



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
CAMPUS DE PATOS - PB**



KARLA DE LIMA ALVES SIMÃO

**RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA AO ATAQUE DE AGENTES XILÓFAGOS
DE DUAS ESPÉCIES DO SEMIÁRIDO**

**PATOS-PB
2023**

KARLA DE LIMA ALVES SIMÃO

**RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA AO ATAQUE DE AGENTES XILÓFAGOS
DE DUAS ESPÉCIES DO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais na Universidade Federal de Campina Grande, na Linha de Pesquisa: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador (a): Prof. Dr. Pedro Nicó de Medeiros Neto

PATOS - PB

2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) Sistema Integrado Bibliotecas – SISTEMOTECA/UFCG

S588r

Simão, Karla de Lima Alves

Resistência natural da madeira de duas espécies da caatinga ao ataque de agentes Xilófagos. / Karla de Lima Alves Simão. – Patos, 2023.
55f.

Orientador: Pedro Nicó de Medeiros Neto.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais.

1. Semiárido. 2. Biodeterioração da madeira. 3. Propriedades da madeira. 5. Sustentabilidade. I. Medeiros Neto, Pedro Nicó de, *orient.* II. Título.

CDU 595.731

KARLA DE LIMA ALVES SIMÃO

**RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA AO ATAQUE DE AGENTES XILÓFAGOS
DE DUAS ESPÉCIES DO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos-PB, na Área de Ecologia e Manejo dos Recursos Florestais, como parte das exigências para a obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIAS FLORESTAIS.

Aprovado em 15 de julho de 2023.

Documento assinado digitalmente
 PEDRO NICO DE MEDEIROS NETO
Data: 02/08/2023 17:19:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Pedro Nicó de Medeiros Neto

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG/UAEF/CSTR)

(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 JOAO GABRIEL MISSIA DA SILVA
Data: 01/08/2023 11:35:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. João Gabriel Missia da Silva

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

(1ª Examinador)

Pompeu Paes
Guimarães

Assinado de forma digital por
Pompeu Paes Guimarães
Dados: 2023.08.01 14:01:33
-03'00'

Prof. Dr. Pompeu Paes Guimaraes

Universidade Federal de Campina Grande (UFERSA)

(2ª Examinador)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM CIENCIAS FLORESTAIS
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, REALIZADA EM 15 DE JUNHO DE 2023 (Nº 150).

CANDIDATO: Karla de Lima Alves Simão

COMISSÃO EXAMINADORA (PORTARIA SEI/PPGCF Nº 04, DE 12 DE JUNHO DE 2023):

Prof. Dr. Pedro Nicó de Medeiros Neto, Presidente/Orientador, UAEF/CSTR/UFCG;

Prof. Dr. João Gabriel Missia da Silva, Examinador Externo, UFES;

Prof. Dr. Pompeu Paes Guimaraes, UFERSA.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: “Resistência natural da madeira ao ataque de agentes xilófagos de duas espécies do semiárido”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais.

HORA DE INÍCIO: 14h00

LOCAL: Plataforma virtual Google Meet

Em sessão pública, após exposição de cerca de 50 minutos, a candidata foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua dissertação, sendo Aprovada_, com pequenas modificações no texto, de acordo com as exigências da Comissão Examinadora, que deverão ser cumpridas no prazo máximo de 30 (trinta) dias. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é assinada por mim, Antonio Lucineudo de Oliveira Freire, Coordenador, e os membros da Comissão Examinadora presentes. Patos (PB), 15 de junho de 2023.

Antonio Lucineudo de Oliveira Freire – Coordenador
Pedro Nicó de Medeiros Neto - Orientador
João Gabriel Missia da Silva - Examinador
Pompeu Paes Guimaraes - Examinador
Karla de Lima Alves Simão - Mestranda



Documento assinado eletronicamente por **PEDRO NICO DE MEDEIROS NETO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/06/2023, às 17:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pompeu Paes Guimarães, Usuário Externo**, em 16/06/2023, às 08:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Gabriel Missia da Silva, Usuário Externo**, em 16/06/2023, às 17:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANTONIO LUCINEUDO DE OLIVEIRA FREIRE, COORDENADOR(A)**, em 22/06/2023, às 08:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **KARLA DE LIMA ALVES SIMÃO, Usuário Externo**, em 28/06/2023, às 21:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3472898** e o código CRC **CA293B90**.

Dedico a Deus, porque Dele e por Ele, para Ele são todas as coisas.

Ao meu pai Antonio Simão Filho e à minha mãe Gilvana de Lima A. Simão, por me apoiaram e me incentivarem em todos os momentos da minha vida.

Às minhas irmãs, Aline de Lima e Bruna de Lima, por todos os ensinamentos, carinhos e exortações que contribuíram para a minha jornada.

E ao meu padrinho Toinho (*in memoriam*), por me fazer acreditar que eu conseguiria chegar aqui.

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz,
e os teus planos serão bem-sucedidos”.

Provérbios 16:3

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre ter zelado por mim, por ter me protegido e me dado forças e determinação, até mesmo quando pensei que toda minha esperança havia esgotado. A Deus seja dada a honra e a glória.

Agradeço ao meu pai, Antônio, e à minha mãe, Gilvana, que dedicaram suas vidas para que eu tivesse uma boa formação. Obrigado por me apoiarem em todo esse percurso! Obrigada pelo amor, paciência e por sempre acreditarem em mim!

Agradeço às minhas irmãs Aline e Bruna, por todo carinho, apoio e ensinamentos que contribuíram nesse percurso. Vocês foram essenciais nesse ciclo vivido. E ao meu cunhado, Alexandre, por todo apoio e consideração.

Agradeço ao meu noivo, Leandro, que esteve ao meu lado compartilhando alegrias, carinhos, incertezas e cansaço e, em especial, por sua compreensão perante as horas de convívio reduzido que foram dedicadas às atividades acadêmicas.

Agradeço à minha psicóloga, Larissa, por ter me ajudado, quantos diálogos dolorosos, perdi as contas de quantas vezes chorei. Obrigada pela disposição em ouvir e me fazer lembrar que sou merecedora de coisas boas.

Ao meu orientador, Pedro Nicó de Medeiros Neto, pela parceria para a realização desta dissertação. Sua atenção, apoio, críticas e sugestões foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pela paciência e pela atenção para comigo. Cada ensinamento seu levarei/ levo para a vida!

Agradeço aos meus padrinhos, Fátima e Toinho (*In memoriam*), pelo amor e por sempre torcerem por mim, mesmo não estando perto fisicamente. Infelizmente, não pude dar a notícia ao meu padrinho de que consegui entrar no mestrado, sei o quanto torcia por mim, mas sinto que teve orgulho de mim!

Aos meus queridos alunos e ex-alunos, por sempre me inspirarem, ensinarem e alegrarem os meus dias.

Aos meus colegas e amigos de vida, por toda a ajuda e todo o apoio durante a trajetória.

Aos professores desde a primeira infância até a fase adulta, pela contribuição que deram à minha formação.

À banca, pelas orientações nas formulações fundamentais presente neste trabalho.

Agradeço aos funcionários da Universidade Federal de Campina Grande-campus Patos, que favoreceram para a conclusão deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para que eu pudesse cumprir da melhor maneira possível mais essa etapa da minha vida, o mestrado.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 GERAL	14
2.2 ESPECÍFICOS	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 DOMÍNIO FITOGEOGRÁFICO DA CAATINGA	15
3.2 ESPÉCIES ESTUDADAS	17
3.2.1 <i>Combretum leprosum</i>	17
3.2.2 <i>Erythroxylum pungens</i>	18
3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A DURABILIDADE NATURAL	20
3.4 AGENTES XILÓFAGOS	21
3.5 RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA E SUA AVALIAÇÃO	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 ESPÉCIES MADEIREIRAS ESTUDADAS	27
4.2 AMOSTRAGEM DA MADEIRA	27
4.3 RELAÇÃO CERNE: ALBURNO DAS ESPÉCIES	29
4.4 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA	30
4.5 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS E FUNGOS DE PODRIDÃO MOLE	30
4.5.1 Ensaio de alimentação forçada e preferência alimentar com térmitas Subterrâneos	30
4.5.2 Ensaio de resistência natural aos fungos de podridão mole	33
4.5.3 Ensaio em simulador acelerado de campo	33
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 DIMENSÕES DAS ÁRVORES, DO CERNE, ALBURNO E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA	36
5.2 PERCENTUAIS DE EXTRATIVOS E CINZAS DA MADEIRA	38
5.3 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS E FUNGOS XILÓFAGOS	39
5.3.1 Ensaio com térmitas xilófagos	39
5.3.2 Ensaio com fungos xilófagos	42
5.3.3 Ensaio em simulador acelerado de campo	43
5.4 CORRELAÇÕES ENTRE A DURABILIDADE NATURAL E AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA MADEIRA	46
6 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50

RESUMO

Sabendo-se da notável importância na ampliação do conhecimento científico sobre as características das espécies florestais da Caatinga quanto à resistência natural da madeira, o que possibilita o uso de sua forma correta e racional, evitando a utilização de espécies que possuem uma baixa durabilidade natural, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a resistência natural da madeira ao ataque de agentes xilófagos das espécies *Erythroxylum pungens* e *Combretum leprosum*. Para atingir o objetivo, foram coletadas aleatoriamente cinco árvores por espécie, e de cada árvore foi retirado um disco de madeira nas posições de 0 (base), 50 e 100% da altura comercial do tronco. Esses discos foram utilizados para a mensuração da porcentagem cerne e alburno, determinação da massa específica básica e nas análises químicas. Para os ensaios biológicos com térmitas e fungos xilófagos, foi empregada uma tora de 1,50 m obtida da primeira seção de cada árvore. Para estes ensaios, foram realizadas amostragens em duas posições na direção medula-casca (alburno e região de transição, contendo cerne e alburno). Na análise e na avaliação dos resultados, foi utilizado o teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$) e para as relações entre as variáveis estudadas aplicou-se a análise de regressão linear simples. A madeira de *E. pungens* teve a maior massa específica básica (0,76 g cm⁻³), maior teor de extrativos na posição do alburno (7,55%) e a de *C. leprosum* na posição de transição (6,60%). Para o teor de cinzas, a madeira de *E. pungens* obteve o maior resultado (1,38%) e, entre as posições, a região de transição, exibindo o maior valor médio (1,17%). Quanto ao ensaio de preferência alimentar, a madeira de *E. pungens* exibiu a menor perda de massa na posição de transição (1,03%), sendo a espécie mais resistente. Para o ensaio de alimentação forçada, a madeira de *E. pungens* exibiu as menores perdas de massas, em ambas as posições testadas. Já no ensaio com fungos de podridão mole, a maior perda de massa foi na região de transição para a madeira de *C. leprosum* (10,20%), não diferenciado da região de alburno (9,90%). No simulador de campo, a espécie *E. pungens* foi a mais resistente em ambas as posições avaliadas, sendo a madeira da região de transição a mais durável (3,92%). Foi constatada uma correlação significativa e positiva entre a massa específica básica e a perda de massa no ensaio de alimentação forçada (0,84) para a espécie *Combretum leprosum*. Em geral, a madeira da espécie *Erythroxylum pungens* foi a mais resistente em todos os ensaios biológicos realizados, sendo a oriunda da região de transição menos susceptível.

Palavras-chave: semiárido, biodeterioração da madeira, propriedades da madeira, sustentabilidade

ABSTRACT

Knowing the remarkable importance in the expansion of scientific knowledge about the characteristics of Caatinga forest species regarding the natural resistance of wood, which allows the use of its correct and rational form, avoiding the use of species that have a low natural durability, the present work aimed to evaluate the natural resistance of wood to the attack of xylophagous agents of the species *Erythroxylum pungens* and *Combretum leprosum*. To achieve this objective, five trees per species were randomly collected, and a wood disk was removed from each tree at the positions of 0 (base), 50 and 100% of the commercial height of the trunk. These disks were used for the measurement of heartwood and sapwood percentage, determination of basic specific mass and chemical analysis. For the biological tests with termites and xylophagous fungi, a 1.50 m log obtained from the first section of each tree was used. For these tests, samples were taken in two positions in the pith-bark direction (sapwood and transition region, containing heartwood and sapwood). Tukey's test ($p \leq 0.05$) was used to analyze and evaluate the results, and simple linear regression analysis was applied to the relationships between the variables studied. The wood of *E. pungens* had the highest basic specific mass (0.76 g cm⁻³), the highest extractive content in the sapwood position (7.55%) and that of *C. leprosum* in the transition position (6.60%). For ash content, *E. pungens* wood obtained the highest result (1.38%) and, among the positions, the transition region, exhibiting the highest mean value (1.17%). As for the feeding preference test, *E. pungens* wood exhibited the lowest mass loss in the transition position (1.03%), being the most resistant species. For the forced feeding test, *E. pungens* wood exhibited the lowest mass losses in both tested positions. In the soft rot fungi test, the highest mass loss was in the transition region for *C. leprosum* wood (10.20%), not different from the sapwood region (9.90%). In the field simulator, the species *E. pungens* was the most resistant in both positions evaluated, with the wood of the transition region being the most durable (3.92%). A significant and positive correlation was found between basic specific mass and mass loss in the forced feeding test (0.84) for the species *Combretum leprosum*. In general, the wood of the species *Erythroxylum pungens* was the most resistant in all biological tests performed, and the wood from the transition region was less susceptible.

Keywords: semi-arid, wood biodeterioration, wood properties, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é frequentemente utilizada para diversos fins na região semiárida brasileira, principalmente, como fonte de energia (lenha e carvão vegetal), nas construções rurais, por meio de elementos estruturais para galpões, apriscos e cercas, cabos para ferramentas manuais e usos medicinais.

Além disso, por ser um material renovável e mais acessível que outros materiais de construção (ferro, aço, alumínio, plástico e concreto), a madeira se torna um produto sustentável. No entanto, por se tratar de um produto de origem biológica, esta fica exposta ao ataque de agentes xilófagos, que a utilizam como alimento e abrigo, o que restringe o uso de diversas espécies florestais como fonte de produtos madeireiros para a indústria moveleira ou para componentes estruturais (HOFFMANN *et al.*, 2023).

Quanto à susceptibilidade da madeira ao ataque de agentes xilófagos no mundo, esta é mais vulnerável à biodeterioração por fungos, que causam os maiores danos econômicos e, posteriormente, as térmitas (CRUZ, 2017). Na região semiárida brasileira, as maiores perdas econômicas são ocasionadas pelas térmitas, que atacam os elementos estruturais dos galpões, estábulos e residências, além dos móveis, estacas e mourões.

Essa baixa resistência natural exibida por algumas espécies florestais da região ao ataque das térmitas ocasiona uma pressão sobre a vegetação nativa do bioma Caatinga, pela necessidade de repor as peças biodeterioradas. Ademais, esse bioma é exclusivamente brasileiro, caracterizado por espécies arbóreo-arbustivas com bifurcações e fustes tortuosos. Todavia, o uso indistinto da madeira sem atender os princípios da sustentabilidade promove o surgimento de grandes áreas desertificadas na Caatinga e perda de sua biodiversidade.

Nesse sentido, para evitar o ataque de agentes xilófagos e a demanda pela substituição dos produtos madeireiros, deve-se realizar a proteção química da madeira ou utilizar espécies florestais com elevada resistência natural. Logo, uma alternativa é a escolha de indivíduos com alta durabilidade natural, ao invés da aplicação de produtos químicos sintéticos, que podem gerar problemas ambientais, como a contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas, ocasionada pela lixiviação dos constituintes químicos impregnados na madeira.

No caso da resistência natural da madeira, a avaliação do seu percentual de resistência ao ataque de agentes xilófagos é realizada por ensaios laboratoriais e de campo. Os testes em laboratório permitem a mensuração do desempenho da madeira exposta ao ensaio, com resultados em menor intervalo de tempo, além de ser de baixo custo a sua realização, quando comparados aos ensaios de campo. Nesse sentido, Medeiros Neto (2017) destacou que, em grande parte das espécies, a composição química é a principal responsável pela resistência natural da madeira. Em alguns casos, um único componente químico é responsável pela durabilidade, já em outros, vários compostos agem de forma sinérgica para proporcionar uma elevada durabilidade da madeira.

Essa resistência natural é influenciada pela idade dos indivíduos, condições edafoclimáticas da região e injúrias. Por exemplo, a durabilidade natural da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.), família Lamiaceae, que produz uma das madeiras tropicais mais valiosas do mercado mundial, sua resistência aumenta com a idade devido a uma maior concentração de extrativos tóxicos presentes no cerne (SILVA *et al.*, 2023).

Com relação às espécies madeireiras presentes no bioma Caatinga, algumas destas têm sido avaliadas quanto a sua durabilidade natural (PAES *et al.*, 2013; PAES *et al.*, 2015; BATISTA *et al.*, 2020; CARLOS *et al.*, 2021), porém ainda existem muitas espécies madeireiras a serem pesquisadas nesse bioma com elevado potencial para fins estruturais. Dessa forma, as perspectivas da utilização de outras espécies menos conhecidas favorece positivamente a inserção de matéria-prima para o consumo da população do semiárido, além de ser uma alternativa em substituição das espécies tradicionalmente empregadas.

Entretanto, qualquer estudo que caracterize a madeira quanto à sua resistência natural deverá ser embasado na análise das suas características físico-químicas, principalmente o teor de extrativos, responsáveis pelo acréscimo da durabilidade da madeira contra o ataque de agentes xilófagos.

Assim, a ampliação do conhecimento científico sobre as características das espécies florestais da Caatinga, quanto à resistência natural, promove o seu uso de forma correta e racional, evitando a utilização de espécies que possuem uma baixa durabilidade natural.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a resistência natural da madeira das espécies *Erythroxylum pungens* e *Combretum leprosum* ao ataque de agentes xilófagos.

2.2 ESPECÍFICOS

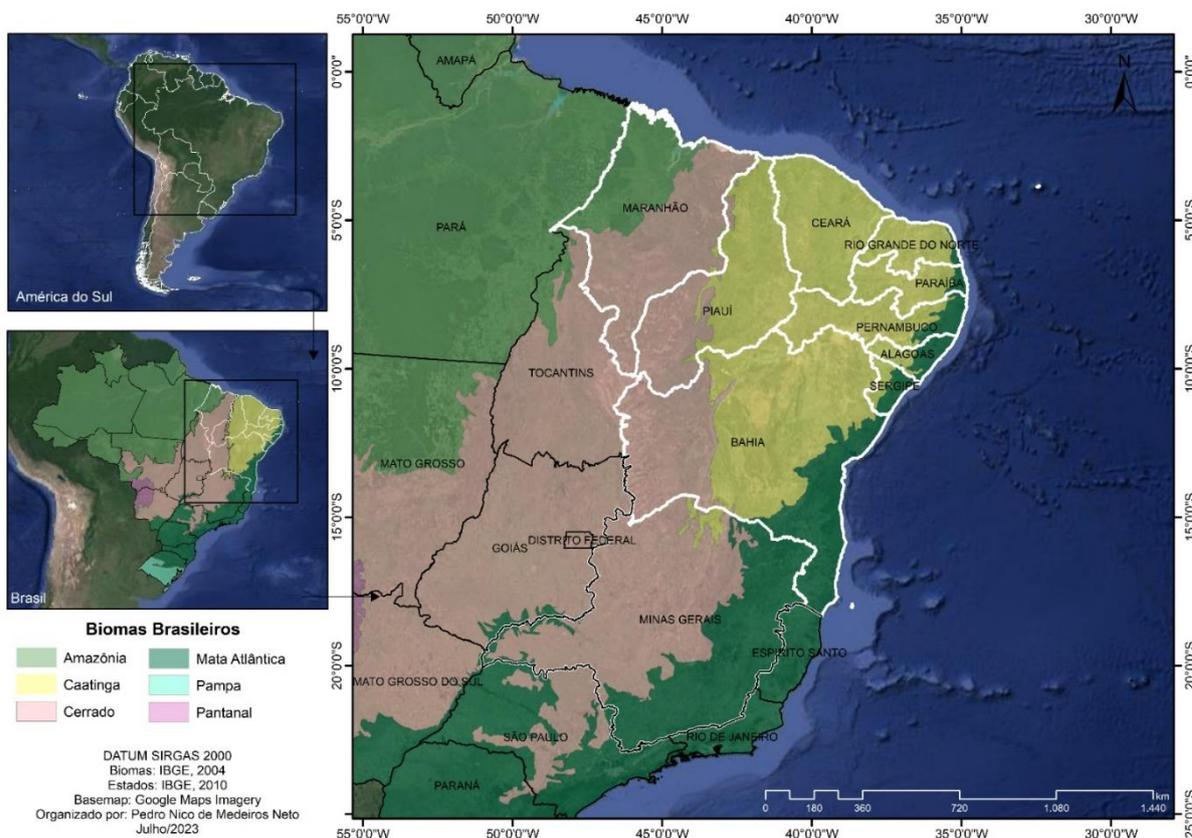
- Mensurar a porcentagem de cerne e alburno e determinar a densidade básica e as propriedades químicas da madeira das espécies;
- Examinar a alteração da resistência natural da madeira ao ataque de térmitas e fungos de podridão mole em duas posições radiais de amostragem;
- Correlacionar as propriedades das madeiras avaliadas com a sua durabilidade natural.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DOMÍNIO FITOGEOGRÁFICO DA CAATINGA

O domínio fitogeográfico ou ecomorfoclimático denominado Caatinga possui características climáticas extremas, apresentando períodos prolongados de estiagem, uma composição vegetal peculiar com espécies caducifólias. Em vista disso, existe uma ampla possibilidade de estudos sobre a funcionalidade das diversas espécies vegetais madeireiras, nativas ou exóticas da Caatinga (ALVAREZ *et al.*, 2012). Essa vegetação presente no bioma Caatinga ocupa uma área de aproximadamente 844.453 km², o equivalente a 9,9% do território brasileiro (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2023), conforme destacado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa dos biomas brasileiros com destaque para Caatinga.



Fonte: Adaptado do IBGE (2023).

Esse é um bioma exclusivamente brasileiro, sendo dentre todos os outros o menos conhecido, apesar de possuir uma elevada riqueza de ambientes e espécies.

Além disso, outro fator que demonstra sua importância mostra que esse bioma apresenta o clima de semiárido mais biodiverso da Terra (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2022).

Quanto à sua vegetação, esta possui características e aspectos adaptativos e expõe relevantes importâncias ecológicas, econômicas e sociais, sendo pesquisados os possíveis usos das espécies florestais na arborização urbana, forragem, produção de energia (carvão e lenha) e em construções civil e rural (MEDEIROS NETO; OLIVEIRA; PAES, 2014).

Essa composição florística possui diversas espécies arbóreas pertencentes às inúmeras famílias que são utilizadas de formas variadas na região semiárida, como o uso na alimentação humana e animal. Além disso, é empregada como matéria-prima na geração de energia (lenha e carvão vegetal) e elementos construtivos (PEREIRA *et al.*, 2019).

Entretanto, apesar da importância social do bioma para população do semiárido, informações apresentadas pelo MMA (2022) indicam que aproximadamente 27 milhões de pessoas vivem na área original da Caatinga, porém quase 80% dos seus ecossistemas originais já foram alterados, o que é ocasionado pelo desmatamento da vegetação nativa e incêndios, que prejudicam grande parte desta população que habita as áreas de Caatinga e utilizam os recursos florestais desse bioma (lenha, carvão vegetal, frutos, sementes, raízes, cascas, flores e folhas) para sua subsistência. Além disso, segundo observações do mesmo Ministério, 62% das áreas susceptíveis e expostas ao processo de desertificação no Brasil estão localizadas em regiões inicialmente ocupadas por Caatinga.

Entretanto, apesar de o uso dos recursos florestais ser importante para a população desse bioma quanto aos produtos madeireiros, estes precisam ser usados de forma racional e sustentável, com base em suas potencialidades e limitações. Assim, torna-se relevante obter dados e desenvolver propostas para avaliar, entender e potencializar as aplicações de cada espécie florestal, visando maximizar seu tempo de serviço e minimizar gastos (BATISTA *et al.*, 2022).

3.2 ESPÉCIES ESTUDADAS

3.2.1 *Combretum leprosum*

Essa espécie pertence à família Combretaceae, uma das famílias com maiores quantidades de indivíduos do gênero *Combretum*. Essa espécie é de origem nativa do Brasil, mas não é endêmica, com ocorrências em alguns domínios fitogeográficos: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga (GOMES, 2019; PEREIRA *et al.*, 2019; RIBEIRO; MARQUET; LOIOLA, 2023).

A espécie *Combretum leprosum* Mart. possui os nomes populares de vaqueta e mofumbo, sendo considerada um arbusto ou árvore de pequeno porte, de 2 a 4 m de altura, com caule lenhoso, liso, com coloração cinza-claro, muito ramificado, ramos longos e com a presença de nós (GOMES, 2019; PEREIRA *et al.*, 2019; COELHO, FARGNOLI; ROCHA, 2015) (Figura 2). Segundo os mesmos autores, sua madeira é pesada, apresenta textura grosseira, sendo utilizada na fabricação de tábuas, caixotaria, varas para construção de telhados e cercas, além do uso da lenha para a produção de carvão vegetal.

Figura 2 – Característica macroscópica da espécie *Combretum leprosum* Mart, com destaque para as características do tronco.



Fonte: Autora (2023).

Ao avaliarem diversas espécies da família Combretaceae no estado do Rio Grande do Norte, Sousa *et al.* (2018) destacaram que a *Combretum leprosum* é uma espécie pioneira, sendo encontrada principalmente na região Nordeste do Brasil e habita em grande parte a vegetação de Caatinga. Além disso, possui resistência às condições edafoclimáticas adversas da região semiárida (temperaturas elevadas e baixas precipitações pluviométricas), possui crescimento rápido e, em virtude dessa característica, é empregada para recuperação de áreas degradadas e arborização paisagística. Outras aplicações são na área medicinal (produtos fitoterápicos), produção de mel e forragem (LEAL *et al.*, 2020).

Segundo Sousa *et al.* (2018), essa espécie, no estado do Rio Grande do Norte, é distribuída de maneira ampla e, frequentemente, associada à vegetação de Savana Estépica em ambientes com presença ou ausência de afloramentos rochosos.

Outras características destacadas são o hábito arbustivo escandente, com flores presentes entre os meses de fevereiro a agosto, com hipanto superior alongado, pétalas arredondadas, além de inflorescências vistosas, posição axial(ais)/terminal(ais), com muitas flores amareladas de simetria actinomorfa, pequenas e perfumadas, possuindo na base das flores um tubo para armazenamento do néctar e, desta forma, garante a perpetuação da espécie pela característica de atrair abelhas nativas. Trata-se de uma espécie relativamente resistente e de crescimento rápido. Os frutos são do tipo drupa(s) com 4 ala(s), produzidos entre os meses de abril a agosto (SOUSA *et al.* 2018; RIBEIRO; MARQUET; LOIOLA, 2023).

3.2.2 *Erythroxylum pungens*

A espécie *Erythroxylum pungens* O. E. Schulz, popularmente conhecida como Rompe-gibão, pertence à família Erythroxylaceae, com 240 espécies conhecidas com distribuição pantropical (CORDEIRO; LOIOLA, 2018). Dentre os vernáculos, temos o arranca-estribo, candeia e estralador (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2023) e é encontrada em áreas de Caatinga hipo e hiperxerófila em solo arenoso, substrato calcário ou afloramentos graníticos (COSTA-LIMA; LOIOLA; JARDIM, 2014).

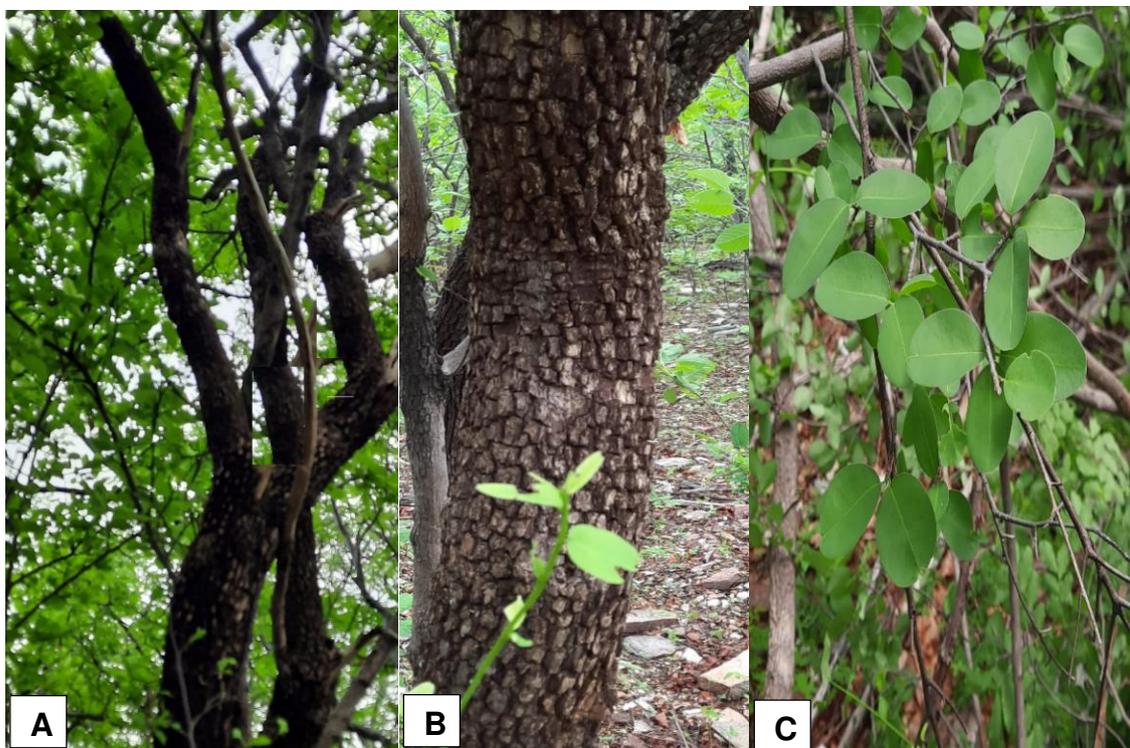
É uma espécie nativa, endêmica do Brasil, com ocorrência confirmada apenas na região Nordeste, abrangendo seis estados (Bahia, Ceará, Piauí, Paraíba, Rio

Grande do Norte e Pernambuco) e habita o domínio fitogeográfico Caatinga (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2023).

Dentre as características morfológicas, apresenta forma de vida arbustiva e arbórea, com altura variando de 1,5 a 3,0 metros (COSTA-LIMA; LOIOLA; JARDIM, 2014) (Figura 3), ramos com ritidoma liso, folhas oblonga a obovada membranáceas e base aguda, margem plana, ápice obtuso a retuso e estípulas pequenas, flores presentes dos meses de novembro até fevereiro, com frutos entre os meses de fevereiro a abril reconhecidos pela drupta enegrecida quando madura (COSTA-LIMA; LOIOLA; JARDIM, 2014; CORDEIRO; LOIOLA, 2018).

Um dos principais usos da espécie na região semiárida é a obtenção de madeira nos períodos secos, além de os frutos serem utilizados como fonte de alimento para determinadas espécies de aves e os galhos servirem como refúgio para os pássaros construírem seus ninhos para proteção e reprodução (MOREIRA, 2020).

Figura 3 – Característica macroscópica da espécie *Erythroxylum pungens*. A) galhos; B) tronco e C) folhas.

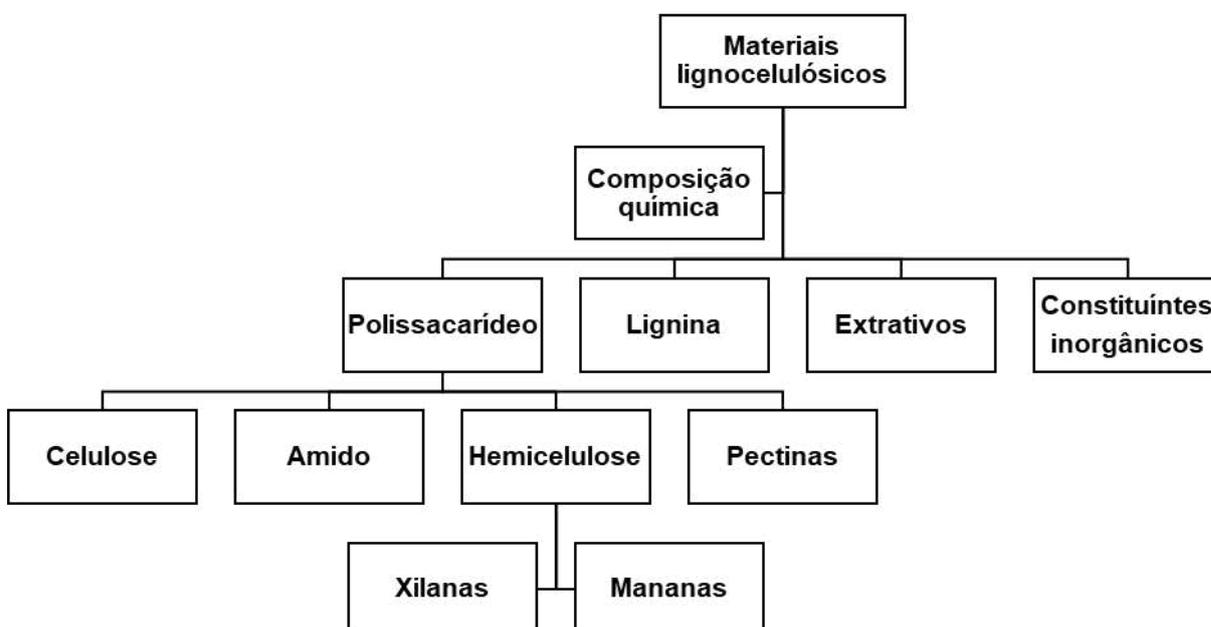


Fonte: Autora (2023).

3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A DURABILIDADE NATURAL

Para promover o uso correto e racional da madeira, é imprescindível determinar e quantificar suas propriedades físico-químicas, anatômicas e mecânicas. Quanto à composição química, segundo Pedrazzi *et al.* (2019), a madeira é um material polimérico, formado por células e diversos outros compostos, que formam os constituintes primários e secundários (Figura 4). Como constituintes fundamentais temos a celulose, hemiceluloses e lignina, responsáveis pela formação da parede celular e pela maioria de suas propriedades físico-químicas, ou seja, são intimamente ligados à estrutura da madeira; e os componentes secundários, com destaque para os extrativos (orgânicos) e minerais (inorgânicos), atuam diretamente na durabilidade natural da madeira ao ataque de agentes xilófagos.

Figura 4 – Fluxograma da composição química dos materiais lignocelulósicos.



Fonte: Adaptado de Klock e Andrade (2013).

Os metabólitos secundários (extrativos) atuam diretamente nas propriedades organolépticas da madeira, por exemplo, cor, cheiro, gosto, textura, brilho e grã. A cor é formada por substâncias corantes como resinas, gomas, gomas-resina, derivados tânico e outros corantes específicos presentes no interior das células lenhosas, que possuem características inseticidas e fungicidas, sendo a madeira de

cor escura mais durável quando exposta a ambientes onde o seu uso favorece a biodeterioração em relação à madeira com cerne de cor mais clara, embora esta também apresente proteção contra esses agentes (MORESCHI, 2012).

Conforme Pala (2007), a madeira é um material heterogêneo que está sujeito à degradação por alguns agentes, por exemplo, fungos e cupins, que se alimentam dela quando em condições favoráveis em relação à temperatura e à umidade apropriadas, por exemplo. Além disso, a composição química e física da árvore influencia na susceptibilidade ao ataque de agentes biodeteriorantes, uma vez que a alta concentração de substâncias fenólicas, taninos, resinas, ceras, gorduras, por exemplo, proporciona maior durabilidade, sendo esses componentes extrativos inibitórios do processo degradativo ou até mesmo tóxicos.

A lignina é um dos maiores polímeros constituintes da madeira, que, quando presente em altos níveis, resulta em uma maior durabilidade natural por proporcionar rigidez aos tecidos lenhosos das árvores (DANIEL, 2003).

3.4 AGENTES XILÓFAGOS

Os principais agentes biodeterioradores da madeira são os fungos, cupins ou térmitas, bactérias, besouros e brocas marinhas, sendo as térmitas a principal praga de insetos deterioradores de madeira, mas que provocam menos danos econômicos que os fungos em escala mundial (ARANGO; LEBOW; GLAESER, 2021). No entanto, é importante destacar que as térmitas não são apenas pragas. Elas, ecologicamente, desempenham papéis fundamentais tanto em ambientes naturais como em áreas urbanas, participando de processos que vão desde mudanças químicas e físicas no solo até a regeneração do solo degradado por lavouras, pastagens e jardins urbanos e madeira morta decomposta, auxiliando na circulação de nutrientes (OLIVEIRA, 2018).

Porém, a biodeterioração da madeira está relacionada à ação de agentes que a degradam e através disso usam seus constituintes como fonte de energia, alimento ou abrigo (VIVIAN *et al.*, 2014). Os fungos podem decompor totalmente ou apenas provocar manchas na madeira, já as térmitas são classificadas, dentre os insetos, como os principais responsáveis por provocar diversos danos à madeira e derivados (MOTTA *et al.*, 2013).

Quanto às térmitas (Classe Insecta, Ordem Blattodea), estas são divididas conforme as características de formações dos seus ninhos, sendo as de solo, em que a colônia se desenvolve em contato com o solo e matéria orgânica, as que representam um elevado risco de biodeterioração de peças de madeira em contato com o solo (FARIAS *et al.*, 2023). Porém, os mesmos autores destacam que a degradação biológica está relacionada principalmente à presença de água ou de umidade no solo, que promove um ambiente favorável para o ataque de fungos e também como acesso de térmitas à madeira.

Segundo Constantino (2020), na região Neotropical, há ocorrência de 107 gêneros de térmitas, que se distribuem em cinco famílias: Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae, Stolotermitidae e Termitidae, que representam 612 espécies. A família Termitidae possui o maior número de gêneros e espécies e é uma das principais responsáveis por perdas econômicas na região semiárida brasileira. Em adição, essa família possui aproximadamente 70% das espécies no mundo e 85% das espécies de térmitas conhecidas do Brasil, com hábitos alimentares variados, que incluem madeira, húmus, folhas e até líquens, com construção de ninhos grandes e complexos (CONSTANTINO, 2002).

Dentre as espécies que se alimentam principalmente de madeira, estão as do gênero *Nasutitermes* (*N. corniger* e *N. surinamensis*) que constroem suas colônias sobre árvores, porém também estão presentes no interior das residências e edículas (SOUZA *et al.*, 2022). Essas térmitas subterrâneas geralmente penetram na madeira a partir do solo ou através de conexões (túneis) que são construídas para atacar a madeira (SHMULSKY; JONES, 2011).

Quanto à região semiárida brasileira, as térmitas são os principais degradadores de madeira e utilizam os materiais lenhosos tanto como abrigo ou para obtenção de celulose quanto como fonte de alimento. Destaca-se o gênero *Nasutitermes*, que contempla o ataque a uma gama elevada de produtos madeireiros como móveis, batentes de portas e janelas e, principalmente, madeiras utilizadas nas estruturas em construções rurais ou urbanas (caibros, ripas e terças) (PAES *et al.*, 2013).

3.5 RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA E SUA AVALIAÇÃO

A resistência natural ou durabilidade natural da madeira é a capacidade de esta evitar a perda de massa durante um determinado intervalo de tempo em relação ao ataque dos agentes responsáveis pela deterioração biológica, como fungos, cupins ou até mesmo a combinação de ambos, como também a resistência a condições adversas a exemplo do intemperismo (TOMAZELI *et al.*, 2016).

Gouveia; Silveira e Garlet (2021) enfatizam que a durabilidade natural é uma propriedade inerente à resistência da madeira contra organismos biodeterioradores, proporcionada por combinação de fatores genéticos, características anatômicas e composição química, sendo seu conhecimento uma das principais preocupações relacionadas à aplicação da madeira em construções, devido às informações limitadas disponíveis e às incertezas quanto à vida útil do material. Além disso, Perrot *et al.* (2020) destacaram ainda que sua variação pode ser influenciada pelas condições geográficas em que as espécies se desenvolvem em resposta às variações das condições de exposição ambiental durante sua vida.

Assim, a durabilidade biológica é um fator importante na seleção de madeiras ou subprodutos madeireiros, influenciada pelo clima, projeto estrutural e as condições de uso, sendo fundamental para a previsão da vida útil do material em serviço (MARTÍN; LÓPEZ, 2023). E, dentre as propriedades físico-químicas intrínsecas da madeira essenciais para a sua resistência ao ataque de xilófagos, destacam-se a densidade e o teor de extrativos (PERROT *et al.*, 2020).

O estudo da durabilidade natural da madeira tem implicações no seu uso, uma vez que determina o tempo de vida útil e os custos de reposição das peças, em que madeiras naturalmente duráveis podem se tornar uma alternativa importante quando há preocupações com a segurança ambiental de preservativos de madeira (MENSAH *et al.*, 2022).

Nesse caso, cada espécie madeireira tem sua resistência inerente ao ataque de organismos xilófagos, mesmo que seja extremamente suscetível. Algumas espécies possuem uma maior resistência natural do que outras, sendo conveniente que sejam realizados estudos sobre essa propriedade nas espécies madeireiras menos conhecidas e/ou utilizadas, de forma a potencializar sua utilização (MEDEIROS NETO *et al.*, 2020; SADIKU *et al.*, 2021; MENSAH *et al.*, 2022). Essa

característica biodegradável da madeira a torna um material diferente em relação aos outros principais materiais de construção como plástico, vidro, concreto e metais.

Quanto às espécies utilizadas na Caatinga para fins estruturais, Silveira *et al.* (2019) destacaram que essa vegetação do bioma Caatinga é um dos biomas brasileiros com uma menor quantidade de estudos científicos relacionados ao uso da madeira, apesar de a população da região utilizar diariamente seus recursos florestais como lenha ou nas construções de cercas e abrigos. Assim, a utilização de espécies com maior resistência natural da madeira aos agentes xilófagos seria essencial para o aumento do seu valor agregado, que é influenciado pela elevada variabilidade dentro e entre as árvores entre regiões do diâmetro e idade das árvores.

Em uma peça de madeira, pode ser encontrada ampla variabilidade da resistência natural, o que depende da posição avaliada, como a região da medula, cerne da parte interna, cerne externo, região de transição com o alburno e porção referente ao alburno (PAES *et al.*, 2007b), conforme demonstrado no Quadro 1, espécies e suas respectivas perda de massa para alburno e cerne, frente ao ataque de organismos biodeterioradores.

Quadro 1 – Resistência natural da madeira a térmitas subterrâneas de espécies nativas de ocorrência no Bioma Caatinga.

Espécie	Ensaio biológico	Perda de massa (%)		Autor
		Alburno	Cerne	
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Preferência alimentar	0,90	0,77	Paes <i>et al.</i> (2013)
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Alimentação forçada	1,22	0,23	Paes <i>et al.</i> (2003)
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Alimentação forçada	2,20	0,47	Paes <i>et al.</i> (2003)
<i>Mimosa tenuiflora</i>	Preferência alimentar	3,77	2,54	Paes <i>et al.</i> (2007a)
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	Alimentação forçada	4,53	2,13	Alencar <i>et al.</i> (2011)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Alimentação forçada	6,31	1,55	Paes <i>et al.</i> (2003)
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	Preferência alimentar	6,38	2,05	Paes <i>et al.</i> (2007a)
<i>Cordia trichotoma</i>	Preferência alimentar	7,75	3,61	Paes <i>et al.</i> (2007a)
<i>Croton sonderianus</i>	Preferência alimentar	10,58	7,19	Paes <i>et al.</i> (2007a)
<i>Amburana cearensis</i>	Alimentação forçada	12,75	4,25	Paes <i>et al.</i> (2003)
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	Alimentação forçada	13,30	1,94	Paes <i>et al.</i> (2003)

<i>Tabebuia aurea</i>	Preferência alimentar	15,01	15,86	Paes <i>et al.</i> (2013)
<i>Amburana cearensis</i>	Preferência alimentar	50,77	17,54	Paes <i>et al.</i> (2013)

Além disso, a decomposição natural da madeira é afetada pelas diferentes características dos preservativos naturais conhecidos como extrativos, o tipo de agente xilófago responsável pelo ataque e as condições de exposição do material (CLAUSEN, 2010). Esses compostos, em geral, em concentrações mais elevadas proporcionam maior durabilidade do material lenhoso, podendo ser tóxicos para os microrganismos, inibitórios do processo degradativo e exercer um efeito antioxidante (PALA, 2007).

Assim, uma mesma peça de madeira pode ter resistência natural diferenciada em relação a cerne e alburno, por exemplo, sendo que a deterioração aumenta a partir do câmbio para a região de transição entre cerne e alburno e diminui em direção à medula, resultante provavelmente do reflexo de desintoxicação biológica ou oxidação natural de extrativos presentes no cerne, com a polimerização contínua de extrativos que produzem compostos menos tóxicos (MENSAH *et al.*, 2022).

Porém, para conferir resistência à biodeterioração, os extrativos devem possuir propriedades antioxidantes e antifúngicas. No entanto, o cerne de muitas espécies madeireiras não possui extrativos com essas propriedades ou em níveis mais baixos, quando comparadas com espécies que apresentam boa durabilidade natural e também o alburno de todas as espécies florestais, praticamente, é susceptível à biodeterioração (LEBOW, 2010).

Na avaliação da resistência natural da madeira e da susceptibilidade ao ataque de agentes xilófagos, utiliza-se uma variedade de protocolos e testes, sejam em laboratório ou em condições naturais (MARTÍN; LÓPEZ, 2023; GOUVEIA; SILVEIRA; GARLET, 2021).

Os resultados são obtidos por diferentes métodos de avaliação, com ênfase nos visuais, avaliação microscópica, determinação da perda de massa, além da resistência mecânica, capazes de estimar o grau de apodrecimento da madeira ao ataque de agentes xilófagos (RÂBERG *et al.*, 2005).

A perda de massa da madeira posterior ao ataque de agentes xilófagos é uma das principais medidas objetivas na avaliação da durabilidade natural de produtos madeireiros em laboratório, tanto pela facilidade de realização e os baixos custos

para os ensaios serem instalados. Além disso, para a escolha adequada de uma madeira com alta resistência natural ao ataque de agentes xilófagos, devem-se considerar suas características físico-químicas, que estabelecem o padrão para a condução de qualquer estudo tecnológico (MEDEIROS NETO *et al.*, 2022).

Além disso, Mensah *et al.* (2022) e Farias *et al.* (2023) destacaram que, para efetiva promoção e utilização de espécies madeireiras naturalmente duráveis, suas propriedades tecnológicas devem ser avaliadas a fim de determinar seu valor comercial.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ESPÉCIES MADEIREIRAS ESTUDADAS

A pesquisa avaliou a resistência natural da madeira das espécies Mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.) e Rompe gibão (*Erythroxylum pungens* O. E. Schulz) ao ataque de térmitas e fungos de podridão mole em ensaios de laboratório. Vale salientar que essas espécies são comumente encontradas no semiárido brasileiro e são utilizadas para fins estruturais em construções rurais e urbanas.

Como padrão de comparação, foi avaliada a durabilidade natural da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) nos ensaios biológicos com térmitas, madeira considerada de baixa resistência natural (PAES *et al.*, 2012). Para isso, foram obtidos pranchões com dimensões de 3,5 cm de espessura e 200 cm de comprimento em uma marcenaria localizada no município de Patos, estado da Paraíba-PB, Brasil.

4.2 AMOSTRAGEM DA MADEIRA

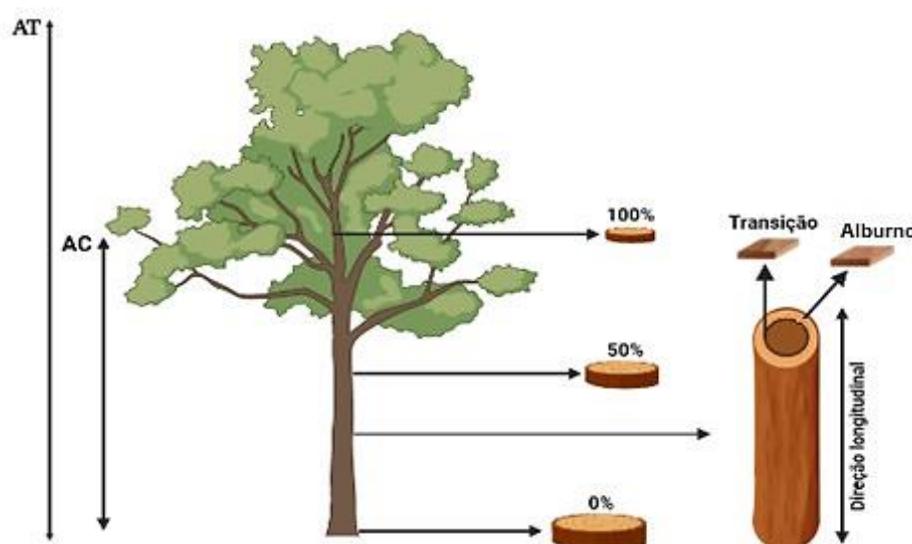
O município de São Mamede, no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil, dista 22 Km da cidade de Patos-PB que é a mais desenvolvida da região e onde ocorreu o desenvolvimento desta pesquisa. O município de Patos está localizado na mesorregião do sertão paraibano e possui uma população estimada de 108.192 habitantes, distribuído em área territorial de 473,056 km² (IBGE, 2020). Patos é a 5^a cidade polo do estado da Paraíba, considerando sua grande importância socioeconômica e tem como principal atividade econômica o comércio do polo calçadista (PARAÍBA, 2023).

O município, por sua vez, está inserido no semiárido brasileiro, região caracterizada por precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; índice de aridez de até 0,5 e risco de seca, de um ano para o outro, maior que 60%.

Foram coletadas aleatoriamente, no município de São Mamede-PB, cinco árvores por espécie, considerando o diâmetro médio da espécie na área de vegetação nativa e com uma boa fitossanidade. Por serem indivíduos obtidos em florestas nativas, as idades são desconhecidas.

De cada árvore foi retirado um disco de madeira com 5,0 cm de espessura, nas posições de 0 (base), 50 e 100% da altura comercial (Figura 5), considerada a altura utilizável até 5,0 cm de diâmetro e medidos os diâmetros com e sem casca nestas posições para o cálculo do volume de madeira pela equação de *Smalian*.

Figura 5 – Amostragem da madeira para determinação da densidade básica, análise química e realização de ensaios biológicos. AT = Altura total e AC= Altura comercial.



Fonte: Autora (2023).

Posteriormente, as amostras coletadas foram transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (LTPF) da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal (UAEF), do Centro de Saúde e Tecnologia Rural (CSTR), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Patos, Paraíba, para a realização das análises físico-químicas e ensaios biológicos com térmitas, fungos de podridão mole e simulador de campo das madeiras.

Os discos foram subdivididos em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula. Duas destas, diametralmente opostas, foram utilizadas para a determinação da massa específica básica e as outras duas, para as análises químicas da madeira.

Para a realização dos ensaios biológicos em laboratório com fungos de podridão mole e térmitas, foi utilizado um torete de 1,50 m obtidas da primeira seção de cada árvore (Figura 5). Para esses ensaios, foram feitas amostragens em duas

posições na direção medula-casca do tronco (alburno e região de transição, contendo cerne e alburno), em virtude do diâmetro das espécies estudadas.

Para os experimentos com fungos e térmitas, foram utilizadas 10 repetições para cada posição, totalizando 20 amostras para cada espécie estudada. As amostras foram lixadas para eliminar defeitos e secas em estufa à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante, pesadas em balanças de 0,01g de precisão e destinadas à montagem dos ensaios biológicos.

De cada espécie, foram retirados corpos de prova em duas posições (transição e alburno) com as seguintes dimensões: 0,64 x 2,54 x 2,00 cm (radial x longitudinal x tangencial) em ensaio de alimentação forçada; 2,00 x 10,16 x 0,64 cm (radial x longitudinal x tangencial) em ensaio de preferência alimentar; 0,50 x 3,00 x 1,50 cm (radial x longitudinal x tangencial) para o ensaio de podridão mole e de 0,50 x 15,00 x 1,50 cm para o ensaio em simulador de campo.

Na avaliação da capacidade de biodeterioração das térmitas, foram utilizados, nos ensaios biológicos, corpos de prova com madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaaert.), por ser de baixa resistência natural ao ataque de térmitas (PAES *et al.*, 2011). As peças de madeira dessa espécie foram adquiridas em marcenaria localizada no município de Patos-PB.

4.3 RELAÇÃO CERNE: ALBURNO DAS ESPÉCIES

A determinação da relação cerne: alburno (C:A) de cada árvore foi realizada nos discos seguindo os preceitos descritos por Evangelista (2007) e Silva (2018). Em cada disco, foi determinada visualmente a região limitante entre o cerne e alburno, com auxílio de uma lupa com aumento de 10x. Posteriormente, foram delineadas duas retas perpendiculares, passando pela medula de aresta igual ao diâmetro, bem como a região limítrofe com o uso de régua de aço graduada em milímetros. A relação C:A foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$C:A = \frac{Dc^2}{D^2 - Dc^2} \quad (1)$$

Em que: C:A - relação cerne: alburno; Dc: diâmetro do cerne (cm); e D: diâmetro sem casca do disco (cm).

4.4 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

O volume do corpo de prova e das cunhas foi medido de acordo com o método da balança hidrostática. Para a determinação da massa específica básica de cada árvore, utilizou-se a média ponderada ao considerar o volume entre as seções de onde foram retirados os discos como fator de ponderação (VITAL, 1984), de acordo com as especificações da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003).

Posteriormente, foi realizada uma amostragem dos discos remanescentes de cada árvore. Tais discos foram transformados em palitos e posteriormente em serragem em moinho do tipo *Willey* para a realização da análise química da madeira.

A serragem utilizada foi a que passou pela peneira de 40 e ficou retida na de 60 *mesh*, sendo condicionada à umidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Dessa forma, a determinação da massa absolutamente seca das amostras foi realizada de acordo com a *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* - TAPPI-T 264 om - 88 (1996). O teor de extrativos totais da madeira foi efetuado segundo a *American Society for Testing and Materials* - ASTM D-1105 (2021).

A determinação do teor de cinzas ou minerais da madeira foi efetuada segundo as determinações técnicas da ASTM D-1102 (2021).

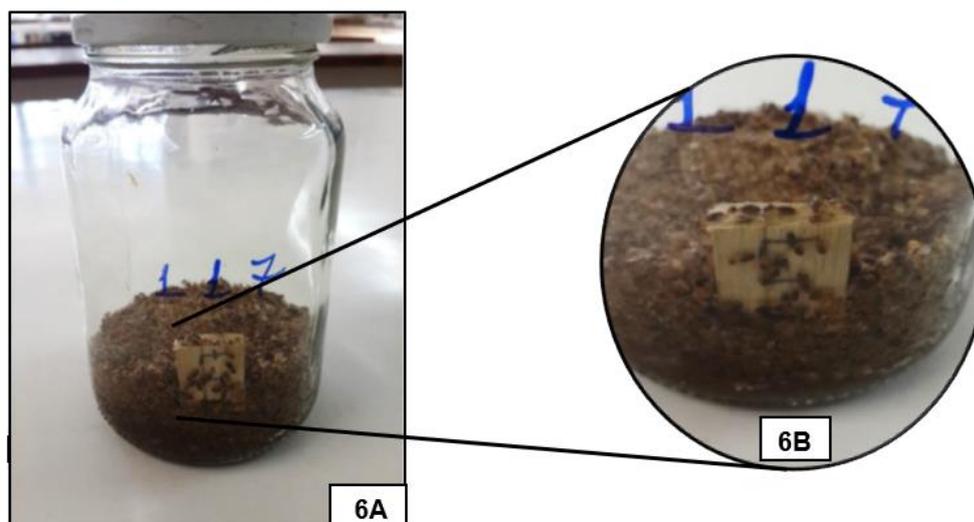
4.5 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS E FUNGOS DE PODRIDÃO MOLE

4.5.1 Ensaios de alimentação forçada e preferência alimentar com térmitas Subterrâneos

A resistência natural das espécies aos agentes xilófagos foi avaliada efetuando ensaios laboratoriais com térmitas. Para isso, as colônias das térmitas foram obtidas no horto florestal, pertencente a UFCG, no CSTR, Campus de Patos, Paraíba. No ensaio de alimentação forçada e preferência alimentar, foi utilizada a espécie *Nasutitermes corniger*. Esse ensaio foi realizado de acordo com a metodologia da *American Society for Testing and Materials* ASTM D-3345 (2008).

Neste ensaio, foi adicionado em cada frasco um corpo de prova e $1 \pm 0,05$ g de térmitas, o que correspondeu a ± 260 térmitas, na proporção de 90% de operários e 10% de soldados (proporção existente na colônia) (Figura 6).

Figura 6 – Ensaio de alimentação forçada com térmitas. 6A - Frasco de vidro com areia, amostra de madeira e térmitas; 6B - Detalhe das térmitas de *Nasutitermes corniger* em contato com a madeira.



Fonte: Autora (2023).

O ensaio permaneceu em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa) durante 28 dias e, após esse período, foi avaliada a durabilidade natural das madeiras em função da perda de massa (%), desgaste (nota) dos corpos de prova e mortalidade das térmitas (%) (Tabela 1).

Tabela 1 – Avaliação do desgaste nos corpos de prova e da mortalidade das térmitas.

Tipos de Desgaste	Nota
Sadio, permitindo escarificações superficiais	10
Ataque superficial	9
Ataque moderado, havendo penetração	7
Ataque intenso	4
Falha, havendo ruptura dos corpos de prova	0
Mortalidade	(%)
Baixa	0 - 33
Moderada	34 - 66
Alta	67 - 99
Total	100

Fonte: Adaptado de ASTM D - 3345 (2008).

Para o ensaio de preferência alimentar, a colônia foi disposta sobre uma grelha de 30 x 40 cm, sustentada por dois tijolos de oito furos apoiados sobre a camada de areia presente na caixa, conforme metodologia descrita por Paes *et al.* (2007a; 2010) (Figura 7A e 7B).

Figura 7 – Ensaio de preferência alimentar para as madeiras *Combretum leprosum* e *Erythroxylum pungens*. 7A- Colônia de térmitas; 7B- Distribuição dos corpos de prova.



Fonte: Autora (2023).

As amostras ficaram expostas à ação das térmitas durante 45 dias em uma sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa). Elas ficaram dispostas em uma caixa com capacidade de 250 litros, contendo uma camada de ± 10 cm de areia úmida. A caixa ficou apoiada sobre quatro blocos cerâmicos colocado em bandejas de plástico de 26 x 35 x 4,5 cm (PAES *et al.*, 2007a; 2010).

As amostras foram fixadas, tendo a metade do seu comprimento soterrada na areia e distribuídas em delineamento em blocos casualizados com arranjo fatorial, com 05 repetições por posição no sentido medula-casca e 2 tratamentos (espécies), mantendo um espaçamento de 4,5 x 6,0 cm entre amostras (Figura 7B).

Posteriormente, as amostras foram limpas com uma escova de cerdas macias para retirar o excesso de areia e excrementos, secas em estufa a 103 ± 2 °C até atingirem massas constantes e estimadas a perda de massa (%) e o desgaste (nota).

Estas notas foram atribuídas por três avaliadores, de maneira individual, em função da atividade biológica ocorrida nas amostras, seguindo a ASTM D-3345 (2008).

4.5.2 Ensaio de resistência natural aos fungos de podridão mole

O ensaio com fungos de podridão mole seguiu as recomendações do método do Instituto de Pesquisas e Tecnológicas/Divisão de Madeiras IPT/DIMAD D-5 (1980). O ensaio foi montado em frascos de 600 ml, preenchidos com 300 g de solo orgânico (Horizonte A, Tabela 2), proveniente de uma área de floresta nativa, localizada no município de Patos-PB, tendo sua umidade ajustada para 80% da capacidade de retenção para a madeira de folhosas, pela adição de água destilada.

Tabela 2 – Análise química do solo retirado na fazenda Nupeárido no município de Patos - PB.

Perfil do solo	pH	P ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	K	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	CTC	V
	CaCl ₂ 0,01M	Mg dm ⁻³					cmolc dm ⁻³		%
A	4,7	4,0	3,0	1,0	0,29	1,2	2,6	8,09	67,9
B	4,4	1,7	4,1	1,3	0,21	0,30	2,0	7,91	74,7

Em que: A:0 - 10 cm de profundidade; B:10 - 20 cm de profundidade; pH: potencial hidrogeniônico; P: fosforo; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; Na: sódio; H:hidrogênio; Al: alumínio; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Índice de saturação de bases.

Após o preparo dos frascos, foram adicionadas duas amostras, permanecendo por 120 dias em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa). A avaliação do ensaio foi realizada com base na perda de massa, sendo corrigida em função das amostras soterradas em solo esterilizado.

4.5.3 Ensaio em simulador acelerado de campo

Para montagem dos simuladores de campo, foram seguidas as recomendações de Vinden *et al.* (1982), Paes *et al.* (2000; 2009) e da *American Wood Preservers' Association* - AWP - E14 (2014). O simulador foi montado em caixa de madeira com dimensões de 60 x 60 x 50 cm (menor dimensão na direção da largura) e mantidos em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa) (Figura 9A e 9B).

Figura 9 – Ensaio em simulador acelerado de campo. 9A - Caixa de madeira; 9B - Disposição dos corpos de prova das espécies avaliadas.



Fonte: Autora (2023).

Para o preenchimento do simulador, foram utilizados cascalhos e solos provenientes de uma área de floresta nativa, localizada no município de Patos, PB. Os primeiros 15 cm da caixa foram preenchidos com cascalho e completada com os respectivos solos, tendo o horizonte B uma altura de 25 cm e o horizonte A de 10 cm. Neste ensaio, foram utilizadas miniestacas que foram parcialmente soterradas (2/3 do comprimento) e aleatoriamente distribuídas no simulador (Figura 9B). Além disso, foram coletadas amostras nos dois horizontes para realização da análise das características químicas do solo, conforme demonstrado na Tabela 2.

O simulador foi mantido umedecido com água semanalmente para manter a umidade próxima à capacidade de campo dos solos empregados, controlada por meio dos quatro orifícios, utilizados para a drenagem, conforme descrito por Medeiros Neto *et al.* (2020).

O experimento foi avaliado após 180 dias da instalação por meio da determinação da perda de massa, após as amostras permanecerem em estufa a 103 ± 2 °C até atingirem massa constante. Na avaliação do estado de sanidade (intensidade do ataque por agentes deterioradores), foram utilizadas as indicações de Becker (1972), expostas na Tabela 3.

Tabela 3 – Critérios para avaliação das miniestacas de madeira no ensaio de simulador de campo.

Estado de sanidade	Nota	Índice de Comportamento
Sadio	0	100
Ataque incipiente	1	90
Ataque moderado	2	70
Ataque intenso	3	40
Quebra	4	0

Fonte: Becker (1972).

4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICA DOS DADOS

O delineamento inteiramente casualizado foi adotado para avaliar a massa específica da madeira entre as espécies. Para avaliação do teor de extrativos e cinzas e da resistência natural das madeiras, no ensaio com térmitas de alimentação forçada e fungos de podridão mole, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial, sendo analisados os fatores espécies (três níveis) e posições de amostragem (dois níveis), bem como a interação entre os fatores. No ensaio de preferência alimentar às térmitas e de simulador acelerado de campo, foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com arranjo fatorial, em que foram avaliados os mesmos fatores anteriormente citados.

Para possibilitar a análise estatística, os dados de perda de massa e mortalidade das térmitas foram transformados em $\arcsen \sqrt{x/100}$, enquanto os de desgaste e tempo em dias para a morte das térmitas foram transformados em $\sqrt{x} + 0,5$. Estas transformações, sugeridas por Steel e Torrie (1980), devem ser utilizadas no caso da necessidade de normalizar a distribuição dos dados (teste de Lilliefors) e homogeneizar as variâncias (teste de Cochran e Bartellett). Para os fatores e interações detectados como significativos pelo teste de F ($p \leq 0,05$), utilizou-se o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A relação funcional entre as variáveis estudadas foi analisada por meio da matriz de Correlação Linear de Pearson ($p \leq 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DIMENSÕES DAS ÁRVORES, DO CERNE, ALBURNO E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

A madeira de *Combretum leprosum* exibiu menores valores em relação à diâmetro à altura do peito (DAP), o volume comercial e massa específica básica que a espécie *Erythroxylum pungens* (Tabela 4).

Tabela 4 – Variáveis dendrométricas, cerne e alburno e massa específica básica das madeiras de *Combretum leprosum* e *Erythroxylum pungens*.

Espécies avaliadas	Características Dendrométricas			
	Altura Comercial (m)	DAP (cm)	Volume (m ³)	
<i>C. leprosum</i>	4,5	6,93	0,012	
<i>E. pungens</i>	3,5	7,97	0,015	
Cerne/Alburno e Massa Específica Básica (MEB)				
	Cerne (%)	Alburno (%)	Relação cerne: alburno	MEB (g cm ⁻³)
<i>C. leprosum</i>	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado	0,697 b
<i>E. pungens</i>	66,88	33,12	1,09	0,758 a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si (Tukey; $p \geq 0,05$).

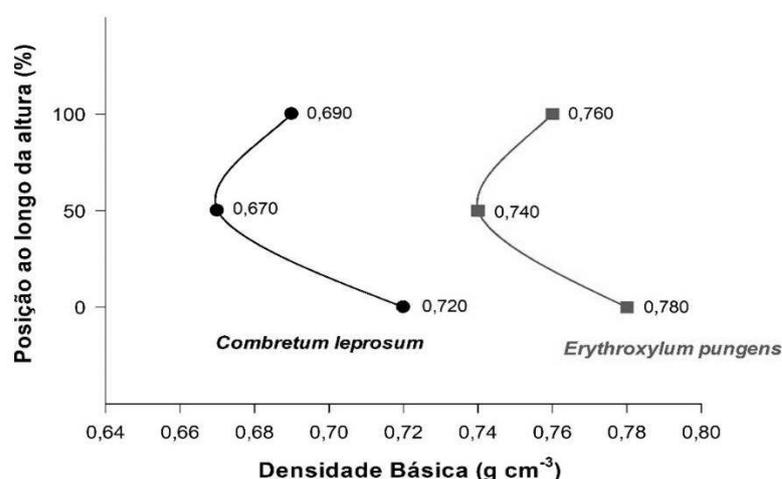
Machado Neto *et al.* (2015), ao avaliarem a madeira de sete espécies da Caatinga no município de Coremas - PB, com idades desconhecidas, os valores da massa específica básica variaram de 0,37 a 1,11 g cm⁻³, com a *C. leprosum* exibindo resultado de 1,05 g cm⁻³. Em comparação ao valor verificado na presente pesquisa, essa disparidade ocorreu provavelmente em função da idade e das condições edafoclimáticas de cada região. Medeiros Neto (2017) enfatiza que essas diferenças de massa específica básica acontecem entre gêneros e espécies e até mesmo entre árvores da mesma espécie.

Madeiras com maiores valores de massa específica básica, em geral, possuem elevada resistência ao ataque de agentes xilófagos, principalmente, os fungos, ao apresentarem menores espaços vazios e paredes mais espessas, que dificultam o movimento das hifas através da parede celular. Quanto ao ataque pela térmita *Nasutitermes corniger*, Batista *et al.* (2020) destacaram que as madeiras com maior massa específica básica exibiram menores perdas de massa, ao avaliarem a

madeira de seis espécies florestais provenientes de diferentes estabelecimentos madeireiros localizados no município de Patos–PB.

Quanto à variabilidade da massa específica básica média ao longo da altura comercial das árvores de *Combretum leprosum* e *Erythroxylum pungens*, observou-se que (Figura 11) as madeiras apresentaram tendência semelhante na variação da massa específica básica ao longo da altura; os maiores valores foram observados na base das árvores, com posterior redução na metade do tronco e aumento dessa variável no topo das espécies, porém inferior ao observado na base.

Figura 11 – Variabilidade ao longo do fuste da massa específica básica das madeiras de *Combretum leprosum* e *Erythroxylum pungens*.



Fonte: Autora (2023).

A variação da massa específica básica ao longo da altura não segue um padrão definido nas espécies florestais, sendo que pode ocorrer uma redução, acréscimo ou diminuição em alguma posição na altura do fuste, ou condição contrária com aumento, redução ou aumento dessa variação no sentido vertical da árvore. Além disso, nenhuma alteração conforme a altura da árvore também pode ocorrer. Segundo Medeiros Neto (2017), provavelmente, essas alterações estão relacionadas às características particulares de cada indivíduo, mudanças edafoclimáticas da região de coleta, além da metodologia aplicada para obtenção das amostras de madeira.

A espécie *E. pungens* exibiu maior quantidade de cerne em relação ao alburno. Segundo Pereira *et al.* (2013), as espécies com maiores quantidades de cerne são frequentemente mais utilizadas em construções civis e indústrias moveleiras por serem mais resistentes ao ataque de agentes xilófagos.

Essa maior resistência da madeira do cerne é resultante da presença de metabólitos secundários, conhecidos como extrativos, que inibem o crescimento fúngico e proporcionam maior durabilidade ao ataque de térmitas (PAULA; BRIOSO, 2021), sendo considerados tóxicos para microrganismos, dificultando os processos de degradação do lenho (JÓIA *et al.*, 2006; PALA, 2007). A proporção de cerne dentro das espécies, provavelmente, está relacionada com o controle genético, condições ambientais e técnicas de manejo (MARTÍN; LÓPEZ, 2023).

Em relação à espécie *C. leprosum*, os valores foram indeterminados para os teores de cerne e alburno, pois não foi possível distinguir, macroscopicamente, a diferenciação entre os tecidos.

5.2 PERCENTUAIS DE EXTRATIVOS E CINZAS DA MADEIRA

Em relação aos percentuais de extrativos em álcool – tolueno –, pode ser observado que as espécies *C. leprosum* e *E. pungens* foram estatisticamente semelhantes na região de transição, diferenciando da madeira de *C. pentandra*, utilizada como padrão nos ensaios biológicos, que exibiu os menores valores de extrativos em ambas as posições analisadas (Tabela 5). Para a região do alburno, a madeira de *E. pungens* apresentou o maior valor de extrativos.

Já para as posições estudadas, a espécie *E. pungens* foi a única que apresentou diferença estatística entre a região de transição e alburno, onde evidenciou o maior resultado em média na região correspondente ao alburno.

Tabela 5 – Teores de extrativos em álcool: tolueno e de cinzas das madeiras de *Combretum leprosum*, *Erythroxylum pungens* e *Ceiba pentandra*.

Espécies	Extrativos Álcool: Tolueno (%)		Cinzas (%)
	Transição	Alburno	
<i>Combretum leprosum</i>	6,600 Aa	5,800 Ba	0,975 B
<i>Erythroxylum pungens</i>	5,430 ABb	7,550 Aa	1,375 A
<i>Ceiba pentandra</i>	3,830 Ba	4,080 Ca	1,00 B
Posições avaliadas			Transição 1,167 a
			Alburno 1,067 b

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na vertical, ou minúscula, na horizontal, não diferem entre si (Tukey; $p \geq 0,05$).

A presença destes compostos secundários, principalmente no cerne, contribui diretamente na durabilidade natural das madeiras ao ataque de agentes xilófagos, sendo mais durável que o alburno, por causa de uma maior concentração de elementos com característica inseticida e fungicida. Nesse caso, a madeira de *C. pentandra* estará mais susceptível à biodeterioração por possuir os menores resultados em ambas as posições analisadas. No entanto, Martín; López (2023) destacaram que a natureza química dos extrativos presentes na madeira pode ser mais importante do que a quantidade de extrativos, pois a resistência natural é influenciada pela presença de compostos fenólicos, que incluem várias moléculas complexas como a lignina, taninos, estilbenos, quinonas e flavonoides.

No que se refere ao gênero *Erythroxylum*, Restrepo *et al.* (2019) enfatizaram que outras espécies do gênero, como a *Erythroxylum coca* e *Erythroxylum novogranatense*, possuem diversos compostos fenólicos e alcaloides, componentes importantes que promovem uma maior resistência natural da madeira ao ataque de agentes xilófagos. Além disso, a importância dos extrativos de natureza fenólica na eficiência contra a biodeterioração de materiais lignocelulósicos é resultante da eliminação de radicais e oxigênio ativo, que incluem oxigênio singleto, radicais livres e hidroxilas, que promovem uma maior eficácia no ataque das enzimas oxidativas fúngicas a madeira (MARTÍN; LÓPEZ, 2023).

Quanto aos teores de cinzas nas madeiras avaliadas, não foi observada uma interação significativa entre espécie e posição estudada. Quanto às espécies, a *E. pungens* exibiu o maior valor, sendo estatisticamente diferentes das demais, que exibiram resultados semelhantes. Quanto às posições, a região de transição exibiu o maior resultado. Compostos inorgânicos (minerais), principalmente dióxido de silício ou sílica (SiO_2), presentes nas cinzas de algumas espécies florestais, podem dificultar ou mesmo impedir o ataque de insetos à madeira, por causa do desgaste do seu aparelho bucal. Neste caso, ao analisar os teores de cinzas, a espécie *E. pungens* poderá apresentar maior resistência ao ataque das térmitas que as demais madeiras avaliadas.

5.3 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS E FUNGOS XILÓFAGOS

5.3.1 Ensaios com térmitas xilófagos

Houve interação significativa entre espécies e posição de amostragem para a perda de massa e desgaste da madeira no ensaio de preferência alimentar com térmitas. Contudo, as maiores perdas de massas foram observadas para a espécie *Ceiba pentandra*, utilizada como controle, dada a sua baixa resistência natural (PAES *et al.*, 2012) (Tabela 6).

Tabela 6 – Perda de massa e desgaste causado pelas térmitas nas madeiras de *Combretum leprosum*, *Erythroxylum pungens* e *Ceiba pentandra* e posições de amostragem no ensaio de preferência alimentar.

Espécies	Perda de massa (%)		Desgaste (notas)	
	Transição	Alburno	Transição	Alburno
<i>Combretum leprosum</i>	10,26 Ba	10,77 Ba	5,80 Ba	5,47 Aa
<i>Erythroxylum pungens</i>	1,03 Cb	15,33 Ba	9,00 Aa	5,53 Ab
<i>Ceiba pentandra</i>	94,27 Aa	81,29 Aa	1,40 Ca	0,73 Ba

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na vertical, ou minúscula, na horizontal, não diferem entre si (Tukey; $p \geq 0,05$).

Quanto à espécie *E. pungens*, foi a menos susceptível ao ataque das térmitas na posição de transição (1,03%). Quanto à região do alburno, as madeiras de *C. leprosum* e *E. pungens* foram estatisticamente semelhantes. Em relação às posições analisadas, apenas a madeira *E. pungens* exibiu diferença significativa entre ambas, com maiores perdas de massas para a região de alburno (Tabela 6).

Essa alteridade de resistência natural provavelmente ocorreu, pois o teor de extrativos tende a aumentar da medula em direção ao cerne externo e atinge um valor máximo na zona de transição (contendo cerne e o alburno) (MARTÍN; LÓPEZ, 2023). Assim, à medida que a árvore envelhece, o conteúdo de extrativos aumenta e a suscetibilidade a biodegradação tende a diminuir. Além disso, a *E. pungens* apresentou os maiores teores de cinzas na região de transição da madeira (Tabela 5). Maiores teores de minerais impedem ou dificultam o consumo da madeira por térmitas em virtude do desgaste ocasionado ao seu aparelho bucal (MEDEIROS NETO *et al.*, 2022).

No entanto, apesar de a região do alburno possuir maiores teores de extrativos para a espécie *E. pungens* (Tabela 5), ela foi menos resistente ao ataque das térmitas. Assim, a natureza química dos extrativos presentes na madeira pode ser mais importante do que a quantidade (MEDEIROS NETO *et al.*, 2022; MARTÍN; LÓPEZ, 2023). Mensah *et al.* (2022) ainda enfatizam que a resistência natural da

madeira exibida por algumas espécies é resultante da presença de compostos extrativos na região do cerne e estes em quantidades suficientes previnem ou minimizam a severidade do ataque por agentes xilófagos. No entanto, a sua toxicidade varia dentro e entre as espécies conforme suas propriedades químicas.

Para o desgaste, a madeira de *E. pungens* apresentou as maiores notas em ambas as posições avaliadas, não diferenciando estaticamente da madeira de *C. leprosum* na região de alburno (Tabela 6). A espécie *Ceiba pentandra* exibiu as menores notas para as duas posições estudadas. Neste caso, quanto menor as notas, piores os índices qualitativos, e os resultados seguiram a tendência relatada anteriormente para a perda de massa, pois essa avaliação visual expressa a intensidade do ataque realizado pelas térmitas na madeira. Segundo Martín; López (2023), as térmitas tendem a evitar consumir madeiras com altas concentrações de extrativos e minerais.

No tocante ao ensaio de alimentação forçada, ocorreu interação significativa entre os fatores (espécie x posição) para a variável perda de massa e mortalidade, com ausência de interação para o desgaste (Tabela 7). Para a perda de massa, foi observado que a espécie *E. pungens* exibiu os menores resultados em ambas as posições analisadas, sendo estatisticamente diferente dos valores apresentados pela madeira de *C. leprosum* e *Ceiba pentandra*, que exibiram perda de massa semelhante.

Tabela 7 – Percentuais médios da perda de massa, desgaste das madeiras de *Combretum leprosum*, *Erythroxylum pungens* e *Ceiba pentandra* e mortalidade das térmitas no ensaio de alimentação forçada.

Espécies	Perda de Massa (%)		Desgaste (Notas)	Mortalidade (%)	
	Transição	Alburno		Transição	Alburno
<i>C. leprosum</i>	5,755 Aa	5,395 Aa	9,50 A	100,00	100,00
<i>E. pungens</i>	0,498 Bb	0,978 Ba	9,53 A	100,00	100,00
<i>C. pentandra</i>	5,335 Aa	5,325 Aa	7,77 B	100,00	100,00
Posições avaliadas			Transição	Alburno	
			8,91 a	8,95 a	

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na vertical, ou minúscula, na horizontal, não diferem entre si (Tukey; $p \geq 0,05$).

Quanto às posições analisadas, a região de transição foi menos susceptível ao ataque de térmitas que o alburno apenas para a espécie *E. pungens*. A maior

resistência para a madeira proveniente da área de transição pode estar relacionada à natureza química dos extrativos dessa posição (MEDEIROS NETO *et al.*, 2022), pois numericamente nela a madeira de *C. leprosum* exibiu a maior concentração de extrativos (Tabela 5).

Ao avaliarem a durabilidade natural da madeira de 20 espécies da região Amazônica, Gouveia, Silveira; Garlet (2021) destacaram que a notável resistência de algumas espécies provavelmente ocorreu devido ao teor de metabólitos secundários, dentre eles, os alcaloides, óleos essenciais, flavonoides, fenóis, quinonas, resinas, sílica, taninos e terpenos, que desempenham um papel vital na resistência ao ataque de agentes xilófagos. Assim, a ausência destes compostos químicos contribui para a baixa durabilidade natural da madeira.

A respeito do desgaste (notas) da madeira, não houve interação significativa entre os fatores (espécie, posição), sendo avaliados isoladamente. Os resultados seguiram a tendência relatada anteriormente para a perda de massa, com a discrepância de que a madeira de *Ceiba pentandra* foi estatisticamente diferente das demais analisadas, com a menor nota de desgaste. Já para as posições, estas não apresentaram diferenças estatísticas.

A mortalidade das térmitas foi de 100% para todas as espécies e posições analisadas (Tabela 7). Provavelmente, ela está relacionada à presença de componentes químicos que atuam com elementos tóxicos ou que ocasionem a redução na digestibilidade da madeira (MEDEIROS NETO *et al.*, 2022). Além disso, esse ensaio proporciona um ambiente com condições mais estressantes das atividades das térmitas, com mudanças drásticas do habitat (ausência de colônia) e variações físicas (iluminação, umidade e temperatura).

5.3.2 Ensaio com fungos xilófagos

Ao avaliar a resistência natural da madeira de *C. leprosum*, *E. pungens* e *C. pentandra* ao ataque com fungos de podridão mole, foi observado que ambos os fatores avaliados e a interação foram significativos (Tabela 8).

Tabela 8 – Perda de massa madeiras de *Combretum leprosum*, *Erythroxylum pungens* e *Ceiba pentandra* no ensaio com fungos de podridão mole.

Espécies	Perda de Massa (%)	
	Transição	Alburno
<i>Combretum leprosum</i>	10,20 Aa	9,90 Aa
<i>Erythroxylum pungens</i>	0,61 Cb	4,53 Ba
<i>Ceiba pentandra</i>	6,59 Ba	6,36 Ba

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na vertical, ou minúscula, na horizontal, não diferem entre si (Tukey: $p \geq 0,05$).

A madeira de *E. pungens* exibiu a maior resistência ao ataque de fungos de podridão mole na região de transição entre as espécies analisadas e foi estatisticamente semelhante com a espécie *Ceiba pentandra* na região do alburno. Já a madeira de *Combretum leprosum* apresentou a maior susceptibilidade ao desgaste por fungos em ambas as posições estudadas. Essa vulnerabilidade da madeira ao consumo por microrganismos xilófagos suspostamente acontece pela ausência de compostos fenólicos que incluem várias moléculas complexas com características fungicidas (MEDEIROS NETO *et al.*, 2022).

Com relação às posições de amostragem, a região de transição exibiu menor perda de massa da madeira somente para *E. pungens*, provavelmente devido ao teor de extrativos atingir um máximo valor na zona de transição, o que previne ou limita o ataque de fungos apodrecedores (MARTÍN; LÓPEZ, 2023).

Mensah *et al.* (2022), ao estudarem a resistência natural de três espécies madeireiras provenientes da zona de floresta ecológica úmida semidecídua em Gana, contra o ataque de fungos xilógrafos, observaram que a maior perda de massa foi verificada para a região de alburno.

5.3.3 Ensaio em simulador acelerado de campo

No ensaio em simulador de campo, para a perda de massa, houve interação significativa entre os fatores (espécie x posição) (Tabela 9). Ao avaliar a susceptibilidade da madeira, a deterioração ocasionada por microrganismos presentes no solo, foi observado que a madeira de *Erythroxylum pungens* exibiu a maior resistência natural em ambas as posições estudadas. Já as espécies *Combretum leprosum* e *Ceiba pentandra* foram as mais vulneráveis à perda de

massa e não exibiram diferença estatística entre si em ambas as posições estudadas.

Tabela 9 – Perda de massa e desgaste das madeiras de *Erythroxylum pungens*, *Combretum leprosum* e *Ceiba pentandra* em simulador de campo.

Espécies	Perda de Massa (%)		Desgaste (Notas)
	Transição	Alburno	
<i>Combretum leprosum</i>	13,09 Aa	13,76 Aa	1,25 B
<i>Erythroxylum pungens</i>	3,92 Bb	6,70 Ba	0,68 C
<i>Ceiba pentandra</i>	14,54 Aa	12,06 Ab	1,75 A
Posições avaliadas			Transição 1,15 a Alburno 1,30a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na vertical, ou minúscula, na horizontal, não diferem entre si (Tukey: $p \geq 0,05$).

Ao comparar as posições, apenas a madeira de *Combretum leprosum* não apresentou diferenças significativas das perdas de massas nas duas regiões avaliadas. Já a espécie *Erythroxylum pungens* apresentou menor perda de massa para a região de transição com um resultado de aproximadamente 73%, inferior à espécie *Ceiba pentandra*, que apresentou numericamente a maior vulnerabilidade. Já para o alburno, a madeira de *Erythroxylum pungens* também foi a mais resistente, com um valor em torno de 49% menor que a espécie *Combretum leprosum*. Esses resultados comprovam o que foi discutido anteriormente para os ensaios com térmitas e fungos xilófagos; provavelmente, a menor perda de massa esteja relacionada à presença de extrativos específicos e maior percentual de minerais da madeira.

Em relação ao desgaste (notas) da madeira, não houve interação significativa entre as espécies e as posições avaliadas. Ao avaliar as perdas de massas entre as espécies avaliadas submetidas ao simulador de campo, observou-se que todas foram estatisticamente diferentes, tendo a madeira de *Erythroxylum pungens* a menor nota, seguindo a mesma tendência apresentada para a perda de massa.

Nota-se que no caso do desgaste (notas) da madeira, conforme a Tabela 3, todas as espécies exibiram ataques incipientes no ambiente do simulador de campo. Medeiros Neto *et al.* (2020), ao avaliarem a perda de massa em simulador de campo de sete espécies de *Eucalyptus*, gênero amplamente utilizado no Brasil para diversos

fins industriais, encontraram valores de perda de massa variando de 2,59% a 13,32%.

Silva *et al.* (2022) destacaram que a durabilidade natural da madeira em ensaios efetuados em contato com o solo é afetada por fatores biológicos, como a presença de micro e macrofauna do solo. Hoffman *et al.* (2023) também destacaram que a madeira exposta às condições do solo (umidade, temperatura, pH) possui uma degradação química e física mais lenta, surgindo inicialmente a mudança da coloração superficial da madeira.

Já em relação aos fatores biológicos, no ensaio de simulador de campo, a madeira fica exposta e susceptível ao ataque de fungos de podridão mole (MEDEIROS NETO *et al.*, 2022), bactérias (HIGUCHI *et al.*, 2018; IIMURA *et al.*, 2021) ou coleópteros (ZABEL; MORRELL, 2020). Neste cenário, ao final dos 6 meses de instalação do simulador, foi possível visualizar organismos da ordem coleóptera (besouros), que podem causar danos na madeira ou serem vetores de fungos que, posteriormente, mancham ou causam apodrecimento (Figura 12).

Figura 12 – corpos de prova do simulador de campo com coleóptera.



Fonte: Autora (2023).

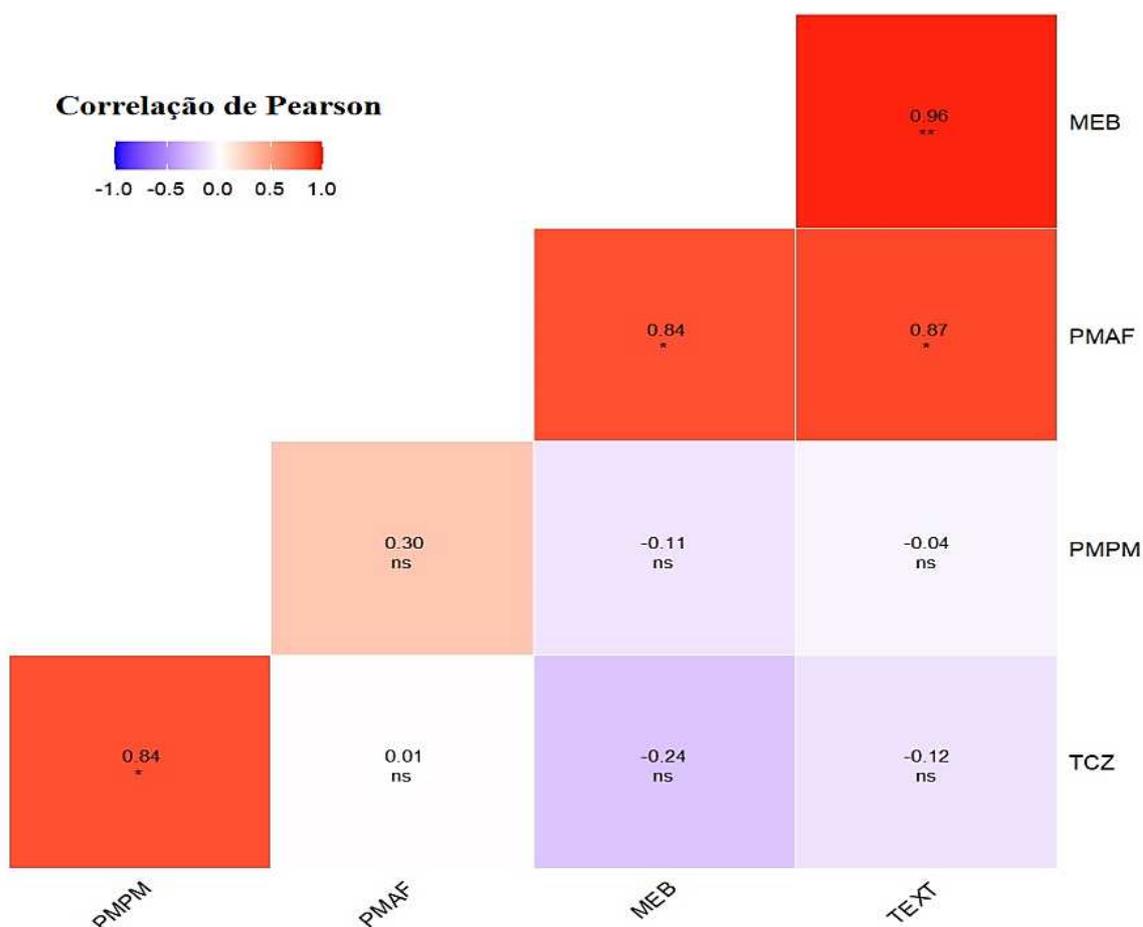
Fodor (2022) relatou que solos com pH superior a 6 proporcionam um ambiente químico ideal para o crescimento de fungos, porém a análise dos dois horizontes do solo utilizado na presente pesquisa apresentou um valor médio de 5,5, provavelmente influenciando em menores perdas de massas das madeiras ensaiadas. No entanto, o mesmo autor destaca que alguns fungos, a exemplo de podridão mole, permanecem ativo em condições adversas. Porém, Baldin *et al.*

(2022) enfatizaram que as características do solo no simulador de campo exerceram pouca influência na perda de massa da madeira, fato observado na presente pesquisa com as madeiras de *Combretum leprosum*, *Erythroxylum pungens* e *Ceiba pentandra*.

5.4 CORRELAÇÕES ENTRE A DURABILIDADE NATURAL E AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA MADEIRA

Na Figura 13, pode ser observado que a madeira de *Combretum leprosum* possuiu correlação significativa e positiva da massa específica básica com o teor de extrativos e a perda de massa no ensaio de alimentação forçada.

Figura 13 – Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as características físico-químicas e anatômicas e a resistência natural da madeira de *Combretum leprosum*.

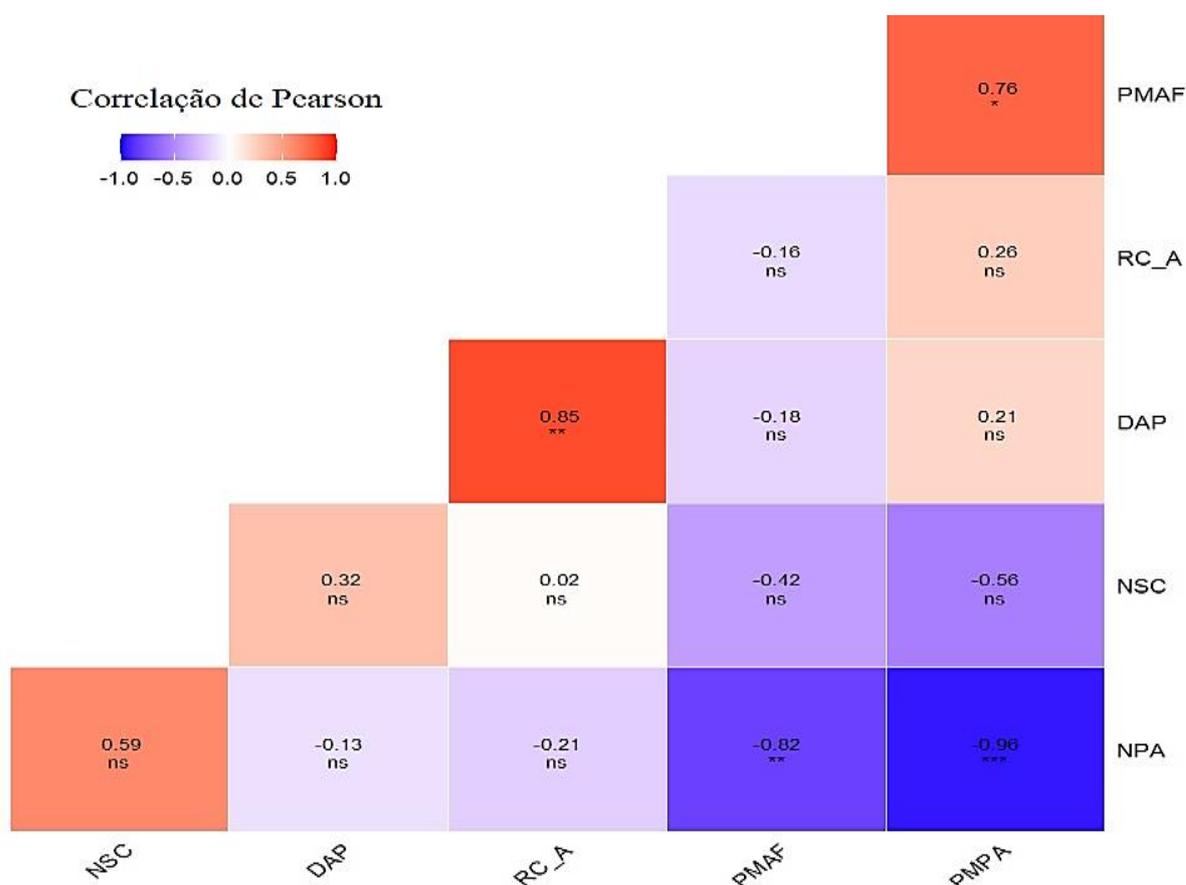


Em que: MEB: massa específica básica; PMAF: perda de massa de alimentação forçada; PMPM: perda de massa de Preferência alimentar; TCZ: teor de cinzas; TEXT: teor de extrativos; ns= $p \geq 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$.

Outra correlação significativa ocorreu entre a perda de massa no ensaio com fungos de podridão mole e o teor de cinzas. Medeiros Neto *et al.* (2022) discorrem que os minerais presentes nas cinzas são capazes de causar danos ao aparelho bucal dos insetos, porém eles não causaram o mesmo efeito para o ataque com fungos, provavelmente por esses atacarem a parede celular da madeira.

A espécie *E. pungens* possuiu correlação significativa e positiva entre as perdas de massas e os ensaios com as térmitas de alimentação forçada e preferência alimentar. Isso comprova que ambos os testes exibiram a mesma tendência de resistência natural da madeira de *Erythroxyllum pungens*. Outra correlação significativa e positiva foi entre as variáveis DAP e relação cerne: alburno (Figura 14).

Figura 14 – Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as características físico-químicas e anatômicas e a resistência natural da madeira de *Erythroxyllum pungens*.



Em que: DAP: diâmetro a altura do peito; RC_A: relação cerne: alburno; PMAF: perda de massa no ensaio de alimentação forçada; NSC: notas do ensaio em simulador de campo; NPA: notas no Ensaio de preferência alimentar; PMPA: Perda de massa no ensaio de preferência alimentar; ns: não significativo ($p \geq 0,05$); * $p < 0,05$.

Correlações significativas e negativas foram observadas entre PMPA e NPA (-0,96) e entre PMAF e NPA (-0,82). Isso ocorreu porque são variáveis inversamente proporcionais. Não foram verificadas correlações significativas para o teor de extrativos e a resistência da madeira contra os agentes xilófagos, provavelmente porque o tipo de extrativos é mais eficiente que a quantidade de compostos orgânicos secundários.

No geral, as variáveis que mais apresentaram correlações significativas estavam relacionadas com a perda de massa e o desgaste ocasionado nas peças de madeira pelas térmitas, ou seja, embora os critérios de notas (desgaste) sejam mensurações subjetivas, foi verificado na presente pesquisa que corresponderam a durabilidade natural comprovada pela determinação das perdas de massas da espécie *E. pugnens*.

Outra relação importante foi entre o DAP e a relação cerne: alburno, pois, quanto maior o diâmetro da árvore, maior será a área ocupada pelo cerne, região que confere menor susceptibilidade da madeira ao ataque de agentes xilófagos, geralmente ocasionado pela presença de substâncias de origem fungicida e inseticida.

6 CONCLUSÕES

Em geral, a madeira da espécie *Erythroxylum pungens* foi a mais resistente em todos os ensaios biológicos realizados, sendo a região de transição a menos susceptível.

Informações sobre madeiras com potenciais para usos estruturais são fundamentais para a escolha de espécies mais adequadas para tais finalidades. Ao consideramos o alto desafio no manejo de biomas superexplorados, neste caso, a vegetação da Caatinga, pesquisas sobre a durabilidade natural da madeira são essenciais para o êxito na seleção de espécies lenhosas.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, F. H. H; PAES, J. B; BAKKE, O. A; DA SILVA, G. S. Resistência natural da madeira de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) a cupins subterrâneos. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 1, p. 57-64, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1531>. Acesso em: 16 jun. 2021.

ALVAREZ, I. A; OLIVEIRA, U. R; DE MATTOS, P. P; BRAZ, E. M; CANETTI, A. **Arborização urbana no semiárido**: espécies potenciais na Caatinga. Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), Colombo; Embrapa Florestas, 2012. 30 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>. Acesso em: 06 mai. 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1102**: standard test method for ash in wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2021. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1105**: standard test method for preparation of extractive-free wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2021. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-3345**: standard method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termite. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 4p.

AMERICAN WOOD PRESERVERS' ASSOCIATION. **AWPA-E14**: standard method of evaluating wood preservatives in a soil bed. Book of Standards, Washington, 2014. 5p.

ARANGO, R.; LEBOW, S. T.; GLAESER, J. A. **Biodeterioration of Wood**. In: Wood handbook: Wood as an Engineering Material. Madison: USDA/FS/FPL, 2021, Chapter 14, (General Technical Report FPL–GTR–282).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941**: madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

BALDIN, T., NUNES, S. M. V., EVARISTO, S. T. A., DIAS, T. L., BARAÚNA, E. E. P. (2022). Extratos das folhas de *Corymbia citriodora* na proteção da madeira de *Eucalyptus* sp. **Matéria (Rio De Janeiro)**, 27(2). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-49010>. Acesso em: 16 jan. 2023.

BATISTA, F. G., *et al.* Natural durability of five tropical wood species in field decay tests. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, 2022 (24): 51, 1-10. DOI: 10.4067/s0718-221x2022000100451. Acesso em: 16 jan. 2023.

BATISTA, F. G., *et al.* Resistência natural da madeira de seis espécies à *Nasutitermes corniger* Motsch. em condição de campo. **Madera bosques** [online]. 2020, vol.26, n.2. Epub 03-Jul-2020. ISSN 2448-7597.

BATISTA, F. G.; MASCARENHAS, A.R. P.; DE MELO, R. R. POTENCIAL DE ATAQUE FÚNGICO PARA MADEIRAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL. **REVISTA EQUADOR**, v. 9, n. 2, p. 135-149, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26694/equador.v9i2.9905>.

BECKER, G. Suggested standard method for field tests with wooden stakes. **PANS - Pest Articles & News Summaries**, v.18, n.1, Suppl., p. 137-142, 1972.

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

CLAUSEN, C.A. Biodeterioration of wood. *In: Wood handbook: wood as an engineering material*. 100 ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, p. 312-327, (General Technical Report FPL— GTR— 190).

COELHO, Á. M. G.; FARGNOLI, C. A.; ROCHA, M. J. C. **Educação ambiental: saberes e fazeres - uma experiência metodológica no Assentamento de Reforma Agrária Chico Mendes**. Fortaleza: Ibama/CE, 2015. 198p.

CONSTANTINO, R. **Termite Catalog**. 2020 Disponível em: http://www.termitologia.unb.br/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid. Acesso em: 16 jun. 2021.

CONSTANTINO, R. The pest termites of South America: taxonomy, distribution and status. **Journal of Applied Entomology**, v.126, n.7, p.355-365, 2002. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1439-0418.2002.00670.x>. Acesso em: 14 jun. 2021.

CORDEIRO, L. S.; LOIOLA, M. I. B. Flora do Ceará, Brasil: Erythroxylaceae. **Rodriguésia**. 2018, v. 69, n. 2, pp. 881-903. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869242>. ISSN 2175-7860. Acesso em: 05 nov. 2022.

COSTA-LIMA, J. L.; LOIOLA, M.I.B.; JARDIM, J. G. Erythroxylaceae no Rio Grande do Norte, Brasil. **Rodriguésia** [online]. 2014, v. 65, n. 3, pp. 659-671. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201465306>. ISSN 2175-7860. Acesso em: 08 Nov. 2022.

CRUZ, P. C. P. **Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais nativas ao fungo apodrecedor *Trametes versicolor***. 2017. 48 f. Monografia (Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/184722>. Acesso em: 01 jun. 2021.

DANIEL, G. Microview of Wood under Degradation by Bacteria and Fungi. *In: GOODSELL, B.; NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, P. (Org.). Wood Deterioration and*

Preservation. Washington: American Chemical Society, 2003. p. 34 - 72. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/263238740_Microview_of_Wood_under_Degradation_by_Bacteria_and_Fungi. Acesso em: 13 jun. 2021.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril.** 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/3176>. Acesso em: 13 jun. 2021.

FARIAS, S. M. A. P.; *et al.* 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, e10112440990, 2023. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40990>.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. *In Erythroxylaceae* Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB17430>. Acesso em: 18 jan. 2023.

FODOR, F.; BAK, M.; BIDLÓ, A.; BOLODÁR-VARGA, B.; NÉMETH, R. (2022). Biological Durability of Acetylated Hornbeam Wood with Soil Contact in Hungary. **Forests**. 13 (7). Doi: 1003. 10.3390/f13071003.

GARCIA, R. A.; MARINONIO, G. M. Variação da Cor da Madeira de Teca em Função da Densidade e do Teor de Extrativos. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.1, p.124-134, 2016. Doi: [dx.doi.org/10.1590/2179-8087.035313](https://doi.org/10.1590/2179-8087.035313)

GOMES, C. C. Potencial utilitário da vegetação lenhosa em área de Caatinga no estado de Pernambuco, nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 307-321, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/JhP5KDkmfZqhXCSZysFcWXg/?lang=pt>. Acesso em: 24 jun. 2021.

GOUVEIA, F. N.; SILVEIRA, M. F. da.; GARLET, A. Natural durability and improved resistance of 20 Amazonian wood species after 30 years in ground contact. **Holzforschung**, v. 75, n. 10, pp. 892-899, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2020-0192>.

HIGUCHI, Y.; TAKAHASHI, K.; KAMIMURA, N.; MASAI, E. Bacterial Enzymes for the Cleavage of Lignin b-Aryl Ether Bonds: Properties and Applications. *In Lignin Valorization: Emerging Approaches*; Beckham, G.T., Ed.; The Royal Society of Chemistry: Cambridge, UK, 2018; Chapter 9; pp. 226–251. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=z7WrDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA226&dq=Bacterial+Enzymes+for+the+Cleavage+of+Lignin+b-Aryl+Ether+Bonds:+Properties+and+Applications&ots=gleF7NfWM0&sig=YJC4uhuLJx8RQGmvo57r-86lsM4#v=onepage&q=Bacterial%20Enzymes%20for%20the%20Cleavage%20of%](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=z7WrDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA226&dq=Bacterial+Enzymes+for+the+Cleavage+of+Lignin+b-Aryl+Ether+Bonds:+Properties+and+Applications&ots=gleF7NfWM0&sig=YJC4uhuLJx8RQGmvo57r-86lsM4#v=onepage&q=Bacterial%20Enzymes%20for%20the%20Cleavage%20of%20)

20Lignin%20b-Aryl%20Ether%20Bonds%3A%20Properties%20and%20Applications&f=false.

HOFFMANN, W. R.; CAMPOS, C. M.; MASCARO, L. P.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C. (2023). Contribuição ao processo de identificação de madeiras utilizadas em edifícios históricos: Aplicação no “Casarão da Rua Sete de Setembro” em Cuiabá, MT. **E&S Engineering and Science**, 12(1), 65 - 79. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/15246/12292>.

IIMURA, Y.; ABE, H.; OTSUKA, Y.; SATO, Y.; HABE, H. (2021). Bacterial Community Coexisting with White-Rot Fungi in Decayed Wood in Nature. **Current Microbiology**. 78 (8). Doi: 10.1007/s00284-021-02595-6.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/biomass/#/home>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Brasil em síntese**, 2023. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/DIVISÃO DE MADEIRAS (IPT/DIMAD D-5). **Ensaio acelerado de laboratório para a determinação da eficiência de preservativos contra fungos de podridão-mole**. São Paulo: IPT/DIMAD, 1980. 2p. (Publicação IPT, 1157).

JÓIA, H. A. *et al.* Avaliação por métodos não destrutivos do diâmetro de cerne à altura do peito em eucalipto e em choupo. **Cerne**, v.12, n.4, p.309-313, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74412401.pdf>. Acesso em: 01 Dez. 2022.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. Fupef, Curitiba, 4 ed. 2013. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/Quimica%20da%20Madeira%202013.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2021.

LEAL, C. C. P.; *et al.* Water stress on germination and vigor of ‘mofumbo’ (*Combretum leprosum* Mart.) seeds at different. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 1, e20186357, 2020.

LEBOW, S. T. Wood Preservation. *In*: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison, 2010. p.312 - 327. (General Technical Report FPL-GTR- 190). Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/62200>. Acesso em: 26 jun. 2021.

MACHADO NETO, A. de P.; BRANDÃO, C. F. L. e S.; DUARTE, B.; ALMIR, J.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P. Densidade e poder calorífico como base para prevenção de incêndios florestais sob linhas de transmissão. **Nativa**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 10-15, 2015. DOI: 10.31413/nativa.v3i1.1813. Disponível em:

<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1813>. Acesso em: 08 nov. 2022.

MARTÍN, J. A.; LÓPEZ, R. Biological deterioration and natural durability of wood in Europe. **Forests**, 2023, 14, 283. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f14020283>. Acesso em: 15 mai 2023.

MEDEIROS NETO, P. N. de; OLIVEIRA, E. de; PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 484-493, 2014. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153025918>. Acesso em: 25 jun. 2021.

MEDEIROS NETO, P. N. de, **Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalyptus a agentes xilófagos**. 122 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/7704>. Acesso em: 28 mai. 2021.

MEDEIROS NETO, P. N.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. G. M.; COELHO, J. C. F.; RIBEIRO, L. S. Durability of *Eucalypts* wood in soil bed and field decay tests. **Maderas-Ciencia y Tecnologia**, v. 22, p. 2, 2020.

MEDEIROS NETO, P. N., *et al.* Relation of physicochemical characteristics on biological resistance of eucalypts woods to xylophagous térmites. **Journal of Building Engineering**, 52, 2022. Doi: doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104462.

MENSAH, P.; *et al.* Natural durability of three selected ghanaiian lesser used/known timber species using accelerated laboratory test. **European Modern Studies Journal**, v.6, n.1, pp. 150-163, 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA - MMA. CAATINGA, 2022. **CAATINGA**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

MOREIRA, L. G. L. **Alcaloides tropânicos de *Erythroxylum pungens* O. E. Shulz (Erythroxylaceae): do contexto edafoclimático da Caatinga à investigação comportamental em zebrafish (*danio re.rio hamilton*)**. 128p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 4º ed. 2012. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2021.

MOTTA, J. P; OLIVEIRA, J. T. D. S; PAES, J. B; ALVES, R. C; DAMBROZ, G. B. V. Resistência natural da madeira de *Tectona grandis* em ensaio de laboratório. **Ciência Rural**, v. 43, n. 8, p. 1393-1398, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/5qJwnbrPj3wDsMfz3SVLdyB/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2021.

OLIVEIRA, J. B.DE. **Atualização e ampliação da coleção da infraordem: Isoptera (Blattodea) do insetário do Departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.** P. 41. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/890>. Acesso em: 26 abr. 2023.

PAES, J. B.; VITAL, B. R. Resistência natural da madeira de cinco espécies de eucalipto a cupins subterrâneos em testes de laboratório. **Revista Árvore**, v.24, n.1, p.97-104, 2000. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=1XWaAAAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&rview=1&lr=#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 15 jun. 2021.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; MORAIS, V. M. Resistência natural das madeiras de angico (*Piptadenia macrocarpa*), cumaru (*Amburana cearensis*) e pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 20, n. 75, p. 45-53, 2003.

PAES, J. B.; DE MELO, R. R.; DE LIMA, C. R.; DE OLIVEIRA, E. Resistência natural de sete madeiras ao cupim subterrâneo (*Nasutitermes corniger* Motsch.) em ensaio de preferência alimentar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.1, p.57-62, 2007a. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119017336010.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

PAES, J. B.; MELO, R. R.; LIMA, C. R. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 160-169, abr./jun. 2007b. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74413205>. Acesso em: 14 jun. 2021.

PAES, J. B.; MORAIS, V. D. M.; LIMA, C. R. D.; SANTOS, G. J. C. D. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos xilófagos em simuladores de campo. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.511-520, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/K5smnpj9bx3dQ6gPTXwwhj/?lang=pt>. Acesso em: 14 jun. 2021.

PAES, J. B.; FONSÊCA, C. M. B. D.; LIMA, C. R. D.; SOUZA, A. D. D. Eficiência do óleo de candeia na melhoria da resistência da madeira de sumaúma a cupins. **Cerne**, Lavras, v.16, n.2, p.217-225, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/LYjFbz98BHZvYRWdhhbYY6JN/?lang=pt>. Acesso em: 14 jun. 2021.

PAES J. B., SOUZA A. D., LIMA C. R., MEDEIROS NETO P. N. Eficiência dos óleos de nim (*Azadirachta indica*) e de mamona (*Ricinus communis*) na proteção da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra*) contra cupins xilófagos em ensaio de preferência alimentar. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.3, p.751-758, 2011.

PAES, J. B.; SOUZA, A. D.; LIMA, C. R.; SOUZA P. F. Eficiência dos óleos de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) e mamona (*Ricinus communis* L.) na resistência da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaerth.) a fungos xilófagos em

simuladores de campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 617-624, 2012

PAES, J. B.; MEDEIROS NETO, P. N. D.; LIMA, C. R. D.; FREITAS, M. D. F. D.; DINIZ, C. E. F. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Cerne**, v.19, n.3, p.399-405, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/nG8FZdg8nvHKVsSknTwbRjC/?lang=pt>. Acesso em: 13 jun. 2021.

PAES, J. B.; BROCCO, V. F.; MOULIN, J. C.; MOTTA, J. P.; ALVES, R. C. Efeitos dos extrativos e da densidade na resistência natural de madeiras ao térmita *Nasutitermes corniger*. **Cerne**, v.21, n.4, p.569-578, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/HsH3kB5r4ZC3vXxFzkVRZgp/?lang=pt>. Acesso em: 15 jun. 2021.

PAES, J. B.; *et al.* Efeito do teor de extrativos na resistência natural de cinco madeiras ao ataque de cupins xilófagos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p.1259-1269, 2016. Doi: doi.org/10.5902/1980509825137.

PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção Magazine**. n.20, p.54-62, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.8/77>. Acesso em: 10 jun. 2021.

PARAÍBA. Pro-Água: Semi-Árido. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas: Relatório Final de Diagnóstico: Tomo I**. SEMARH: 2001.

PARAÍBA. **Produto Interno Bruto dos Municípios do Estado da Paraíba Resultados 2020**. Boletim Informativo 2022. PIB dos Municípios Brasileiros SEPLAG-PB/IBGE.2023.

PAULA, T.C.; BRIOSO, P. S.T. Resistência de espécies arbóreas tropicais à ação de *Ganoderma philippii*. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 393-416, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350762583_Resistencia_de_especies_arboreas_tropicais_a_acao_de_Ganoderma_philippii. Acesso em: 3 Dez. 2022.

PEDRAZZI, C. *et al.* **Química da madeira**, 1ª Ed. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, 2019. 69p (Apostila). ISSN: 984-6118.

PEREIRA, A. K. S.; LONGUE JUNIOR, D.; MAFRA NETO, C. D. S.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. Determinação da composição química e potencial de polpação da madeira *Pterogyne nitens* Tul. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1490-1500, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/sZHjVg6d3N7rJFTtQxXg9fd/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

PEREIRA, B. L. C. *et al.* Correlações entre a relação cerne/alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, v.41,

n.98, p.217-225, 2013. Disponível em:
<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr98/cap07.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2022.

PERROT, T.; *et al.* A reverse chemical ecology approach to explore wood natural durability. **Microbial Biotechnology**, v.13, n.5, pp. 1673-1677, 2020. Doi: 10.1111/1751-7915.13540.

RÅBERG, U; EDLUND, M.L; TERZIEV, N; LAND, C. J. Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe-an overview. **Journal Wood Science**, v.51, n.5, p.429-440, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10086-005-0717-8.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2021.

RESTREPO, D. A. *et al.* Erythroxyllum in focus: an interdisciplinary review of an overlooked genus. **Molecules**, v. 24, n. 20, p. 3788, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336708270_Erythroxyllum_in_Focus_An_Interdisciplinary_Review_of_an_Overlooked_Genus. Acesso em: 03 mar. 2023.

RIBEIRO, R.T.M.; MARQUET, N.; LOIOLA, M.I.B. 2023. Combretaceae. *In: Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB90>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SADIKU, N. A.; GARUBA, T.; LATEEF, A. A. Resistivity of Ten Nigerian Guinea Savannah Timbers to *Lentinus sajor-caju*, *Sclerotium rolfsii*, and Subterranean Termites. **Forestist**, v. 17, 2021. DOI: 2021.10.5152/forestist.2021.20053.

SHMULSKY, R.; P. JONES, P. D. **Forest products and wood science**: an introduction. 6th ed. Iowa: Wiley-Blackwell, 2011, p. 229 - 252.

SILVA, L. F. **Avaliação da aptidão da madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus* para o processamento mecânico**. 2018. 90 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/161370746.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2021.

SILVA, N.S., SANTOS, K. C. M., COSTA, W. S., CASTILHORI, M. F., CALLADO, C. H. (2022). Anatomical investigation of wood from two old bridges as part of the historical record of the flora of the Atlantic Forest, **IAWA Journal**, 44(1), 85-107. doi: <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10085>.

SILVA, G. A. O.; *et al.* Effect of Age on Heartwood Proportion, Color, Chemical Composition, and Biological Resistance of Teakwood. **BioResources**, v.18, n.2, p.4116-4131, 2023. DOI:10.15376/biores.18.2.4116-4131.

SILVEIRA, M. F.; GOUVEIA, F. N.; MOREIRA, A. C. O.; OLIVEIRA, J. R. V.; SILVA, A. S. V. S. ALMEIDA, G. F.; COSTA, A. F. Natural resistance of eight Brazilian wood species from the region Caatinga determined by an accelerated laboratory decay test against four fungi. **Holzforschung**, v. 73, n. 2, p. 151-154, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0051>. Acesso em: 14 jun. 2021.

SOUSA, V. F de.; *et al.* Combretaceae no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Rodriguésia**, v.69, n.4, p.1771-1787, 2018. DOI: 10.1590/2175-7860201869417.

SOUZA, D. A. T. de.; *et al.* Resistência natural de três espécies de madeiras comerciais ao ataque de térmitas (Insecta, Blattodea) em Fragmento Florestal Urbano de Manaus, Amazonas. **Research, Society and Development**, v.11, n.11, e365111133602, 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33602>.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistic: a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980, 633p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T 264 om-88**: preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996. v.1.

TOMAZELI, A. J; DA SILVEIRA, A. G; TREVISAN, R; WASTOWSKI, A. D; CARDOSO, G. V. Durabilidade natural de quatro espécies florestais em campo de apodrecimento. **Tecno-lógica**, v. 20, n. 1, p. 20-25, 2016. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/6473>. Acesso em: 12 jun. 2021.

VINDEN, P. *et al.* **Soil-bed studies**. Stockholm: The International Research Group on Wood Preservation, 1982, 15p. (Doc. IRG/WP/2181).

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1). Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Metodos_determinacao_densidade.pdf. Acesso em: 10 jun. 2021.

VIVIAN, M. A; SANTINI, E. J; MODES, K. S; CARVALHO, D. E; MORAIS, W. W. C. Resistência biológica da madeira tratada de duas espécies de Eucalyptus em ensaio de campo. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 425-433, 2014. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/ojs-3.2.1-3/index.php/pfb/article/view/545/395>. Acesso em: 16 jun. 2021.

ZABEL, R. A; MORRELL J. J. **Wood microbiology decay and its prevention**. 2nd ed. Elsevier Inc; 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-05117-8>. Acesso em: 10 mai. 2023.