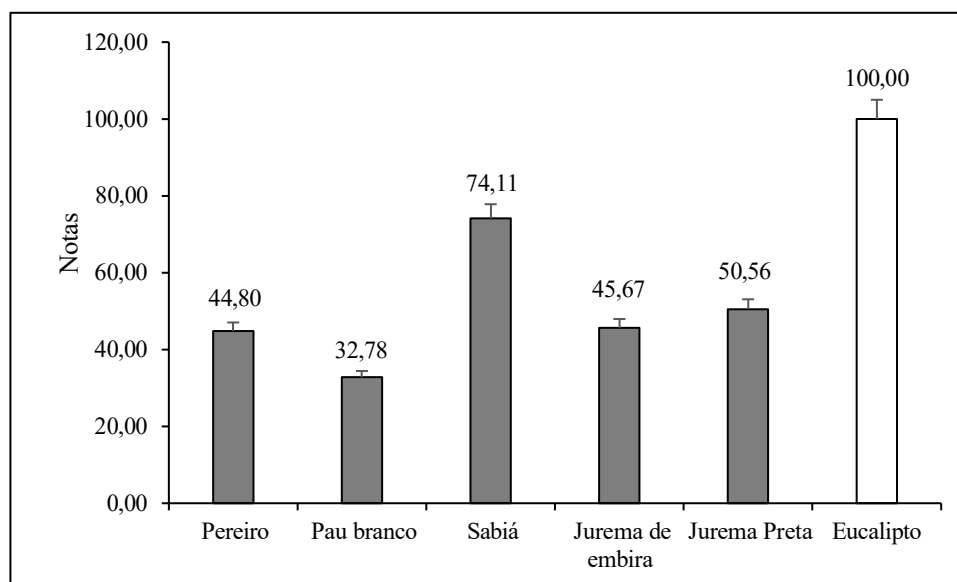
4.2. Desempenho final das amostras

Os resultados apresentados nas Figuras 10 e 11, estão de acordo com os valores apresentados por Batista (2020), especialmente no que diz respeito ao desempenho da espécie pau branco e pereiro com relação a perda de massa. Entretanto, diferenças significativas são observadas no comparativo de ambos os trabalhos com relação às notas das espécies jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) e eucalipto (*Eucalyptus* sp.).

Com relação aos dados da Figura 10, o eucalipto (*Eucalyptus* sp.) e o sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) obtiveram os maiores valores médios de notas sendo respectivamente as médias de 96,65 e 81,11, representando assim o grupo de sadio ou nenhum ataque, e o de ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas (média 70,00). Dessa forma madeiras

destas espécies, considerando as diversas condições do ambiente e o ataque dos organismos xilófagos, podem resistir bem em condições naturais.

Figura 10: Gráfico com valores medianos obtidos na última coleta, que representam o critério visual de deterioração mostrado pelas notas de cada uma das espécies. Dados obtidos no dia 30 de abril de 2024.

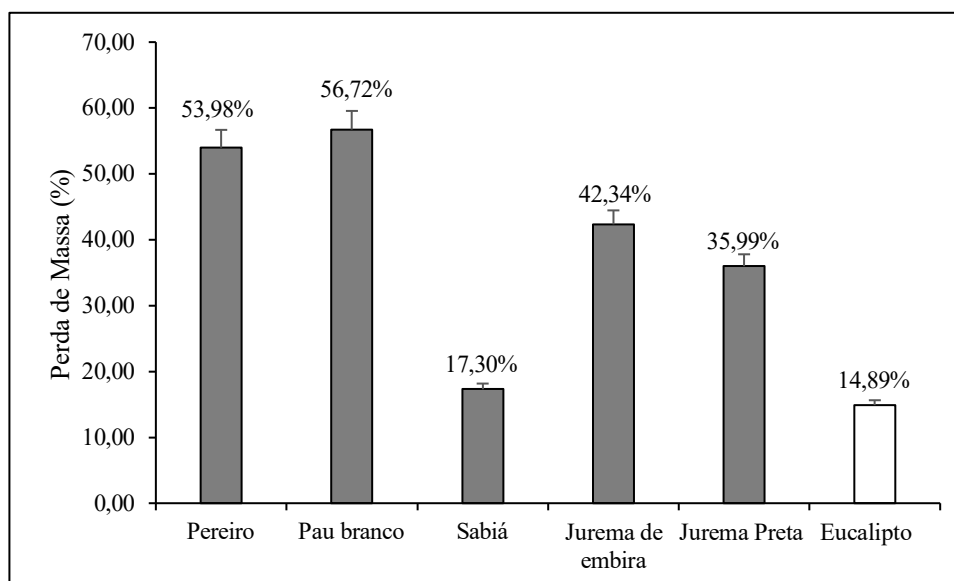


Fonte: Autor (2025).

Na Figura 11, estão expressos os valores de perda de massa das espécies na última coleta de campo. É notório perceber que os maiores valores foram obtidos nas espécies pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão) com 56,72%, e pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.) com 53,98%. As espécies jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) e jurema-de-embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.) tiveram porcentagens de perda de massa mais baixas do que as anteriores, com respectivamente 42,34% e 35,99%. As menores porcentagens de perda de massa foram obtidas nas espécies sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) com 17,30% e eucalipto (*Eucalyptus sp.*) com 14,89%.

A boa correlação entre os valores de notas com a perda de massa (Melo *et al.*, 2010), pode ser utilizada como um índice representativo acerca da durabilidade natural da madeira, e ao realizar este comparativo neste estudo, é possível perceber especificamente que, a boa resistência e durabilidade da espécie sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) comparado à referência (*Eucalyptus sp.*), já era um fator esperado, tendo em vista que a espécie é conhecida na literatura por sua resistência, principalmente em relação a deterioração causados por fungos e cupins (Araujo; Paes, 2018).

Figura 11: Gráfico com valores medianos obtidos na última coleta que representam o critério de deterioração da perda de massa de cada uma das espécies. Dados obtidos no dia 30 de abril de 2024.



Fonte: Autor (2025).

A resistência do sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) pode estar relacionada à influência do teor de extrativos na madeira. Avaliando esta influência na cor de madeiras da Caatinga, Maia, Ferreira e Castro (2020) mostraram que a madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) apresentou um teor de extrativos totais estatisticamente mais alto do que outras madeiras. Isso pode explicar a condição encontrada neste estudo, pois a característica de resistência ao desgaste natural, está associada a composição química da biomassa lenhosa, como a quantidade de extrativos (Castro *et al.*, 2023).

Já com relação à jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), seu desempenho mediano, pode estar relacionado às partes da planta que foram utilizadas para a confecção das estacas, já que isto influencia na quantidade de extrativos. Realizando a caracterização química, física, colorimétrica e durabilidade natural da *Mimosa tenuiflora*, Nogueira (2020) cita que o teor de extrativos em diferentes alturas, se reduz no sentido base para o topo, com maior teor de extrativos na base da Jurema-preta e menor teor de extrativos no topo.

O aspecto de maior relevância deste trabalho, é evidenciado na jurema de embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.). Ela foi a espécie que em notas, ficou com uma oscilação média em comparação à referência, o mais próximo de apodrecimento evidente, mas moderado, porém em termos de perda real, ela obteve uma perda de massa muito superior as

demais (exceto pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão)) e pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.).

Essa tendência é diferente da obtida por meio da perda de massa indica que, somente a classificação da deterioração da madeira por critérios que levem em consideração unicamente aspectos visuais da ação dos xilófagos, pode levar a interpretações equivocadas (Trevisan *et al.*, 2019). E, apesar da alta correlação entre os parâmetros visuais e a perda de massa ao avaliar a durabilidade natural da madeira, podem haver divergências que influenciam nos resultados (Melo *et al.*, 2010).

A espécie pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão) obteve ao longo do experimento, os mais baixos índices de resistência em comparação ao eucalipto, semelhante a espécie amescla (*Trattinnickia burserifolia* Mart), em condições de avaliação de durabilidade natural em campo livre de vegetação rasteira (Tiesen, 2017). Este resultado complementa os anteriores obtidos por Batista (2020), em que ele explica que o pau-branco, após avaliar os parâmetros de perda de massa (%), índice de susceptibilidade à deterioração (DSI) e o NewDSI, foi a espécie mais susceptível a deterioração biótica e abiótica.

4.3. Resistência a compressão após os testes de deterioração

Na Figura 12, estão expressos os valores médios dos módulos de ruptura (MOR) obtidos na análise de variância, que utilizou dados gerais das estacas (topo e base enterrados), que foram submetidos à compressão paralela. Ao analisar cada espécie, constatou-se que não houve diferença estatística entre elas, exceto para espécie sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) que foi a única que diferiu no teste de Scott-Knott.

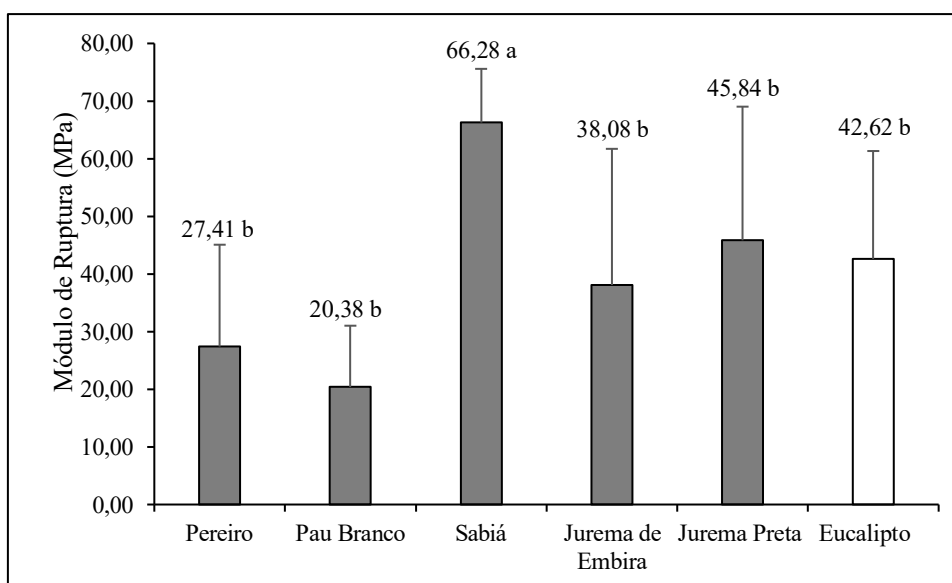
Os valores significativos de MOR obtidos para a espécie sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), mesmo considerando o ambiente de campo, são valores que já eram esperados, tendo em vista tanto a alta resistência e durabilidade que o sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) tem em ambiente de campo (Almeida, 2018). Já com relação à espécie jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), apesar de não diferir estatisticamente neste estudo com relação às demais, a literatura explica que a mesma se enquadra como madeira densa (pesada), de retratibilidade média, com resistência à compressão paralela e flexão estática elevadas (Alves, 2023).

Ao analisar a Figura 12, em comparação com o critério visual da Figura 9, é possível verificar que as espécies com maior deterioração visual e perda de resistência, como o pereiro

(*Aspidosperma pyrifolium* Mart.) e o pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão), obtiveram também os menores valores de MOR, isto pode evidenciar uma relação entre o estado de sanidade da madeira e a resistência mecânica, pois na medida em que o estado de sanidade diminui, a resistência também apresenta redução nos seus valores.

A afirmativa vai ao encontro do proposto por Barros *et al.* (2021), ao demonstrar que a resistência à compressão paralela às fibras dos corpos de prova com exposição de 30 dias ao intemperismo, diminui aproximadamente 29% em relação aos não expostos. Além disto, outros fatores também podem estar relacionados como a influência da temperatura e umidade, que são aspectos que afetam diretamente o módulo de ruptura, no caso de análises de compressão paralela às fibras (Carrasco; Oliveira; Mantilla, 2016).

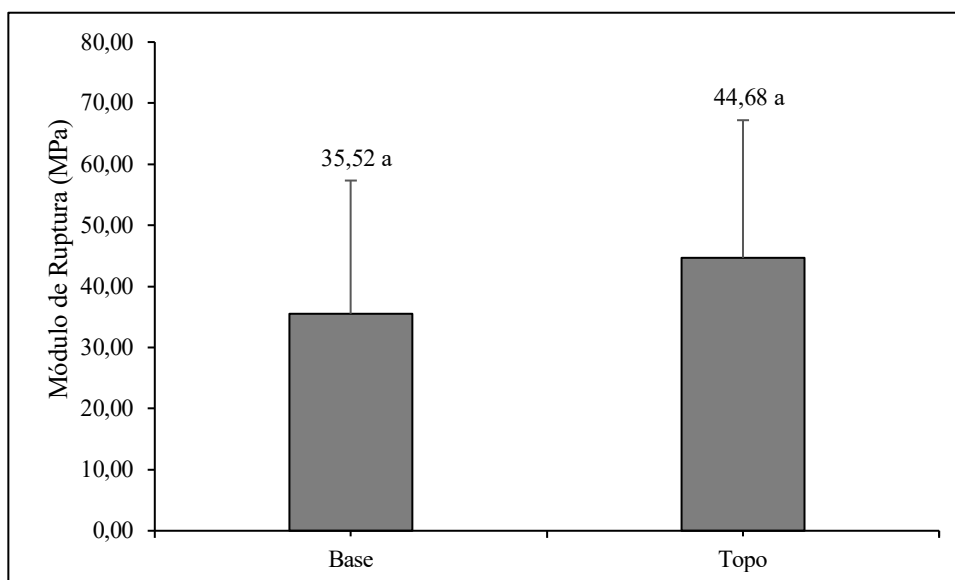
Figura 12: Valores médios obtidos a partir do teste de Scott-Knott a 5%, que representam os módulos de ruptura (MPa) oriundos da compressão dos corpos de prova de cada uma das espécies.



Fonte: Autor (2025).

Neste estudo, apesar da madeira na região de topo apresentar diferenças visuais significativas em comparação com a região da base, isto não demonstrou que houve ou ocorreram diferenciações estatísticas com relação às propriedades mecânicas, conforme demonstra a Figura 13, indicando que mesmo com as condições de campo, de deterioração e de organismos xilófagos incidentes, a madeira localizada no topo se comportou tão eficientemente quanto à localizada na base da estaca.

Figura 13: Valores médios obtidos a partir do teste de Scott-Knott a 5%, que comparam os valores de MOR (MPa) da madeira no topo (não enterrada) com a madeira da base (enterrada) na compressão dos corpos de prova de cada estaca das espécies.



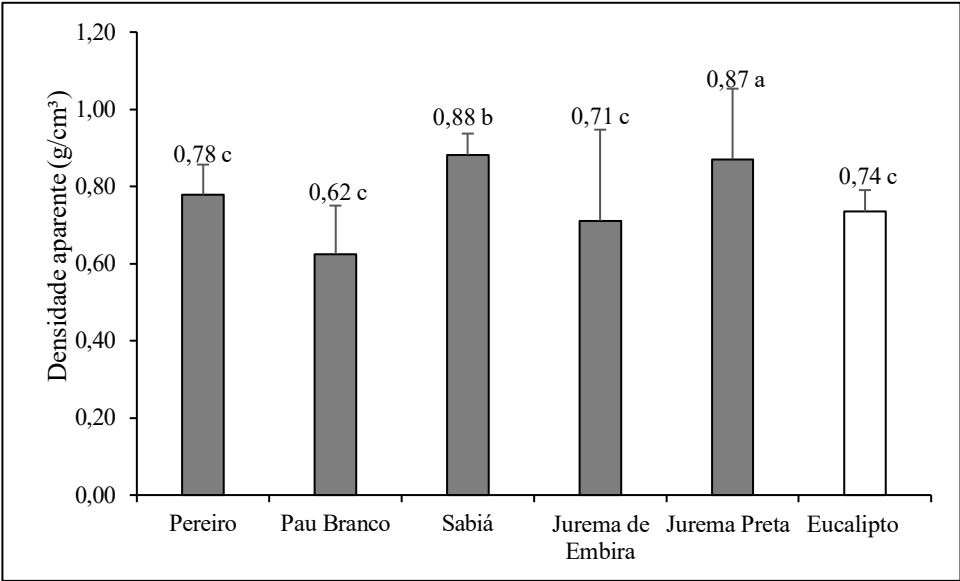
Fonte: Autor (2025)

4.4. Densidade das madeiras após os testes de deterioração

No tocante aos dados de densidade aparente apresentados na Figura 14, houve diferença significativa apenas para as espécies sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), com 0,88 g/cm³ e jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.)), com 0,87 g/cm³, as demais não diferiram estatisticamente.

Para a espécie jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.)), sua densidade aparente foi considerada alta, considerando que foi exposta a deterioração durante 5 anos e meio, inclusive com o valor relativamente próximo ao de Rocha *et al.* (2015), que obteve o valor de 1,06 g/cm³. A espécie sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), assim como a jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.)), também foi considerada como relativamente densa, considerando o longo período do experimento, e em valores não tão distantes dos obtidos por Oliveira, Sousa e Melo (2019), de 1,21 g/cm³.

Figura 14: Valores médios obtidos a partir do teste de Scott-Knott a 5% que representam a densidade aparente (g/cm³) oriunda dos corpos de prova de cada espécie.



Fonte: Autor (2025).

Na Figura 15 estão expressos os valores de densidade aparente no período que sucede o campo. Percebe-se que houve um decréscimo evidente nos valores das amostras no sentido topo à base. Sendo as espécies jurema de embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.) e pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão) as que obtiveram maior queda, diferentemente das espécies sabiá e jurema preta, que tiveram as perdas mais baixas nos seus valores.

Figura 15: Quadro com valores de densidade aparente (após o campo de apodrecimento) das madeiras de espécies nativas da Caatinga.

Densidade Aparente após exposição (g/cm³)		
Espécies	Base	Topo
Sabiá	0,88	0,89
Jurema-preta	0,84	0,84
Eucalipto	0,73	0,74
Pereiro	0,65	0,68
Pau Branco	0,58	0,67
Jurema-de-embira	0,67	0,79

Fontes: Autor (2025).

A redução nos valores da densidade aparente pode estar relacionada com o grau de deterioração das estacas, uma vez que as espécies pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão) e jurema de embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.) obtiveram altos índices de perda

de massa. Corpos de prova que apresentam sinais mais intensos de degradação por fungos e insetos, geralmente, possuem maior redução na densidade aparente da madeira submetida ao campo (Trevisan *et al.*, 2007), e além disso, a densidade das espécies madeiras está diretamente relacionada com a sua resistência aos organismos de degradação biológica e durabilidade natural (Farias *et al.*, 2023).

Todos estes resultados demonstram variações na durabilidade das madeiras nativas da Caatinga, assim como uma variação estrutural que as mesmas são submetidas, quando expostas em condições de campo aberto, destacando a importância da escolha adequada da espécie não só para uso sustentável, como também para utilizações que exigem maior resistência à deterioração (Paes *et al.*, 2009).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução temporal da deterioração demonstrou uma tendência clara de maior estabilidade estrutural para o sabiá e o eucalipto tratado ao longo do tempo, reforçando a indicação do sabiá como uma espécie com potencial para o uso em mourões, estacas e aplicações em contato com o solo.

Devido à influência de fatores internos no ambiente experimental, recomenda-se para estudos e trabalhos futuros em mesmas condições, avaliações acerca dos principais organismos xilófagos, assim como a caracterização das condições edafoclimáticas e de campo, que influenciam diretamente à durabilidade da madeira, para aprofundamento do controle e influência destes nos resultados obtidos. Além disto, estas informações também poderão definir em outros aspectos, quais espécies possuem maior resistência as intempéries, bióticas, ou abióticas, potencializando seus usos.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. N. **Durabilidade natural de estacas de sabiá (*Mimosa Caesalpinifolia* Benth.) em campo de apodrecimento**. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais). Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró-RN. 2018. 40f. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/ace4dfe9-97ee-4999-b49b-b8e70d2187ac/content>. Acesso em: 03. jul. 2025.
- ALVES, M. L. X. F. N. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas das espécies *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyrifolium* nativas do bioma caatinga para uso na construção civil**. Dissertação Mestrado (Centro de Tecnologia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN. 2023. 72f. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/4c777fdb-8581-4bd0-9091-22a859b671f6/content>. Acesso em: 03. jul. 2025.
- ANDRADE, J. C. **Caracterização analítica e biológica da droga vegetal produzida a partir de cascas de *Aspidosperma pyrifolium* Mart.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas - PPGCF). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB. 2019. 119f. Disponível em: <https://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/3890>. Acesso em: 03. jul. 2025.
- AQUINO, R. E.; FALCÃO, H. M.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Variação nas concentrações de compostos fenólicos e nas taxas de herbivoria em *Aspidosperma pyrifolium* Mart. em áreas antropizadas de Caatinga. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 61-71. 2017. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.2.1.2017.1075.61-71>
- ARAÚJO FILHO, J. A. Manejo pastoril sustentável da caatinga. **FIDA**. Building Capacities for Results-based Management and Scaling up for Innovations in Public Policies to Combat Rural Poverty in North-east Brazil. 2013. 200 p. ISBN: 978-85-64154-04-9.
- ARAUJO, J. B. S.; PAES, J. B. Natural Wood Resistance of *Mimosa caesalpinifolia* in Field Testing. **Floresta e Ambiente**. v. 25. n. 2. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.01281.ISSN 2179-8087>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7190-4: Projeto de estruturas de madeira – Parte 4: **Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais**. Rio de Janeiro, 2022.
- BAHIA, M. S. **Biodeterioração e a durabilidade da madeira: estudo de aspectos construtivos em Campo Mourão-PR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento Acadêmico de Construção Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Campo Mourão-PR. 2015. 106f. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6348/3/CM_COECI_2015_2_29.pdf. Acesso em: 03. jul. 2025.

BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP. 2002. 68f. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/b274/a9625268d0667d9ec41aa702c84878dce124.pdf>. Acesso em: 03. jul. 2025.

BARROS, A. M. F.; RIBEIRO, L. M. P.; LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L.; ALMEIDA, D. H. D. Influência do intemperismo natural na resistência à compressão paralela às fibras da madeira *Pinus sp.* **Anais eletrônicos – XVII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**. 2021.

BATISTA, F. G. **Resistência natural de madeiras de cinco espécies do bioma Caatinga em ensaio de campo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2020. 76f. Disponível em: <https://repositorio.ufrrn.br/server/api/core/bitstreams/c1bf38f4-db09-421f-814b-2ce40cb12e7c/content>. Acesso em: 03. jul. 2025.

BATISTA, L.; STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R.; SOUZA, A. P.; SILVA, E. S.; PARIZ, E. Resistência mecânica e composição química de madeiras amazônicas deterioradas em ensaios de campo. **Madera y Bosques**. v. 27. n. 1. 2021. DOI: 10.21829/myb.2021.2712079.

BLOM, A.; BERGSTROM, M. Mycologg: a new accelerated test method for wood durability above ground. **Wood science and technology**. v. 39. n. 8. p. 663-673. 2005. DOI 10.1007/s00226-005-0003-3.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F. Poder e taxas de erro Tipo I dos testes Scott-knott, Tukey e Student-newman Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Revista de matemática e estatística**. v. 21. n. 1. p. 67-83. 2003.

BRODA, M. Natural Compounds for Wood Protection against Fungi—A Review. **Molecules**. v. 25. n. 15. p. 3538. 2020. doi:10.3390/molecules25153538.

CARLOS, L. K. C.; DIODATO, M. A.; CASTRO, V. G. Durabilidade natural de cinco espécies madeiras da Caatinga em ensaio de deterioração em campo aberto e natural. **Advances in Forestry Science**. v. 8. n. 3. p. 1527-1534. 2021. <https://doi.org/10.34062/afs.v8i3.12631>

CARRASCO, E. V. M.; OLIVEIRA, A. L. C.; MANTILLA, J. N. R. Influência da temperatura na resistência e no módulo de elasticidade em madeira de híbridos de Eucaliptos. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 26. n. 2. p. 389-400. 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509822740>

CARVALHO, P. E. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**. v.1. 2003.

CARVALHO, P. E. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**. v.4. 2010.

CARVALHO, P. E. R. Pau-Branco-do-Sertão (*Auxemma oncocalyx*). Colombo. **Embrapa Florestas**, (Embrapa Florestas. Circular Técnica, 153). 2008.

CASTRO, M. C. M.; FERNANDES, A. A.; BARBOSA, A. V. X.; COSTA, L. G.; MAFRA, E. S.; BROCCO, V. F. Propriedades tecnológicas das madeiras de *Diploptropis purpurea* (Rich.) Amshoff e *Andira parviflora* Ducke. **Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v.16. n.47. p. 2782-2801. 2023. DOI:10.55905/rdelosv16.n47-016

CÓRDULA, E.; MORIM, M. P.; ALVES, M. Morfologia de frutos e sementes de Fabaceae ocorrentes em uma área prioritária para a conservação da Caatinga em Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**. v.65. p. 505-516. 2014. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602014000200012>

COSTA, E. L. **Análise toxicológica, citotóxica e mutagênica de extratos aquosos de *Aspidosperma pyrifolium* (Apocynaceae)**. Dissertação (Mestrado em Produção Animal). Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró-RN. 2015. 74f. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/d6841651-2ed1-45e8-9d18-35dc4cd01d91/content>. Acesso em: 03. jul. 2025.

DANTAS, A. F. V. **Malformações e morte embrionária em ruminantes causadas pela ingestão de *Mimosa tenuiflora* (jurema preta)**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência Veterinária). Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2009. 68f. Disponível em: <http://www.tede2.ufpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/5110/2/Antonio%20Flavio%20Medeiros%20Dantas.pdf>. Acesso em: 03. jul. 2025.

FARIAS, S. M. A. P.; SIVIERO, A.; PEREIRA, K. R. M.; MACEDO, P. E. F.; SANTOS, R. S.; PASSOS, J. R. S.; FURTADO, E. L. Degradação biológica e a durabilidade natural de espécies florestais da Amazônia em campo de apodrecimento no Acre. **Research, Society and Development**. v. 12. n. 4. 2023. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40990>

FERRO, F. S.; ICIMOTO, F. H.; ALMEIDA, D. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Influência da posição dos instrumentos de medida na determinação do módulo de elasticidade da madeira na compressão paralela às fibras (E_{C0}). **Revista Árvore**. Viçosa-MG. v.39. n.4. p.743-749. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000400017>.

FIGUEIRÔA, J. M. PAREYN, F. G. C.; DRUMMOND, M.; ARAÚJO, E. L. **Madeireiras. Espécies da flora nordestina de importância econômica potencial**. Recife: Associação Plantas do Nordeste. 2005. p. 101-133.

FREITAS, V. P. **Variações na retenção de CCA-A em estacas de *Pinus* após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento**. 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP. 2002. 65f. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-20082002-141407/pt-br.php>. Acesso em: 03. jul. 2025.

GIRÃO, E. G. **Pau-branco (*Cordia oncocalyx* allemão): etnobotânica, usos e conservação**. Tese (Programa de Pós graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE. 2022. 102f. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/69639/3/2022_tese_eggirao.pdf. Acesso em: 03. jul. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha municipal. Acesso ao Produto. Rio Grande do Norte: 2024. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Shapefile (.shp). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 03. jul. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal. Acesso ao Produto. Brasil: 2024. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Shapefile (.shp). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 03. jul. 2025.

JACOBS, K.; PLASCHKIES, K.; SCHEIDING, W.; WEIß, B.; MELCHER, E.; CONTI, E.; FOJUTOWSKI, A.; LE BAYON, I. Natural durability of important European wood species against wood decay fungi. Part 2: Field tests and fungal Community. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v. 137. p. 118-126. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.12.002>

JÄRVINEN, J.; ILGIN, H. E.; KARJALAINEN, M. Wood Preservation Practices and Future Outlook: Perspectives of Experts from Finland. **Forests**. v. 13. n. 7. p. 1044. 2022. <https://doi.org/10.3390/f13071044>

JELIHOVSCHI, E. G.; FARIA, J. C.; ALLAMAN, I. B. ScottKnott: a package for performing the Scott-Knott clustering algorithm in R. **Tendencias em Matemática Aplicada e Computacional**. v.15. n. 1. p. 3-17. 2014.

KERŽIČ, E.; VEK, V.; OVEN, P.; HUMAR, M. Changes in wood durability due to leaching of biologically active substances (extractives) resulting from weathering. **Case Studies in Construction Materials**. v. 21. p. e03921. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03921>

KLOCK, U. ANDRADE, A. S. Química da Madeira. 4ª edição. Curitiba-PR. 2013.

KROPAT, M.; HUBBE, M. A.; LALEICKE, F. Natural, Accelerated, and Simulated Weathering of Wood: A Review. **BioResources**. v. 15. n. 4. p. 9998. 2020. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/2519352582/fulltextPDF/EA54D86DD3BF4E72PQ/1?accountid=26569&sourcetype=Scholarly%20Journals>. Acesso em: 03. jul. 2025.

KRŽIŠNIK, D.; LESAR, B.; THALER, N.; PLANINŠIČ, J.; HUMAR, M. A study on the moisture performance of wood determined in laboratory and field trial. **European Journal of Wood and Wood Products**. v.78. p. 219–235. 2020. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01506-z>

LEPAGE, E. S. Método sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira. **Preservação de madeiras**. v. 1. n. 4. p. 205-216. 1970.

LOPEZ, R.; MARTÍN, J. A. Biological Deterioration and Natural Durability of Wood in Europe. **Forests**. v. 14. n. 2. p. 283. 2023. <https://doi.org/10.3390/f14020283>

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MAIA, J. H.; FERREIRA, L. M. M.; CASTRO, V. G. Influence of extractives on the color of woods from Caatinga. **Advances in Forestry Science**. Cuiabá. v. 7. n. 2. p. 1043-1048, 2020. <https://doi.org/10.34062/afs.v7i2.9421>

MARAIS, B. N.; BRISCHKE, C. MILITZ, H. Wood durability in terrestrial and aquatic environments – A review of biotic and abiotic influence factors. **Wood Material Science & Engineering**. 2022. v. 17. n. 282–105. <https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1779810>

MARTÍN, J. A.; LÓPEZ, R. Biological deterioration and natural durability of wood in Europe. **Forests**. v. 14. n. 2, p. 283. 2023. <https://doi.org/10.3390/f14020283>.

MATOS, G. S.; MOLINA, J. C. Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005. **Revista Matéria**. v.21. n.4. p. 1069 – 1079. 2016. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160004.0098>.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SUSIN, F. Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v. 20. n. 2. p. 357-365. 2010. <https://doi.org/10.5902/198050981858>

MORAIS, V. A. V. **Efeito do manejo da jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (willd.) Poir.) na vegetação herbácea em caatinga raleada e o enriquecimento com capim andropogon (*Andropogon gayanus* kunth)**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal). Universidade Federal de Campina Grande. Patos-PB. 2019. 53f. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/16265/VANDERL%c3%89I A%20ALVES%20DO%20VALE%20MORAIS%20-%20DISSERTA%c3%87%c3%83O%20PPGCA%202019.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 03. jul. 2025.

MORESCHI, J. C. Propriedades da Madeira. 4ª edição. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba-PR. 2012.

MORRIS, P. I.; INGRAM, J.; LARKIN, G.; LAKS, P. Field Tests of Naturally Durable Species. **Forest Products Journal**. v. 61. n. 5. p. 344-351. 2011. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.5.344>

NASCIMENTO, A. C. S. **Estudo de caso sobre estrutura de madeira utilizando Eucalipto Citriodora para telhado em duas águas**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. 2024. 71f. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/7181/3/MONOGRRAFIA_EstudoCasoEstrutura.pdf. Acesso em: 03. jul. 2025.

NEGRO, F. ZANUTTINI, R. Wood in sport equipment heritage, present, perspective. **DISAFA**. University of Turin. Turin. 2022. p. 221. DOI: 10.22382/book-2022-01

NISGOSKI, S. Anatomia da Madeira. Curitiba. 2016. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassilvana/APOSTILA-ANATOMIA-2P-2016.pdf>. Acesso em: 03. jul. 2025.

NOGUEIRA, S. S. **Caracterização química, física, colorimétrica e Durabilidade natural da *Mimosa tenuiflora***. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró-RN. 2020. 46f. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/8c30310e-2d51-453e-bf61-7447e144313f/content>. Acesso em: 03. jul. 2025.

OLAGA, T. T.; KWAKU, A.; BIH, F. K.; DONKOR, M. B. Natural durability of *Acacia mangium* wood. Pesquisas Agrárias e Ambientais. **Nativa**. Sinop. v. 12. n. 1. p. 179-183. 2024. <https://doi.org/10.31413/nat.v12i1.16910>

OLIVEIRA, R. R. A.; SOUZA, J. A. G.; MELO, R. R. Caracterização física da madeira de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. In: **II Simpósio Potiguar de Engenharia Florestal**. Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, 2019. Disponível em: <https://doity.com.br/anais/iv-simposio-potiguar-de-engenharia-florestal/trabalho/254589>. Acesso em: 03. jul. 2025.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R.; SANTOS, G. J. C. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos xilófagos em simuladores de campo. **Revista Árvore**. Viçosa-MG. v.33. n.3. p.511-520. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300013>

PEDRAZZI, C.; Dick, G.; Coldebella, R.; Gentil, M.; Giesbrecht, B. M.; Rosa, R. C. Química da Madeira. 1ª edição. Santa Maria. 2019.

PETTERSEN, R. C. The Chemical Composition of Wood. The Chemistry of Solid Wood. In **Advances in Chemistry Series**. Advances in Chemistry Series, 207. p. 57-126. Washington DC: American Chemical Society. 1984. <https://doi.org/10.1021/ba-1984-0207.ch002>

PYDIMALLA, M.; CHIRRAVURI, H. V.; UTTARAVALLI, A. N. An overview on non-wood fiber characteristics for paper production: Sustainable management approach. **Materials Today: Proceedings**. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.278>.

QUINTILHAN, M. T.; OLIVEIRA, W. C.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; MÔRA, R.; PINTO, A. A. S. Deterioração da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia* em ensaio de campo. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**. v. 9. p. 82-94. 2018. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v9n2p82-94

RALPH, J.; LUNDQUIST, K.; BRUNOW, G.; LU, F.; KIM, H.; SCHATZ, F. P.; MARITA, J. M.; HATFIELD, R. D.; RALPH, S. A.; CHRISTENSEN, J. H.; BOERJAN, W. Lignins: Natural polymers from oxidative coupling of 4-hydroxyphenyl propanoids. **Phytochemistry reviews**, v. 3, p. 29-60, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:PHYT.0000047809.65444.a4>

ROCHA, H. L. S.; PAES, J. B.; MINÁ, A. J. S.; OLIVEIRA, E. Caracterização físico mecânica da madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) visando seu emprego na indústria moveleira.

Revista Brasileira de Ciências Agrárias. 10(2). p. 262-267. 2015. DOI:10.5039/agraria.v10i2a3772.

SEGUNDINHO, P. G. A.; REGAZZI, A. J.; POLETTI, F. S.; PAULA, M. O.; MENDONÇA, A. R.; GONÇALVES, F. G. Variação dos módulos de elasticidade e ruptura em madeira de Cedro-australiano por meio de ensaios não destrutivo e destrutivo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28. n. 3. p. 1163-1178. 2018. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509833392>

SILVA, B. M. **Resposta da vegetação herbácea em área de caatinga manipulada com controle das rebrotas da jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (willd.) Poir.).** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal). Universidade Federal de Campina Grande. Patos-PB. 80f. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/16575/1/BETILDE%20DE%20MATOS%20SILVA%20-%20DISSERTA%C3%87%C3%83O%20PPGCA%202020.pdf>. Acesso em: 03. jul. 2025.

SILVA, E. D. G.; ALVES, A. R.; COELHO, D. C. L.; QUIRINO, N. I. L.; HOLANDA, A. C.; BEZERRA, R. M. Florística e estrutura do componente arbustivo-arbóreo em ambiente de caatinga, Rio Grande do Norte, Brasil. **Nativa**. Sinop. v. 10. n. 1. p. 125-130. 2022. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i1.13091>

SILVA, K. K. **Comportamento Fenológico de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth. em uma Área de Caatinga no Semiárido Paraibano, Brasil.** Monografia (Engenharia de Biossistemas). Universidade Federal de Campina Grande. Sumé-PB. 2015. 57f. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/5546/3/KARLLA%20KAREM%20DAS%20SILVA%20-%20TCC%20ENG.%20DE%20BIOSSISTEMAS%202015.pdf>. Acesso em: 03. jul. 2025.

SILVA, L. B. SANTOS, F. A. R. GASSON, P. E CUTLER, D. Estudo comparativo da madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Fabaceae-Mimosoideae) na caatinga nordestina. **Acta Botanica Brasilica**. p. 301-314. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200006>

SILVA, S. J.; SIMON, M. F.; TOZZI, A. M. G. A. Revisão taxonômica das espécies de *Mimosa* ser. *Leiocarpae sensu lato* (Leguminosae-Mimosoideae). **Rodriguésia**, v. 66. n. 1. p. 95-154. 2015. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566107>

SUNDARARAJ, R.; SWETHA, P.; MONDAL, S.; REDDY, M. K.; RISHI, R. R.; MAMATHA, N. Incidence and Effect of Heart Rot in Marayur Sandalwood (*Santalum album* L.) Reserve, Kerala, and Its Natural Durability Against Fungi. **Forest Science**. 2023. p. 133–142. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxac04>

TIESEN, C. M. A. **Durabilidade natural de dez madeiras amazônicas em campo de apodrecimento.** 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop – MT. 2017. 110f. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFMT_f8b19049ca72439ce85a22cebef91b4. Acesso em: 03. jul. 2025.

TOTSUKA, M. Evaluation method of compression parallel to grain stiffness in wood and relationship between stiffness and shape of contact surface. **European Journal of Wood and Wood Products**. v. 83. n. 1. p. 15. 2025. <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02169-w>

TREVISAN, H.; AMANCIO, J. M. S.; SOUZA, T. S.; FERREIRA, P. S.; COELHO, F. A.; CARVALHO, A. G. Avaliação da deterioração de quatro madeiras comerciais expostas em condições de campo. In: SUSTENTABILIDADE DE RECURSOS FLORESTAIS. **Atena Editora**. Ponta Grossa. 2019. v. 2, p. 118–123. DOI 10.22533/at.ed.986192407

TREVISAN, H.; TIEPPO, F. M. M.; CARVALHO, A. G.; LELIS, R. C. C. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. **Revista Árvore**. Viçosa-MG. v.31. n.1. p.93-101. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000100011>

VALLE, A.; MORAES, P. D.; SZUCS, C. A.; TEREZO, R. F. Estruturas de Madeira. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis-SC. 2015. Disponível em: <https://giem.ufsc.br/files/2017/02/Apostila-Estrutura-de-Madeira.pdf>. Acesso em: 03. jul. 2025.

VAN ACKER, J.; STEVENS, M.; CAREY, J.; SIERRA-ALVAREZ, R.; MILITZ, H.; LE BAYON, I.; KLEIST, G.; PEEK, R. D. Biological durability of wood in relation to end-use. **European Journal of Wood and Wood Products**. v. 61. n. 1. p. 35-45. 2003. DOI: 10.1007/s00107-002-0351-8.

VECHI, A.; JÚNIOR, C. A. O. M. Aspectos positivos e negativos da cultura do Eucalipto e os efeitos ambientais do seu cultivo. **Revista Valore**. v. 3 n. 1. 2018. <https://doi.org/10.22408/reva312018101495-507>

WANG, J.; CAO, X.; LIU, H. A review of the long-term effects of humidity on the mechanical properties of wood and wood-based products. **European Journal of Wood and Wood Products**. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01623-9>