



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ANA KELLY DE SOUSA SILVA

**IDENTIFICAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DE QUATRO ESPÉCIES DE
MADEIRAS TROPICAIS POR CUPINS SUBTERRÂNEOS E SUA RELAÇÃO COM
AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS**

BELÉM
2020

ANA KELLY DE SOUSA SILVA

**IDENTIFICAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DE QUATRO ESPÉCIES DE
MADEIRAS TROPICAIS POR CUPINS SUBTERRÂNEOS E SUA RELAÇÃO COM
AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.
Orientadora: Dra. Marcela Gomes da Silva
Co-Orientadora: Dra. Lina Bufalino
Co-Orientadora: Dra. Gracialda Costa Ferreira

**BELÉM
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

SILVA, ANA KELLY DE SOUSA SILVA
IDENTIFICAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DE QUATRO ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS
POR CUPINS SUBTERRÂNEOS E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS /
ANA KELLY DE SOUSA SILVA SILVA. - 2020.
50 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF), Campus
Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020.

Orientador: Profa. Dra. Marcela Gomes da Silva SILVA
Coorientador: Profa. Dra. Lina Bufalino.

1. Resistência natural. 2. Extrativos da madeira. 3. Cupins xilófagos. I. SILVA, Marcela Gomes da
Silva. *orient.* II. Título

CDD 620

ANA KELLY DE SOUSA SILVA

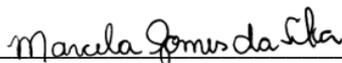
**IDENTIFICAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DE QUATRO ESPÉCIES DE
MADEIRAS TROPICAIS POR CUPINS SUBTERRÂNEOS E SUA RELAÇÃO COM
AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da
Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para obtenção do título de Mestre
em Ciências Florestais.

16, de junho de 2020

Data da Aprovação

Banca Examinadora



Marcela Gomes da Silva D. Sc

Orientadora

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA



Cláudia Viana Urbinati D. Sc.

Universidade Estadual do Pará - UEPA

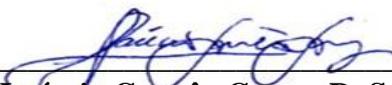
1º Examinador



Suelo Numazawa D. Sc.

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

2º Examinador



Laércio Gouvêa Gomes D. Sc.

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA

3º Examinador

RESUMO

A resistência de madeiras de diferentes espécies ao ataque de agentes biodegradadores é variável em função das suas características, o que afeta sua utilização e seus potenciais efeitos ao ambiente em pátios de estocagem. O objetivo deste trabalho foi relacionar as características tecnológicas da madeira com o grau e a taxa de biodegradação por cupins subterrâneos de quatro espécies tropicais. Para tanto, foram selecionadas quatro espécies: timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J. WGRIMES), pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber), tamanqueira (*Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke) e parapará (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don), sendo duas delas consideradas de alta densidade e duas consideradas de baixa densidade, com intuito de permitir a análise do efeito de outras características (químicas e anatômicas) na biodegradação. Foram determinados os componentes químicos primários e secundários da madeira, além da caracterização anatômica e físicas das espécies, bem como um bioensaio de resistência natural com o cupim de solo (*Nasutitermes* sp.), com duração de seis semanas, com avaliação de perda de massa e diagnose visual dos corpos de prova. A verificação da variação da composição química dos corpos de prova em relação aos tempos de experimentação foi realizada por análise de difração de Raios X (DRX). Os resultados mostram que as espécies apresentaram taxa de biodegradação diferentes, a espécie que apresentou maior taxa média de perda de massa foi *J. copaia* (6,92%), sendo essa a que apresentou a menor média de nota de desgaste (7,93) essa espécie foi a que apresentou a menor densidade média (0,27g/cm³), o inverso aconteceu com *E. paraensis* apresentando os maiores valores de média de nota de desgaste (10) e menores de perda de massa (0,45%) foi ela quem apresentou o segundo maior valor de densidade média (0,68g/cm³), o tempo foi um fator importante, pois os resultados mostraram uma progressão na taxa de perda de massa no decorrer do experimento, *J. copaia* apresentou a maior progressão na perda de massa sendo 2,13% na primeira semana e 15,20% na sexta semana, apesar das características distintas entre as espécies, a taxa de perda de massa pode ser igual dependendo do tempo de biodegradação, *A. integrifolia* chegou a taxa de 2% na quinta semana, enquanto *P. suaveolens* e *J. copaia* chegaram a mesma taxa em quatro e uma semana respectivamente, a única exceção foi *E. paraensis* que chegou a taxa máxima de 0,66% em todo período estudado, pode-se verificar que características como a composição química e as propriedades anatômicas possuem maior influência nesse processo quando comparados a densidade. Portanto, pode-se concluir que as diferenças nas composições químicas e anatômicas das espécies afetam o processo de biodegradação.

Palavras-chave: Resistência natural. Extrativos da madeira. Cupins xilófagos.

ABSTRACT

The resistance of woods of different species to the attack of biodegrading agents varies according to their characteristics, which affects their use and their potential effects on the environment in storage yards. The objective of this work was to relate the technological characteristics of wood with the degree and rate of biodegradation by underground termites of four tropical species. Four species were selected: timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J. WGRIMES), pau amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber), tamanqueira (*Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke) and parapará (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don), two of them high density and two low density, in order to allow the analysis of the effect of other characteristics (chemical and anatomical) on biodegradation. The primary and secondary chemical components of the wood were determined, in addition to the anatomical and physical characterization of the species, as well as a bioassay of natural resistance with the soil termite (*Nasutitermes* sp.), lasting six weeks, with evaluation of mass loss and visual diagnosis of the specimens. The verification of the variation of the chemical composition of the specimens in relation to the experimental times was performed by an X-ray diffraction (XRD) analysis. The results show that the species presented different biodegradation rate, The species with the highest mean rate of mass loss was J. copaia (6.92%), the one with the lowest mean wear score (7.93) was the one with the lowest mean density (0.27g/cm³), the inverse was the one with E. paraensis presenting the highest mean values of wear score (10) and lower mass loss (0.45%) it was she who presented the second highest mean density value (0.68g/cm³), time was an important factor, because the results showed a progression in the rate of mass loss during the experiment, J. copaia showed the highest progression in mass loss being 2.13% in the first week and 15.20% in the sixth week, despite the distinct characteristics between species, the rate of mass loss may be equal depending on the time of biodegradation, A. integrifolia reached the rate of 2% in the fifth week, while P. suaveolens and J. copaia reached the same rate in four and one week respectively, the only exception was E. paraensis, which reached the maximum rate of 0.66% in the entire period studied, it can be verified that characteristics such as chemical composition and anatomical properties have greater influence in this process when comparing density. Therefore, it can be concluded that the differences in the chemical and anatomical compositions of the species affect the biodegradation process.

Keywords: Natural resistance. Extractives of wood. Xylophagous termites.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coleta, amostragem e análises realizadas.....	22
Figura 2 - Ensaio de resistência.....	23
Figura 3 - Fibras das espécies estudadas.....	28
Figura 4 - Análise de regressão linear para variáveis anatômicas.....	28
Figura 5 - Elementos de vasos das espécies estudadas.....	30
Figura 6 - Porcentagem de extrativos solúveis presentes na Madeira de quatro espécies florestais amazônicas.....	32
Figura 7 - Análise de regressão linear para variáveis químicas.....	33
Figura 8 - Categoria de desgaste após seis semanas.....	34
Figura 9 - Aspecto dos corpos de prova por categoria de desgaste.....	35
Figura 10 - Perda de massa durante o período após seis semanas.....	36
Figura 11 - Densidade básica de quatro espécies florestais amazônicas.....	36
Figura 12 - Diferença de perda de massa durante o período de seis semanas.....	38
Figura 13 - Índice de cristalinidade das espécies no tempo.....	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	QUESTÕES CIENTÍFICA	10
3	HIPÓTESES	10
4	OBJETIVO GERAL	11
4.1	Objetivos específicos	11
5	REVISÃO DE LITERATURA	11
5.1	Espécies estudadas	11
5.2	A madeira, suas propriedades e a biodegradação	14
5.3	Biodegradação da madeira por cupins	17
5.4	O estado da arte das pesquisas sobre biodegradação da madeira por cupins	20
6	MATERIAL E MÉTODOS	21
6.1	Coleta de material biológico e amostragem	21
6.2	Ensaio de resistência	22
6.3	Análises anatômicas	24
6.4	Análises químicas	24
6.5	Difração de raios X (DRX)	25
6.6	Densidade básica	25
6.7	Análise estatística	26
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
7.1	Relação entre as variáveis estudadas e a perda de massa	26
7.2	Bioensaio de degradação pelos cupins de solo	34
8	CONCLUSÃO	41
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
10	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A madeira é uma combinação de polímeros naturais que apresenta resistência e durabilidade como material estrutural (LELIS et al., 2001). A estrutura da madeira não sofre modificações significativas em suas propriedades e características anatômicas devido a sua idade, a não ser, quando exposta a algum tipo de intemperismo (CRUZ, 2001). Ganha destaque por ser um material renovável em relação a outros materiais e que pode ser reproduzido continuamente por reflorestamento (BRITO, 2017).

Aprile et al. (1999) afirmam que a madeira se encontra entre os materiais biológicos de mais difícil decomposição, devido à sua estrutura anatômica e à presença de grandes quantidades de substâncias recalcitrantes, como a lignina, além de outros compostos do metabolismo secundário, que lhe confere propriedades físicas, químicas e mecânicas que a tornam menos susceptível ao ataque. Segundo Gonçalves et al. (2014), a resistência natural à deterioração é a capacidade inerente à madeira de resistir à ação de agentes deterioradores, incluindo os agentes biológicos, físicos e químicos. A combinação de características tecnológicas (anatômicas, físicas, químicas e mecânicas) de uma determinada espécie também é fundamental na sua identificação e permite a melhor utilização da madeira (GONÇALEZ et al., 2006), não deixando dúvidas quando existem espécies parecidas sendo comercializadas com nomes diferentes (RIBEIRO, 2017). No entanto, a partir do instante em que a árvore é formada, a madeira está susceptível à degradação por uma variedade de agentes (BRITO, 2014).

A deterioração da madeira é um processo que altera desfavoravelmente as suas propriedades (CALIL JR. et al., 2006). Do ponto de vista ambiental e biológico, a degradação da madeira é uma ação natural e benéfica ao ecossistema, retornando carbono e outros elementos ao solo e ao ar (LELIS et al., 2001). Sabe-se que a decomposição de materiais biológicos depende de uma série de fatores bióticos e abióticos, tais como as condições climáticas, a composição da comunidade decompositora, sua afinidade com o substrato e as características físicas e químicas do material a ser decomposto (SWIFT et al., 1979). Quando exposta às intempéries, ela sofre um processo de fotodegradação conhecido por intemperismo, que é ocasionado pela ação combinada de oxigênio, radiação solar, umidade, poluição atmosférica e vento, que agem induzindo a descoloração e deterioram fisicamente a superfície da madeira. Embora seja superficial, tal ação modifica a textura, a cor e o brilho (BRITO, 2017). O dano varia desde pequenas descolorações causadas por fungos manchadores ou substâncias químicas até deteriorações mais graves por ataques de insetos e/ou fungos apodrecedores

(BRITO, 2014). Os agentes bióticos da degradação são os mais relevantes, por serem mais efetivos no processo. Nesse grupo encontram-se insetos, fungos, bactérias, algas e xilófagos marinhos (TREVISAN et al., 2008).

A ação de agentes degradadores de origem biológica como fungos e cupins gera uma grande perda para o setor madeireiro (BRITO, 2017), pois a madeira está sujeita ao ataque de insetos, desde quando a árvore está viva, até a madeira em serviço, pois seus constituintes são de origem orgânica e, portanto, utilizados como alimento ou substrato para reprodução ou moradia (TREVISAN et al., 2008).

A degradação biológica da madeira ocorre porque alguns organismos xilófagos, possuem um sistema enzimático capaz de metabolizar os polímeros naturais presentes na madeira em unidades digeríveis, obtendo da parede celular os polímeros naturais como fonte de nutrição (PAES, 2002; ZENI et al., 2006).

Os cupins são insetos sociais, que vivem em colônias cujos indivíduos são divididos em castas com funções definidas: reprodução, trabalho e defesa. De modo geral, as espécies que atacam a madeira podem ser divididas em subterrâneas e de madeira seca. Segundo Richardson (1993), dentre os insetos xilófagos, são os mais severos agentes destruidores da madeira.

O estado do Pará é um dos maiores produtores minerais do país, essa atividade é controlada por legislações que visam a manutenção ambiental. Nesta unidade federativa do Brasil, a lei n° 6958/2007 determina que madeiras extraídas de áreas licenciadas à exploração de jazidas, minas ou outros depósitos minerais, as submersas por águas de lagos de contenção às barragens hidrelétricas, dentro do território paraense, sejam destinadas para a construção de casas populares, escolas e clínicas para tratamento de dependentes químicos (Pará, 2007). Porém, esse processo possui um custo elevado, envolvendo diversas atividades como: corte, transporte, classificação dos diferentes materiais e estocagem. Essas atividades, se não realizadas com objetivo de desocupar áreas e encaminhar corretamente esse recurso, comprometem definitivamente as possibilidades de uso da madeira depositada nos pátios de estocagem (GVces/IFC, 2016), que submetidas as intempéries ambientais e agentes biológicos, passam por um processo de degradação que inviabiliza a utilização dessa matéria prima.

A elucidação do comportamento da biodegradação das madeiras da nossa região pode nortear o uso mais adequado desse material, no sentido de indicar madeiras apropriadas a cada ambiente. Portanto, o conhecimento do potencial intrínseco a cada espécie florestal, bem como a dinâmica dos organismos xilófagos em dado ambiente, pode evitar o desperdício ocasionado pelo colapso de estruturas construídas com madeira inadequada (TREVISAN et al., 2008).

No ambiente de trabalho florestal muitas são as variáveis a serem analisadas para o uso correto de todos os recursos disponíveis aos seres humanos, tais materiais ainda necessitam de estudos que possibilite um conhecimento completo de suas características intrínsecas de forma precisa a auxiliar em tomadas de decisões para destinação correta de todo material florestal que utilizamos ou retiramos para a extração de outros recursos (como os recursos minerais), só assim, será possível proporcionar uma utilização de forma sustentável e que vise o aproveitamento total dos recursos, o conhecimento dos processos de biodegradação da madeira ainda necessita de um estudo mais amplo, onde possa elucidar como cada componente da mesma, reage aos vários tipos de degradação. Em nossa região encontramos uma vasta lista de espécies florestais com potencial para utilização que, muitas vezes não são aproveitadas devido à falta de conhecimento de suas propriedades, dentre elas a resistência a biodegradação. Para isso, trabalhos como o estudo em questão se tornam necessários para desenvolvermos um maior conhecimento sobre nossas espécies madeireiras e assim, possibilitar sua utilização de uma forma mais efetiva, diminuindo assim, a pressão em relação a espécies já conhecidas super exploradas e valorizadas devido aos conhecimentos de suas boas características para utilização nos mais diversos ambientes e usos.

2 QUESTÕES CIENTÍFICAS

- As madeiras de espécies tropicais apresentam diferentes resistências naturais à biodegradação por cupins de solo?
- Entre madeiras de densidades similares, há diferenças na taxa e grau de biodegradação devido às diferentes propriedades químicas e anatômicas?
- Entre madeiras de densidades diferentes, a maior densidade está diretamente relacionada à maior resistência a biodegradação suprimindo o efeito das propriedades químicas e anatômicas, ou é possível que uma madeira de baixa densidade seja mais resistente que uma de alta densidade?
- Uma madeira de alta densidade pode atingir o mesmo grau de biodegradação que uma madeira de baixa densidade se mantida sob ataque de térmitas por mais tempo?
- Os componentes da madeira (amorfo e estruturas cristalinas) são consumidos de forma diferente no processo de biodegradação?

3 HIPÓTESES

H0₁: As espécies não apresentam diferentes resistências naturais ao processo de biodegradação por cupins.

H0₂: Espécies com densidade similares não apresentam diferença na taxa e grau de biodegradação devido as suas propriedades químicas e anatômicas.

H0₃: A densidade não supera os fatores químicos e anatômicos em relação a resistência a biodegradação da madeira.

H0₄: Madeiras de densidades diferentes não atingem a mesma taxa de biodegradação independente do tempo de exposição.

H0₅: Os componentes da madeira (amorfos ou cristalinos) não possuem diferença de consumo pelos xilófagos no processo de biodegradação.

4 OBJETIVO GERAL

Relacionar as características anatômicas e tecnológicas da madeira com o grau e a taxa de biodegradação por cupins subterrâneos de quatro espécies tropicais.

4.1 Objetivos específicos

- Determinar quais propriedades químicas, anatômicas e físicas diferem entre as espécies estudadas;
- Verificar se, independente das diferenças entre as propriedades, a biodegradação resulta nas mesmas modificações químicas e de cristalinidade da madeira;
- Analisar a influência das propriedades químicas, anatômicas e físicas no grau de biodegradação das madeiras;
- Analisar a influência das propriedades químicas, anatômicas e físicas na taxa de biodegradação das madeiras.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Espécies estudadas

Pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber)

Nome vulgar: Pau-amarelo ou amarelão

A espécie faz parte da família das Rutaceae e distribui-se nas florestas de terra firme na região Norte, principalmente no Pará e Amazônia Oriental. É uma árvore clímax de grande porte, podendo atingir até 40 metros de altura e 1,0 metro de diâmetro (MARGALHO et al., 2014). É nativa da Amazônia (SOUZA; LORENZI, 2008), havendo registros de coleta nos estados do Amazonas, Rondônia, Pará, Maranhão e Tocantins (PIRANI, 2011). Constitui o maior grupo de plantas da ordem Sapindales, o muito conhecidas pela diversidade de metabólitos secundários, destacando-se os alcaloides, especialmente aqueles derivados do ácido antranílico, as cumarinas, as lignanas, os flavonoides e os limonoides (WATERMAN; GRUNDON, 1983; SILVA et al., 1988).

Possui cerne e alburno indistintos (ambos de coloração amarelada); anéis de crescimento distintos; grã direita, às vezes reversa; textura média a fina; brilho moderado; cheiro imperceptível; dura ao corte, sendo muito durável em contato com o solo (MARGALHO et al., 2014). Sua madeira possui densidade básica média, e é moderadamente fácil de trabalhar, recebendo ótimo acabamento (ISIDORO et al., 2012).

Apresenta porosidade difusa, arranjo radial, maioria múltiplos, parcialmente obstruídos por tiloses, o parênquima radial é visível a olho nu e o espelhado dos raios é pouco contrastado. Foram encontrados valores de densidade básica da madeira variando entre 0,72 e 0,52 g/cm³ (RIESCO et al., 2019; FUENTES ARÉVALO; LONDOÑO ARANGO, 2005).

Seus principais usos são para marcenaria de luxo, tacos, carpintaria, móveis, dormentes e até artesanato (MARGALHO et al., 2014). Sua densidade lhe confere boa resistência física e mecânica, sendo, portanto, empregada também na construção naval na fabricação de quilha, convés e costado, o que contribui para intensa exploração da mesma (ISIDORO et al., 2012).

Parapará (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D.Don).

Nome vulgar: parapará, caroba-do-mato, caraúba, carobussu, marupá, simaruba-copaia, simaruba-falsa

A espécie pertence à família Bignoniaceae, ocorrendo em florestas amazônicas de terra firme (GURGEL et al., 2006). Possui uma distribuição que abrange os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima, Maranhão e Mato Grosso (LOHMANN, 2015). Pertence ao grupo ecológico das plantas pioneiras, atingindo alturas de 20 a 30 m, com tronco retilíneo e com diâmetros de 60 a 90 cm.

Estudos químicos sobre os constituintes de *Jacaranda* foram relatados para seis espécies, dentre elas: *Jacaranda acutifolia* (FERGUSON; LIEN, 1982), *Jacaranda caucana*

(OGURA et al., 1976, 1977a, b), *Jacaranda copaia* (SAUVAIN et al., 1993), *Jacaranda decurrens* (BLATT et al., 1998; VARANDA et al., 1992), *Jacaranda filicifolia* (ALI; HOUGHTON, 1999) e *Jacaranda mimosifolia* (CHISHOLM; HOPKINS, 1962; PRAKASH; GARG, 1980; MOHARRAM; MARZOUK, 2007). Os compostos foram identificados como triterpenos, quinonas, flavonóides, ácidos graxos, acetosídeos e, recentemente, um novo feniletanóide.

A madeira da espécie apresenta as seguintes características: macia ao corte manual; cerne branco palha amarelado; indistinto do alburno; textura média; grã direita; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptível e com camadas de crescimento evidentes (COSTA, 2017). Possui porosidade difusa, poucos poros obstruídos por tilose, com parênquima axial visível a olho nu. Foram encontrados valores de densidade básica da madeira variando entre 0,31 e 0,35 g/cm³ (INPA, 1991; NASCIMENTO; GARCIA; DIAZ, 1997).

Por possuir grande potencial ornamental, a espécie é utilizada no paisagismo em geral, sendo muito empregada na arborização urbana e rural na região norte do país. É ótima para plantios mistos em áreas de preservação permanente, graças ao seu rápido crescimento em ambientes abertos, além de possuir características físicas que possibilitam seu uso em armações de balsas, obras internas, carpintarias, forros, caixotaria e na fabricação de poupa-celulósica (LORENZI, 2002a).

Tamanqueira (*Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke)

Nome vulgar: Tamanqueira.

A espécie pertence à família Lamiaceae e ocorre na Floresta Amazônica, Caatinga, Savana do Brasil Central e Mata Atlântica. Não é endêmica para o Brasil e se distribui por todos os estados do país (HARLEY et al., 2015). Árvore decídua, heliófita, pertencente ao grupo ecológico das espécies pioneiras (FERRETTI et al., 1995) a secundárias iniciais (DURIGAN; NOGUEIRA, 1990). Sua altura média atinge até 18 m e seu diâmetro 30 cm. Tronco irregular e tortuoso, casca cinza-esbranquiçada pulverulenta, casca interna de cor verde-amarelada (CARVALHO, 2006). Sua madeira é considerada leve e mole (LORENZI, 1992) com densidade básica média de 0,42 g/cm³ (OLIVEIRA, 2014).

Possui Camadas de crescimento distintas demarcadas por anel semiporoso, faixa marginal de parênquima axial e espessamento radial das fibras no final do lenho tardio. Apresenta lenho com anel semiporoso, vasos predominantemente solitários, com tilos ocasionais e parênquima axial em faixas e paratraqueal vasicêntrico aliforme (GOULART, 2012).

Dentre as principais utilizações da sua madeira, destaca-se o emprego em projetos paisagísticos, carpintaria, caixotaria, tamancaria, obras internas e confecção de cepas de escovas e fabricação de tamancos (CARVALHO, 2006).

Timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J. WGRIMES)

Nome vulgar: timborana, fava-folha-fina e timbaúba.

A espécie pertence à família Fabaceae, subfamília mimosóidea. É a única espécie do gênero que ocorre na Amazônia, principalmente na bacia do rio Amazonas e nas Guianas, tendo sido encontrados registros também na Costa Rica. É uma árvore muito grande que pode crescer até 50 metros de altura, sendo uma espécie secundária tardia em alguns lugares, e dominante em florestas tropicais (EMBRAPA, 2004).

A madeira é moderadamente pesada e dura ao corte manual, com cerne pouco distinto, marrom a marrom-avermelhado; alburno marrom-claro; brilho médio; grã irregular; textura média. Suas propriedades mecânicas se assemelham às de vários breus, especialmente espécies de *Trattinickia*, como por exemplo, a fava amargosa (EMBRAPA, 2004). Sua madeira segundo Silva et al. (2018) de 0,59 g/cm³, porém outros estudos mostram que ela pode ser considerada como um espécie de alta densidade variando de 0,69 a 0,90 g/cm³ (LIMA, 2020).

Possui camadas de crescimento visíveis a olho nu, demarcadas por zonas fibrosas mais escuras, apresentando parênquima axial visível a olho desarmado do tipo vasicêntrico escasso aliforme unilateral. Os vasos são visíveis a olho nu, solitários e múltiplos de até quatro com distribuição difusa, médios, pouco abundantes e desobstruídos (SANTINI JUNIOR, 2013).

A madeira é indicada para confecção de móveis, lâminas faqueadas decorativas, tacos e tábuas para assoalhos, batentes de portas, implementos agrícolas, carrocerias, guarnições, molduras para embarcações, vigas, caibros, ripas e obras externas (EMBRAPA, 2004).

5.2 A madeira, suas propriedades e a biodegradação

A madeira é um material composto de células produzidas por árvore para suportar a copa, conduzir água e nutrientes dissolvidos do solo até a copa e armazenar materiais de reserva (principalmente carboidratos). Sendo assim, ela é um material heterogêneo, com uma variabilidade estrutural e química refletida numa ampla gama de propriedades físicas e químicas; dentre elas, a densidade, permeabilidade, a impregnação e a resistência. O arranjo de seus componentes físicos (macroscópicos, microscópicos e ultramicroscópicos) define a estrutura lenhosa como uma engenhosa organização arquitetônica da madeira. A estrutura desse

material adquire uma importância muito significativa devido à sua influência em algumas das propriedades definidoras para o seu uso (WASTOWSKI, 2018). É constituída por tecidos formados por células com paredes celulares espessas, cujas formas e tamanhos variam de acordo com a espécie. A integridade estrutural destes tecidos é atribuída à lamela média, uma camada que mantém as células adjacentes unidas entre si (ROWELL, 2005).

O lenho da madeira é constituído principalmente por células de forma alongada apresentando vazio interno (lume), mas tendo tamanhos e formas variadas, de acordo com a sua função e com a classificação botânica da árvore (DIAS et al., 2005).

As madeiras das angiospermas são constituídas principalmente por fibras, parênquimas e elementos de vasos. Neste caso, as fibras, que têm comprimento de 1,0 a 2,0 mm, são as responsáveis por conferir resistência e rigidez à madeira. Os elementos de vaso, com diâmetro de 0,02mm até 0,5mm, têm a função de transportar a seiva bruta. Ambos estão dispostos paralelamente à altura da árvore. As células parenquimáticas radiais estão dispostas radialmente na seção do tronco da árvore, e têm a função de transportar a seiva elaborada para o interior do lenho. Também armazenam material orgânico não utilizado na formação das células. Adicionalmente, existem células de parênquima axial (ROWELL, 2005).

Com o passar do tempo, a árvore cresce em altura numa proporção maior do que em diâmetro, resultando na necessidade da formação de um tecido interno que proporcione mais resistência ao caule. Assim, com o crescimento da árvore, é formado na madeira o cerne onde, as células que já foram de alburno são lentamente preenchidas com materiais estranhos como óleos, graxas e compostos fenólicos, derivados de processos metabólicos, os quais alteram várias características físico-químicas da madeira como a permeabilidade, apresentando uma menor mobilidade de substâncias como preservantes e adesivos nas peças de madeira (ALBUQUERQUE et al., 2005).

Em termos de ultraestrutura, a parede da célula vegetal é segmentada em três partes básicas: parede primária, parede secundária que se divide em três camadas, externa (S1), média (S2) e a interna (S3), e a lamela mediana. Estas camadas são compostas por microfibrilas celulósicas orientadas no espaço de forma definida, dependendo da camada, unidas em matriz de lignina, hemiceluloses e pectinas (WASTOWSKI, 2018).

Em razão da complexidade da formação da madeira, o exame de sua constituição molecular toma por base as substâncias que a constituem. A madeira apresenta três componentes orgânicos principais, que são: celulose, hemiceluloses e lignina.

O principal componente estrutural das paredes de madeira é a celulose, um polissacarídeo de longa cadeia de moléculas de glicose unidas terminadas por ligações hidroxila

sem ramificação lateral. A celulose forma uma estrutura parcialmente cristalina em maior proporção e parcialmente amorfa. Dentro das diferentes camadas da parede celular, a celulose existe como um sistema de fibrilas de 3-4 nm de diâmetro agregados em unidades estruturais maiores. As microfibrilas de celulose são helicoidais em ângulos diferentes nas várias camadas de parede celular, essa organização contribui para a resistência mecânica (FENGEL; WEGENER, 1989).

No que se refere as hemiceluloses, deve ser observado que o termo não designa um único composto químico, mas sim um conjunto de componentes poliméricos presentes em vegetais fibrosos, possuindo cada hemicelulose propriedades peculiares (OLIVEIRA, 1997). São polímeros amorfos, de baixa massa molecular em relação à celulose, os quais, são intimamente associados com a celulose, constituídos de uma cadeia central ramificada. Na parede celular, atuam como uma matriz, na qual estão imersas as microfibrilas de celulose e são os componentes mais higroscópicos junto com as pectinas, que atraem moléculas de água nas paredes celulares (FOELKEL, 1977).

A lignina, segundo Eaton e Hale (1993), é definida como um polímero tridimensional complexo, de elevado peso molecular, amorfo, que trabalha como material incrustante em torno das microfibrilas, conferindo a rigidez às paredes celulares dos elementos anatômicos, tornando-as resistentes às solicitações mecânicas.

Outros compostos não essenciais (não constituintes da parede celular) são encontrados na madeira. Muitos destes componentes são prontamente solúveis em água ou solventes orgânicos neutros, razão pela qual são coletivamente denominados extraíveis. Outros, como proteínas e sais de ácidos inorgânicos, por outro lado, podem ser completamente insolúveis nos solventes utilizados para a remoção dos extraíveis (BROWNING, 1967).

Frequentemente associados a propriedades como cor, cheiro e sabor, os extrativos são constituídos de misturas de substâncias de baixa massa molar envolvidas no metabolismo da planta. Quimicamente, consistem em açúcares, compostos aromáticos, ceras, ácidos graxos e resinas (terpenos, lignanas, estilbenos, flavonóides), entre outros (RAMOS, 2003). Estes compostos desempenham um papel importante no processo de biodegradação da madeira, pois podem atuar como mediadores que fomentam a redução de íons metálicos como o Fe^{3+} e a atividade de enzimas como a manganês peroxidase. Por outro lado, também podem atuar como protetores da madeira, devido à atividade antimicrobiana exibida por vários de seus constituintes (VENALAINEN, 2004).

A junção das propriedades químicas e anatômicas das árvores possui uma influência em uma das suas principais características físicas, a densidade, que é representada pela quantidade

de material lenhoso por unidade de volume ou do volume de espaços vazios presentes na madeira, sendo o índice mais utilizado para avaliar a viabilidade do uso da madeira para diversas finalidades (VALERIO et al., 2008). Essa característica da madeira apresenta uma relação estreita com o comportamento das fibras durante a degradação (GONÇALEZ et al., 2010). Alguns autores (OLTEAN et al., 2008; POUBEL et al., 2011; PEREIRA et al., 2016) relataram que a maior densidade básica da madeira está relacionada à maior quantidade de fibras por mm², maior espessura da parede das fibras e/ou menor quantidade de parênquima axial, raios e elementos de vaso indicando menor proporção de vazios. Assim, o tamanho e proporção desses componentes anatômicos interferem diretamente no aumento ou diminuição de densidade, ganho de resistência à degradação e na capacidade de durabilidade natural do material. Outro fator que interfere nessa característica é a quantidade componentes extraíveis presentes por unidade de volume (OLIVEIRA et al., 2007). Porém, segundo Silva (2003), a densidade não deve ser considerada como um único índice de qualidade da madeira, pois outras propriedades como a composição química e as características anatômicas também devem ser avaliadas.

Alguns fatores próprios à constituição de cada espécie estão diretamente ligados à durabilidade da madeira, tornando-a mais ou menos suscetível à ação de agentes biodegradadores. A durabilidade natural da madeira pode ser definida como a resistência intrínseca que ela apresenta como resposta ao ataque de organismos destruidores, sendo variável entre espécies, entre indivíduos dentro de uma mesma espécie e entre regiões diferentes de um mesmo indivíduo. Segundo Ritter e Morrell (1990), a madeira é extremamente resistente à deterioração biológica, denominada também por Lelis et al. (2001) como biodegradação, entretanto, diversos organismos desenvolveram a capacidade de utilizar a madeira de tal maneira que alteram suas propriedades. Walker (2006) cita que a durabilidade natural da madeira está pautada, principalmente, na concentração de extrativos fenólicos (taninos, polifenóis, estilbenos, lignanas e flavonoides). Essa concentração de extrativos é variada, e isso gera a heterogeneidade das espécies florestais, modificando sua durabilidade natural. Dessa forma, afeta as condições de uso da madeira e, somente reconhecendo os fatores biológicos, físicos, químicos e mecânicos que interferem nela é que podemos compreender o modo adequado e racional de utilizá-la, evitando inconvenientes do uso de produtos químicos e até mesmo a substituição de peças deterioradas (CARVALHO et al., 2015).

5.3 Biodegradação da madeira por cupins

A madeira é um material renovável e importante, porém é deteriorada por agentes biológicos e não biológicos (MORESCHI, 2013). Portanto, o estudo da biodegradação de materiais lignocelulósicos é relevante por permitir entender o processo de podridão que ocorre na natureza, que é responsável por parte importante do ciclo de carbono (AGUIAR; FERRAZ, 2011). Enquanto o dióxido de carbono retorna para o ar com a deterioração de produtos, a água, sais minerais e outros elementos, retornam para o solo e tornam-se novamente disponíveis para o surgimento / desenvolvimento de novas plantas, animais ou outros produtos (MORESCHI, 2013).

Muitos organismos evoluíram para utilizarem a madeira como forma de alimentação, pois ela proporciona nichos ecológicos específicos (SINGH, 2005). Agentes biológicos como bactérias, larvas e adultos de insetos e fungos atuam como agentes de degradação desse material (MORESCHI, 2013). Segundo Lelis et al. (2001), biodeterioração é o termo empregado para designar alterações indesejáveis geradas pela ação, direta ou indireta, de seres vivos, nos materiais em uso pelo homem, podendo ser prejudicial aos bens materiais e até mesmo à vida humana. Um exemplo de biodeterioração é o ataque de cupins em peças estruturais de madeira numa edificação, podendo até ocasionar ruínas parciais ou totais. Já a biodegradação é um processo desejável para a qualidade do meio ambiente e/ou do ecossistema e, por essa razão, é frequentemente utilizada pelo homem em seu benefício. Um exemplo de biodegradação é a ação de microrganismos sobre resíduos industriais, diminuindo o tempo de permanência desses produtos no meio ambiente. Em ambos os casos, os processos levam à decomposição por apodrecimento do substrato, isto é, há uma redução do material aos elementos que o constituem. Dentre os vários grupos de organismos capazes de causar danos à madeira, os principais são aqueles denominados xilófagos, pelo fato da madeira ser a sua principal fonte de alimento. Lelis et al. (2001) consideram que dentre todos organismos xilófagos, os de maior importância econômica no Brasil são os fungos no grupo dos microrganismos e os cupins e as brocas-de-madeira no grupo dos insetos. Dentre os últimos, os cupins, pertencentes à ordem Isoptera, são Eussociais, apresentam vários tipos morfológicos, se dividem em castas que possuem divisão de trabalho e funções biológicas diferentes, apresentam ambos os sexos, são diploides e têm desenvolvimento hemimetábolo, sendo que os jovens também participam do trabalho colonial (GALLO et al., 2002).

Vivem em colônias que, geralmente, incluem um casal reprodutivo (rei e rainha) e inúmeros trabalhadores e soldados estéreis, que têm como função buscar alimento, construir e manter o ninho, cuidar dos ovos e ninfas e defesa (COSTA-LEONARDO, 2002). As colônias de termitas variam em tamanho desde centenas a milhões de indivíduos, ou mais (BRITO,

2014). Os trabalhadores da colônia são os que causam a destruição da madeira, podendo atacar qualquer tipo de material que contenha celulose como peças estruturais e móveis, livros, tecidos de algodão e de linho, entre outros (HIGHLEY, 2010).

Em certa época do ano, geralmente primavera, machos e fêmeas aladas formam enxames, saindo das colônias e voando por curto espaço de tempo. Logo perdem suas asas, copulam e, se forem bem-sucedidos em encontrar um local adequado, iniciam uma nova colônia. O aparecimento do enxame ou apenas das asas descartadas é outro indicativo da presença de uma colônia próxima que pode estar causando danos (HIGHLEY, 2010). Os reprodutores alados em revoada, deixam a colônia-mãe, em igual número de machos e fêmeas (permanecem no termiteiro por até 3 meses antes da revoada). Na época da revoada, os alados tornam-se fototrópicos positivos e começam a abandonar o termiteiro por aberturas laterais feitas pelas operárias (COSTA-LEONARDO, 2002).

Das aproximadamente 2500 espécies da ordem Isoptera, cerca de 300, de diversas famílias, são consideradas pragas. Existem sete famílias reconhecidas, subdivididas em 15 subfamílias, com diferenças na distribuição, biologia e potencial de danos. Seis dessas famílias (Mastotermitidae, Kalotermitidae, Termopsidae, Hodotermitidae, Rhinotermitidae e Serritermitidae) se alimentam da madeira e sua microbiota intestinal é formada por protozoários celulósicos (responsáveis por 1/3 da massa corporal total do inseto) e bactérias anaeróbicas (LOGAN et al., 1990).

Todas as espécies mantêm uma relação simbiótica com micro-organismos que são essenciais para a digestão (CASTRO et al., 2018). A especialização que as espécies desta ordem desenvolveram de se alimentar de madeira é uma das causas primárias para sua evolução como inseto social (HIGASHI et al., 2000).

São importantes invertebrados dominantes nos ambientes terrestres tropicais, desde florestas úmidas até mesmo regiões áridas, degradando madeira, ciclando os nutrientes e participando da manutenção e recuperação do solo (FONTES, 1998). Apresentam uma grande variedade de hábitos (LELIS et al., 2001). Exercem um papel fundamental no funcionamento de vários ecossistemas atuando na disseminação de bactérias e fungos, além de servir de alimento para uma grande variedade de animais, tais como formigas, aranhas, pássaros e mamíferos, contribuindo para a formação da base da cadeia alimentar (FONTES, 1998; COSTA-LEONARDO, 2002).

Como todos os indivíduos, os termitas requerem certas condições de sobrevivência, incluindo alta umidade na madeira, a celulose como fonte de alimento adequada, alto nível de dióxido de carbono e oxigênio (BRITO, 2014).

A celulose é o alimento básico dos cupins e aqueles que atacam a madeira, no Brasil, são denominados xilófagos. A maioria das famílias de termitas não causa prejuízos, pois são espécies que se alimentam de madeira já parcialmente ou intensamente apodrecida, de partes mortas de vegetais sobre o solo e de gramíneas (LELIS et al., 2001).

Do ponto de vista do método de ataque à madeira, os cupins podem ser divididos em duas classes: cupins subterrâneos e cupins de madeira seca. Os cupins subterrâneos vivem no solo, a partir do qual constroem galerias que os protegem e permitem atingir a madeira da qual se alimentam. O solo lhes fornece bastante provisão de umidade. As galerias são feitas de terra e restos de madeira parcialmente digeridas. Esses condutos assim construídos permitem aos cupins se isolarem em condições de alta umidade e escuridão que são indispensáveis à sua sobrevivência. Devido a sua forma de vida, atacam principalmente madeira como as de fundações de prédios, postes, dormentes, moirões de cercas, dentre outras (JANKOWSKY, 1990).

O indicativo da infestação geralmente é a presença de túneis e passagens que os cupins constroem sobre as fundações e áreas expostas para chegar até a madeira (HIGHLEY, 2010). A necessidade da construção desses túneis se deve ao fato desse tipo de cupim não possuir revestimento de quitina no seu corpo, ou seja, possuem pouca resistência à baixa umidade (ROCHA, 2001).

Na madeira, os cupins, geralmente, fazem galerias no sentido da grã. Porém, é raro que a galeria seja visível porque uma fina camada externa da peça é mantida intacta para proteger os indivíduos da luz do sol e, conseqüentemente, redução da umidade. Ao ser forçada por um objeto pontiagudo, essa camada se rompe com facilidade. Outra maneira de detectar o ataque é por meio de batidas leves na superfície suspeita. O som oco é um indicativo de ataque (ROCHA, 2001).

5.4 O estado da arte das pesquisas sobre biodegradação da madeira por cupins

A maior parte das pesquisas sobre biodegradação da madeira são sobre fungos xilófagos. Tais estudos buscam entender os mecanismos de infiltração desses organismos nas estruturas anatômicas da madeira e quais os mecanismos químicos envolvidos, e ainda, quais os componentes da madeira são degradados por cada organismo (DANIEL, 2003; SCHWARZE et al., 2013; AGUIAR; FERRAZ, 2011; TREVISAN et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2005; PAES et al., 2008; LEPAGE, 1986).

Para a área de estudos de biodegradação da madeira por insetos xilófagos, principalmente cupins, sejam de solo ou de madeira seca, os principais estudos são em relação à resistência natural das espécies (FARIAS SOBRINHO et al., 2005; PAES et al., 2008; PAES et al., 2016; PAES; VITAL, 2000; SILVA et al., 2004), a preferência alimentar (PAES et al., 2007), a influência dos extrativos e da quantidade dos mesmos (LELIS et al., 2001; PAES; VITAL, 2000; PAES et al., 2004, 2005; PAES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2005a), a diferença de resistência entre cerne e alburno (PAES et al., 2007; PAES et al., 2016) e a eficiência de tratamentos com preservativos (BRITO, 2017; MATTOS et al., 2013; PAES et al., 2008). Estudos sobre a influência das características anatômicas da madeira e principalmente as químicas, com exceção do teor de extrativos, nesse processo de biodegradação por cupins ainda são escassos. Portanto, entender quais estruturas anatômicas influenciam nesse processo e quais e como os componentes químicos são degradados por esses organismos ainda requerem estudos que elucidem tal processo.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Coleta de material biológico e amostragem

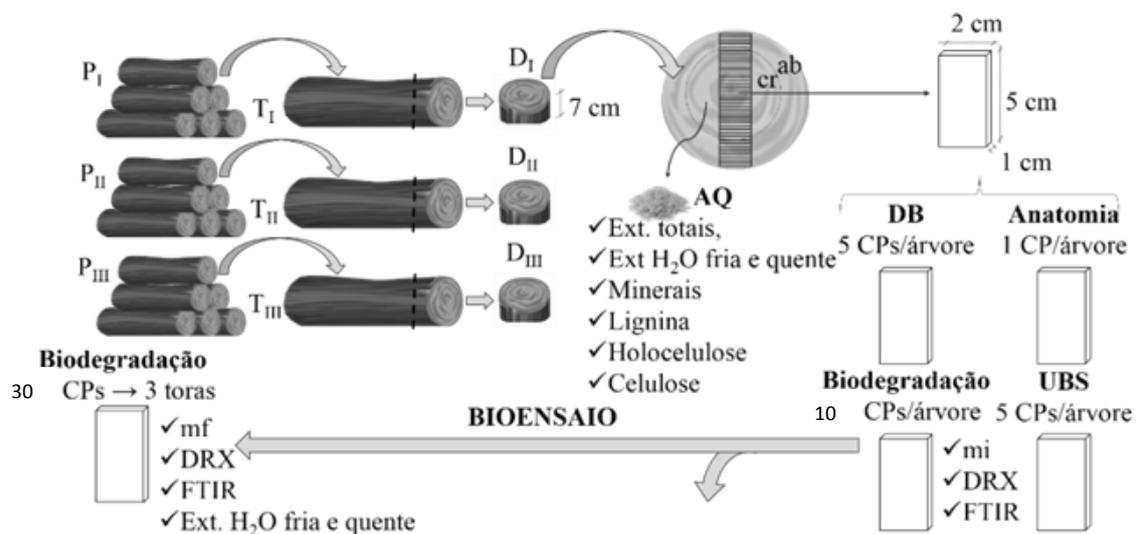
Foram utilizadas amostras cedidas pelo projeto “Avaliação de componentes químicos de diferentes espécies florestais armazenadas, passíveis de contaminação do solo”, realizado em parceria com a empresa Mineração Paragominas S.A., pertencente ao grupo Hydro e localizada no município de Paragominas, mesorregião do sudeste Paraense, coletadas no pátio de estocagem de madeira do ano de 2017, oriundas da supressão vegetal do platô Miltônia III localizada a 3° 30’ e 3° 45’ de latitude sul e 48° 30’ e 48° 45’ de longitude a oeste de Greenwich. Foram selecionadas para o estudo quatro espécies diferentes de madeira, timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J. WGRIMES), pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber), tamanqueira (*Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke) e para-pará (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don), identificadas conforme NIDX 04/2019, pela xiloteca da Embrapa Amazônia Oriental. Tais espécies foram escolhidas de acordo com densidade básica da madeira e coloração da madeira como critério. Foram selecionadas duas espécies consideradas de densidade alta (*Euxylophora paraensis* Huber e *Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J. WGRIMES) e duas de densidade baixa (*Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke e *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don). Dentre essas, para cada densidade considerou-se uma espécie que apresente uma coloração mais clara e outra mais escura, sendo assim possível avaliar não só a

variação que ocorre dentro da mesma densidade, como também entre diferentes colorações relacionadas à composição química da madeira.

Foram selecionadas, de diferentes pilhas de madeira (P_I , P_{II} e P_{III}), três troncos de cada espécie (T_I , T_{II} e T_{III}). Foi retirado um disco de aproximadamente 7 cm de espessura da extremidade de cada indivíduo. Do disco, obteve-se uma peça central de 8 cm de largura que contém o cerne e o alburno intactos, posteriormente subdividido em quatorze frações de 2 cm de comprimento a partir da medula (Figura 1).

A peça central foi dividida em frações menores com dimensão nominal de 1,0 cm com auxílio de uma serra circular da marcenaria da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). O comprimento dos corpos de prova (direção axial) foi ajustado para 5 cm. Para a análise das variáveis anatômicas, densidade básica e umidade, foram utilizados corpos de prova retirados dos discos de forma aleatória (Figura 1). Para análise da composição química, foram utilizadas as duas costaneiras do disco.

Figura 1 - Coleta, amostragem e análises realizadas.



Pilhas de estocagem (P_I , P_{II} e P_{III}); Toras da mesma espécie selecionadas (T_I , T_{II} e T_{III}); Discos de madeira (D_I , D_{II} e D_{III}); Cerne (cr) e alburno (ab) do disco amostrado; Análise química (AQ); Densidade básica (DB) e umidade base seca (UBS); Corpos de prova por árvore (CPs).

6.2 Ensaio de resistência

O ensaio foi executado segundo a norma da “American Society for Testing and Materials” ASTM D-3345 (1994). Frascos de 500 ml de capacidade foram preenchidos com

200 g de areia, cuja umidade foi corrigida para 80% da capacidade de retenção pela adição de 30 ml de água destilada (Figura 2). Em cada frasco, foi adicionado um corpo-de-prova e $1 \pm 0,05$ g de cupins subterrâneos do gênero *Nasutitermes*, coletados no campus sede da UFRA. Para evitar a fuga e permitir a respiração dos cupins, os frascos foram tampados com tecido que permite circulação de ar e ligas elásticas. Foram montadas cinco repetições para cada espécie e tempo de interrupção do ensaio. O ensaio permaneceu no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (LTPF) do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da UFRA por um período de seis semanas em condições ambientais do Laboratório, realizando-se cinco repetições por espécie a cada sete dias. Para avaliar a resistência da madeira, foram computados a perda de massa e o desgaste visual das amostras.

Os resultados para os testes de resistência natural das madeiras consistiram em dois fatores principais analisados, um parâmetro visual que consiste nas avaliações do estado físico dos corpos de prova (nota de desgaste), e outro em relação a perda de massa das amostras.

Figura 2 - Ensaio de resistência



Fonte: Autor, 2019.

A quantidade de madeira consumida foi avaliada com base na diminuição do valor de massa inicial em relação a final (massa anidra) dos corpos de prova. Em decorrência da falta de uma sala climatizada, foi determinada a umidade seca da madeira em cinco corpos de prova no início do experimento, valor esse que posteriormente foi descontado no cálculo da massa anidra inicial (massa equivalente) (Equação 1).

$$PM\% = \frac{MI_{eq} - MF}{MI_{eq}} * 100 \quad (1)$$

Sendo:

PM = perda de massa dos corpos de prova submetidos aos ensaios de apodrecimento (%);

MI_{eq} = massa inicial dos corpos de prova com umidade descontada (g);

MF = massa dos corpos de prova após a sua deterioração a 0% de umidade (g)

O desgaste da madeira provocado pelos cupins foi avaliado conforme recomendado pela norma D-3345 (ASTM, 2005) e apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Avaliação do desgaste provocado pelos cupins nos corpos de prova de acordo com a norma ASTM D-3345 (ASTM, 2005).

Tipos de desgaste	Nota
Sadio, permitindo escarificações superficiais	10
Ataque superficial	9
Ataque moderado, havendo penetração	7
Ataque intensivo	4
Falha, havendo ruptura dos corpos de prova	0

6.3 Análises anatômicas

Foi realizada a maceração para medição das variáveis anatômicas das espécies estudadas, que consiste na individualização das células mediante a dissolução da lamela média, de acordo com o método de Franklin (FRANKLIN, 1945).

Para medição das variáveis anatômicas, foram retiradas fotos das lâminas temporárias em microscópio óptico Motic (BA310Elite). Para medição dos elementos de vaso, foram tiradas fotos com lente de 10x para medição do tamanho e largura. Já para as fibras, foi utilizada a lente de 4x para medição do comprimento da fibra, e a lente de 40x para medição da espessura do lúmen e da parede. Para cada estrutura anatômica, foram realizadas 50 medições conforme estabelecido pela norma da International Association of Wood Anatomists (IAWA) (1989). Todas as variáveis foram medidas com o auxílio do programa Motic Imagens Plus 3.0, e os dados foram digitalizados em planilhas eletrônicas.

6.4 Análises químicas

Para a análise química das madeiras, foram utilizadas lascas das costaneiras dos três discos da madeira dos diferentes indivíduos selecionados. Foram retiradas maravalhas as quais, posteriormente, foram trituradas em moinho analítico.

A serragem obtida da trituração foi classificada entre peneiras de 40 e 60 mesh, sendo utilizadas as frações que ficaram retidas na peneira de 60 mesh. Foi preparada uma amostra composta dos três indivíduos (árvores).

O teor de extrativos solúveis em água quente e água fria foram determinados de acordo com a norma NBR 14.577 da Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT, 2003), com a extração em água fria realizada por 48 horas sem agitação.

Foi utilizada a norma da NBR 14.853 (ABNT, 2010a) para a determinação do teor de extrativos totais. O teor de lignina insolúvel (Klason) foi determinado por hidrólise ácida conforme recomendações da norma NBR 7.989 (ABNT, 2010b). O teor de holocelulose foi determinado pela metodologia apresentada por Browning (1963), enquanto, o teor de celulose foi determinado pela metodologia proposta por Keneddy, Phillips e Willams (1987) utilizando hidróxido de potássio.

6.5 Difração de raios X (DRX)

A análise da difração de raio-x foi realizada com a captura de difratogramas em um difratômetro modelo XRD 600 (Rigaku®), com fonte de radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1540 \text{ \AA}$), obtida por 30 kV em corrente de filamento de 30 mA, o escaneamento foi realizado a uma taxa de 2 θ /min de 5 a 30,0° (TONOLI et al., 2012). O índice de cristalinidade foi calculado a partir da intensidade máxima, obtida no pico de cristalinidade principal do difratograma e da intensidade mínima localizada entre os dois picos cristalinos pela equação 2 sugerida por Segal (1959).

$$IC = \left(1 - \left(\frac{I_{am}}{I_c}\right)\right) 100 \quad 2$$

Onde: IC é o índice de cristalinidade (%); I_c é a intensidade máxima do pico cristalino localizado a $2\theta = 22,6$; e I_{am} é a intensidade mínima obtida entre os picos localizados a $2\theta = 16,5$ e a $2\theta = 22,6$.

6.6 Densidade básica

Para determinação da densidade de cada espécie foram utilizados 15 corpos de prova, retirados das costaneiras dos discos. A densidade básica das madeiras foi determinada de acordo com a norma NBR 11.942 (ABNT 2003).

Para nível de classificação das espécies quanto a faixa de densidade, foi utilizado a classificação proposta por Melo, et al (1990), onde:

- Espécie de baixa densidade (madeira leve): densidade, $\leq 0,50 \text{ g.cm}^{-3}$
- Espécies com densidade média (madeira de peso médio): densidade, $0,50-0,72 \text{ g.cm}^{-3}$
- Espécies com densidade alta (madeira pesada): densidade, $> 0,72 \text{ g.cm}^{-3}$.

6.7 Análise estatística

O delineamento experimental empregado no bioensaio foi o inteiramente casualizado, fatorial (espécie em relação ao tempo de exposição) em esquema fatorial 4 x 6, sendo o primeiro fator corresponde às espécies de madeira e o segundo fator corresponde o tempo de exposição dos corpos de prova a biodegradação. Para cada tratamento, foram estabelecidas 5 repetições, totalizando 120 unidades experimentais.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade das variâncias, a fim de assegurar a viabilidade de aplicar a análise de variância. Em seguida, foi realizada a análise de variância (ANOVA), e teste de comparação de médias pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Para se avaliar as relações entre as diferentes variáveis químicas, anatômicas e a densidade com a perda de massa foi realizado uma regressão linear múltipla.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em duas etapas: (1) Relação entre as variáveis estudadas e a perda de massa e (2) comportamento da biodegradação em relação aos tempos observados.

7.1 Relação entre as variáveis estudadas e a perda de massa

Para as variáveis anatômicas os resultados mostram que houve diferenças entre as características anatômicas das quatro espécies como mostra a Tabela 2. Em relação ao tamanho das fibras, as espécies *E. paraensis* e *J. copaia* foram as que apresentaram os maiores valores, não diferindo entre si. Contudo, para o restante das variáveis, ambas as espécies apresentaram

diferenças significativas entre si. Já as espécies *P. suaveolens* e *A. integrifolia* apresentaram valores estatisticamente diferentes entre si, para a variável espessura da parede de fibra, porém, para as outras variáveis, os valores foram estatisticamente iguais (Tabela 2). A figura 3 mostra o detalhamento na diferenciação dessas estruturas.

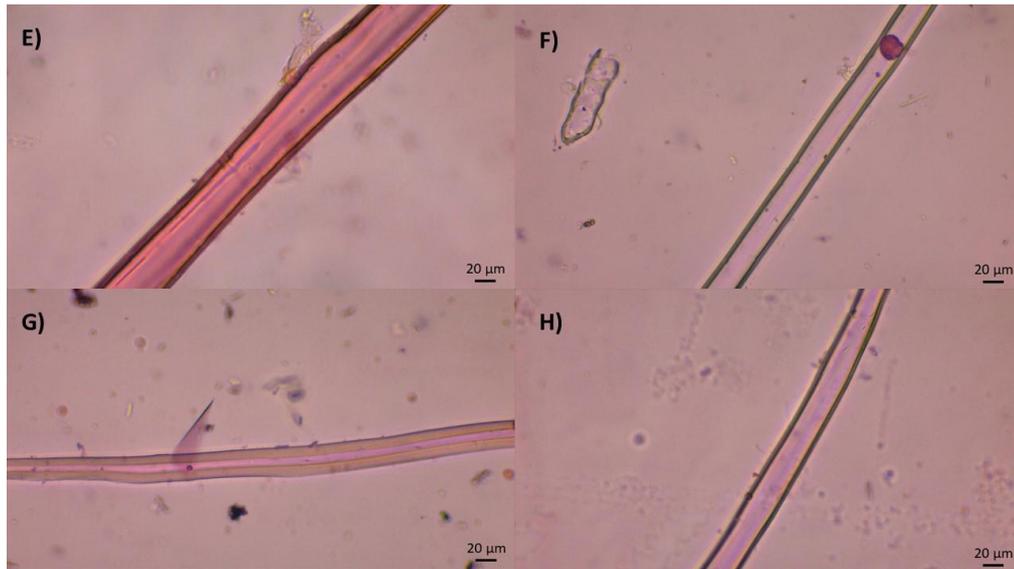
Tabela 2 - Avaliação das variáveis anatômicas.

Espécie	Média das variáveis (μm)				
	Tamanho de fibra	Espessura da parede de fibra	Diâmetro do lúmen	Tamanho do vaso	Diâmetro do elemento de vaso
<i>E. paraensis</i>	1172,96 A	5,92 A	6,28 B	768,67 A	170,35 B
<i>J. copaia</i>	1132,53 A	3,98 B	21,64 A	487,90 B	255,67 A
<i>P. suaveolens</i>	1023,17 B	4,16 B	15,79 AB	327,46 C	148,25 C
<i>A. integrifolia</i>	1066,69 B	3,53 C	14,34 AB	347,39 C	137,86 C

Letras diferentes representam diferenças significativas

A espécie que apresentou maior valor de espessura da parede das fibras (*E. paraensis*), foi também, a que mostrou menores valores de perda de massa no processo de biodegradação (Figura 10). As diferenças em relação as fibras das espécies estudadas, pode ser um fator importante no processo de biodegradação. Segundo estudo de Quartey (2009), quando comparada a anatomia de espécies em relação a durabilidade natural delas ao ataque de cupins, espécies que apresentaram valores de espessura da parede de fibras maiores se mostraram mais duráveis, outro fator destacado pelo trabalho é o diâmetro dos elementos de vasos. A tendência encontrada mostrou que espécie com menores diâmetros dos elementos de vasos apresentam maior durabilidade, o estudo mostra outras correlações para explicar esse comportamento, dentre elas, a relação da anatomia com a capacidade de absorver umidade, espécies com menores diâmetros de elementos de vasos também apresentaram menor capacidade de absorver umidade, o que pode ser um fator limitante para organismos como cupins de madeira úmida ou solo, que dependem da umidade para o consumo do material.

Figura 3 - Fibras das espécies estudadas.

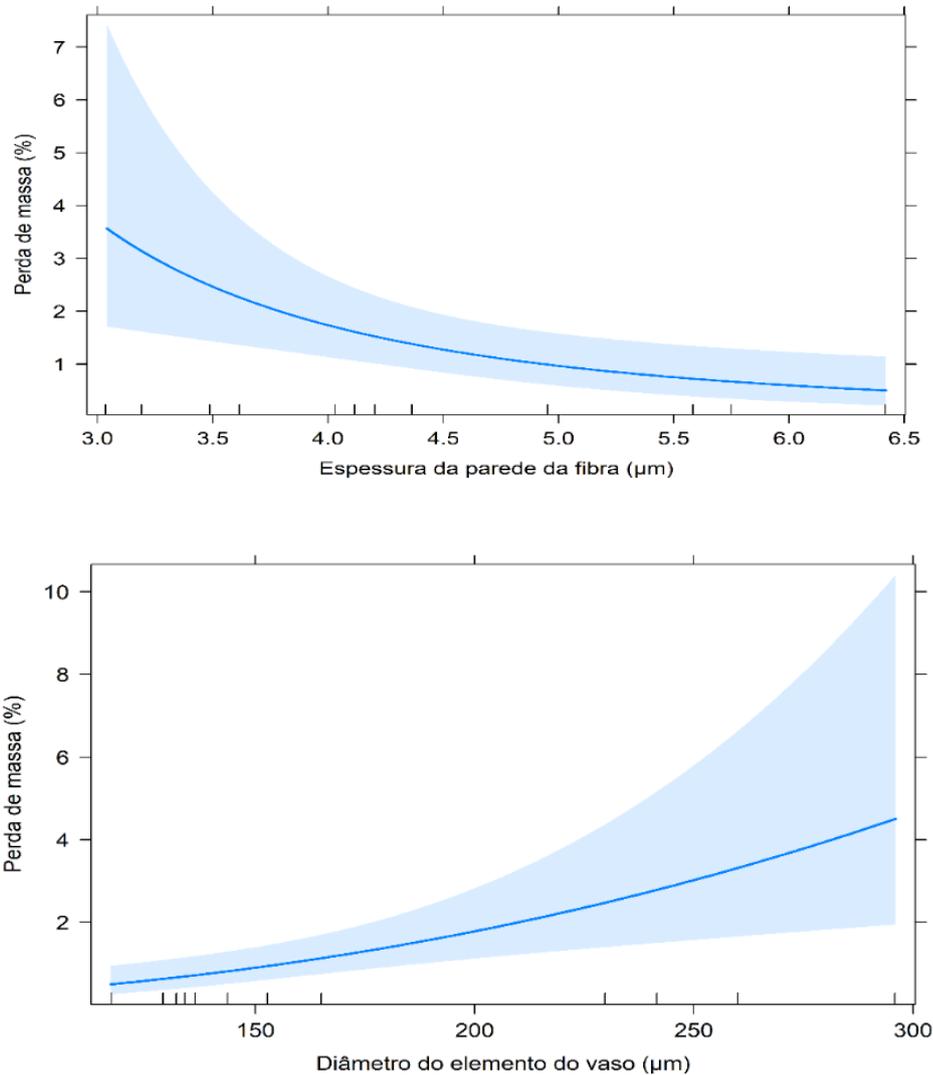


Fonte: Autor.

Onde: E) fibras de *J. copaia*; F) fibras de *P. suaveolens*; G) fibras de *E. paraensis*; H) fibras de *A. integrifolia*, fibras com detalhamento a 40x em microscópio ótico para determinação de espessura da parede e largura do lúmen.

Das variáveis anatômicas estudadas apenas duas (espessura da parede da fibra e diâmetro do elemento de vaso) mostraram relação com a perda de massa no processo de biodegradação das espécies. A espessura da parede da fibra foi inversamente proporcional a perda de massa, como mostrado na Figura 4. A espécie que apresentou a menor porcentagem de perda de massa foi *E. paraensis*, sendo ela a que apresentou a maior espessura da parede. Carlquist (2012) reporta que a espessura da parede das fibras, fornece as plantas resistência para lidar com o peso de sua estrutura e com forças externas, como o estresse por vento e pelo torque, justificando assim, o investimento em celulose e outras substâncias. As microfibrilas presentes na parede celular concentram a maior quantidade de celulose. Fibras com paredes mais espessas contêm uma massa maior de celulose, sendo que a quantidade consumida pelos termitas resulta em uma porcentagem menor de perda de massa em relação ao volume total de madeira, quando comparadas a espécies com fibras que apresentam parede de fibra delgadas.

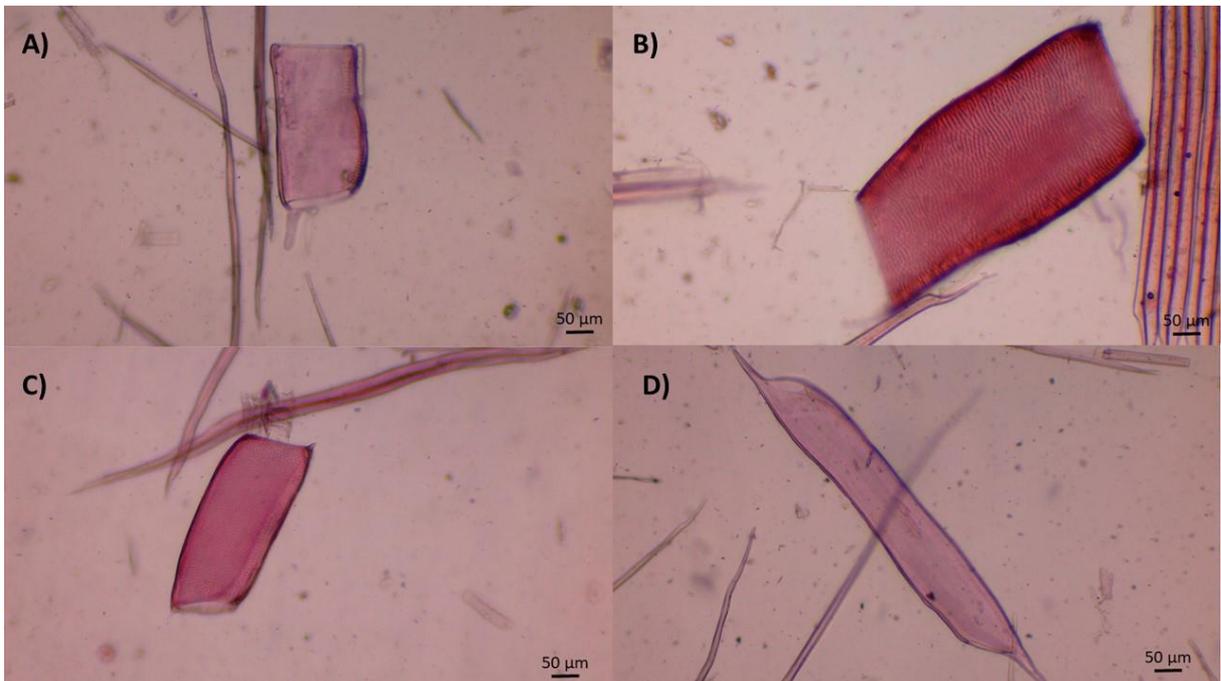
Figura 4 - Análise de regressão linear para variáveis anatômicas.



Para a relação com o diâmetro do elemento de vaso (poro), a perda de massa foi diretamente proporcional (Figura 4), em que espécies que apresentam um maior diâmetro do elemento de vaso, também apresentam uma maior porcentagem de perda de massa, isso pode ser observado na espécie *J. copaia*. Segundo Carlquist (2012) a madeira é um tecido complexo, em que cada um dos componentes histológicos apresenta polimorfismo como um mecanismo evolutivo, que é afetado por vários fatores. Tal tecido passou por um processo adaptativo e evolutivo, durante o qual as células sofreram uma maior diferenciação e especialização de funções. Quando se fala em condutividade, as espécies passaram de uma segurança condutiva para uma eficiência condutora o que levou ao aparecimento de vasos mais curtos e com larguras maiores, porém não sendo isso uma regra.

Nas análises foi possível verificar uma tendência quanto a essa modificação. As espécies que apresentaram comprimento de vasos menores e maiores diâmetros, consideradas mais evoluídas, tiveram uma menor resistência ao processo de biodegradação (Figura 5).

Figura 5 - Elementos de vasos das espécies estudadas.



Fonte: Autor.

Onde: A) *P. suaveolens*; B) *J. copaia*; C) *A. integrifolia*; D) *E. paraensis*.

Um ponto importante a se destacar é que as variáveis anatômicas, influenciam diretamente nas características das espécies, como por exemplo, a densidade, variável muito utilizada para descrever a qualidade e o uso das madeiras.

Os componentes secundários da madeira são representados pelos extrativos e pelos teores de cinza (inorgânicos) descritos na tabela 3. A *P. suaveolens* se destacou das demais espécies em relação ao teor de extrativos totais, enquanto que o *J. copaia*, se comparado com as outras 3 espécies estudadas, apresentou a maior teor de componentes inorgânicos.

Tabela 3 - Composição química *in natura* das espécies de estudo.

Análise	Espécie			
	<i>E. paraensis</i>	<i>J. copaia</i>	<i>A. integrifolia</i>	<i>P. suaveolens</i>
	-----%-----			

Extrativos totais*	7,3 ^(0,19)	5,1 ^(0,05)	6,8 ^(0,12)	12,1 ^(0,07)
Inorgânicos*	0,18 ^(0,04)	0,23 ^(0,09)	0,03 ^(0,00)	0,03 ^(0,02)
Lignina**	25,1 ^(0,64)	27,7 ^(0,68)	26,3 ^(0,13)	29,4 ^(0,43)
Holocelulose**	80,6 ^(1,27)	80,6 ^(0,37)	81,2 ^(1,90)	78,5 ^(1,66)
Celulose**	48,9 ^(0,77)	50,1 ^(0,24)	48,0 ^(0,06)	50,8 ^(0,57)
Hemiceluloses**	31,8 ^(0,77)	30,5 ^(0,24)	33,2 ^(0,06)	27,6 ^(0,57)

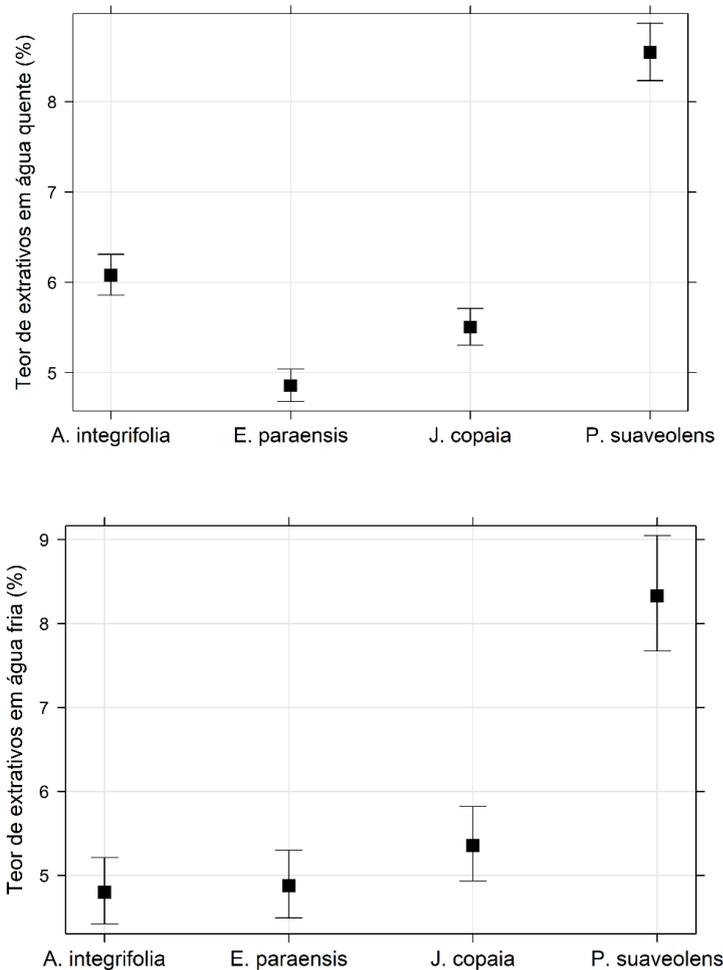
*base massa total de madeira; **base massa de madeira livre de extrativos; desvio padrão entre parênteses.

O teor de lignina é um importante componente na estrutura da parede celular, e confere a planta, resistência mecânica e maior resistência a biodeterioração por agentes biológicos, pois juntamente com as polioses englobam as microfibrilas de celulose (componente alvo dos agente degradadores), formando uma matriz amorfa agindo como uma barreira natural. (CURRELI, 2002).

O teor de cinzas é considerado como um fator de resistência ao ataque de xilófagos. Paes et al., (2013) em seu estudo sobre a degradação de espécies do semiárido por cupins do gênero *Nasutitermes* mostraram que quanto maior o teor de cinzas nas espécies, maior a resistência natural delas ao ataque. Isto ocorre em função da dificuldade dos cupins escarificarem madeira com maiores teores de cinzas (substâncias abrasivas), que podem danificar suas mandíbulas, reduzindo seu potencial de ataque. Porém, os resultados mostrados na tabela 3, não corroboram com os de Paes et al. (2013), pois não foi encontrado uma relação entre o teor de cinzas das espécies e a resistência natural das mesmas, sendo a espécie que apresentou o maior teor de cinzas (*J. copaia* – 0,23%) a mesma que apresentou a maior perda de massa.

Com relação ao teor de extrativos solúveis, tanto em água fria quanto em água quente, observou se que os pressupostos da análise de variância foram atendidos, havendo diferença significativa, com 5 % de probabilidade de erro. Este resultado é mais bem evidenciado na figura 6, onde são mostradas quais espécies diferiram entre si. Para os extrativos solúveis em água quente, todas as espécies apresentaram diferenças significativas entre si. A *P. suaveolens*, assim como observado para o teor em água fria, apresentou a maior média, seguida pelas espécies *A. integrifolia*, *J. copaia* e *E. paraensis*. Para o teor de extrativos solúveis em água fria, a *P. suaveolens* mostrou valores médios significativamente maiores em relação as demais espécies. *J. copaia*, *E. paraensis* e *A. integrifolia* apresentaram médias similares entre si para essa variável. (Figura 6).

Figura 6 - Porcentagem de extrativos solúveis presentes na Madeira de quatro espécies florestais amazônicas.



Oliveira et al. (2005a) afirmam que a qualidade e a quantidade desses extrativos variam entre espécies e dentro da espécie. Segundo Wastowski (2018), isto está associado a diversos fatores, tais como, a idade da árvore e a região de procedência.

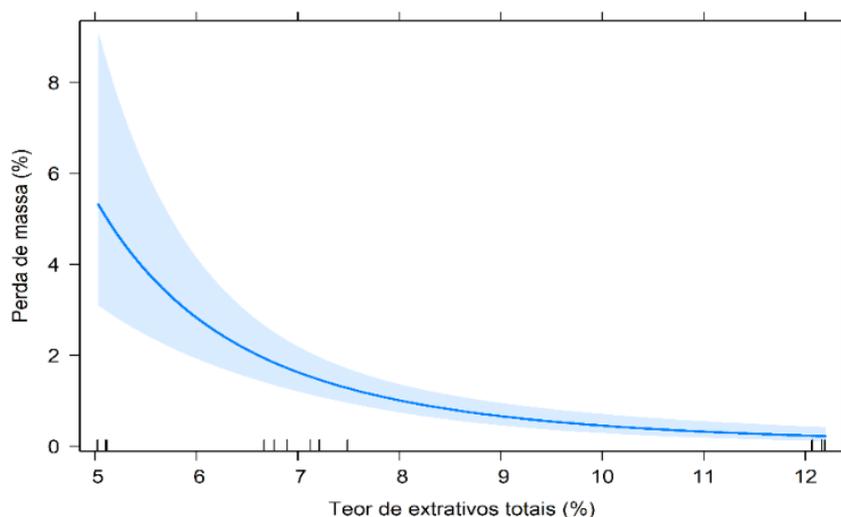
Segundo Oliveira et al. (2005) os extrativos que conferem durabilidade à madeira são normalmente formados durante a transformação do alburno em cerne, sendo de caráter fenólico e polifenólico, que se acumulam nos lumens e paredes das células, resultando, na maioria das vezes, numa coloração escura do cerne. A extração desses extrativos pode ocorrer por diversos solventes entre eles, a água fria, que extrai componentes como taninos, açúcares e corantes e a água quente, que extrai as mesmas substâncias que a água fria, além de amido.

A espécie que apresentou a maior diferença entre o teor de extrativos em água quente e fria foi *A. integrifolia*, que foi da faixa de 5% para 6% em relação aos diferentes métodos de

extração. No tocante aos extrativos totais, as espécies que apresentaram maior diferenciação no teor de extrativos em relação a extração em água quente ou fria foram: *E. paraensis* (passou da faixa de 5% para 7,3%) e *P. suaveolens* (passou de 8% para 12%) (Figura 7).

Para as características químicas, o teor de extrativos totais apresentou relação com a porcentagem de perda de massa das espécies, como mostra a figura 7. A relação com teor de extrativos totais foi inversamente proporcional, sendo que quanto maior o teor, menor é a porcentagem de perda de massa. A *P. suaveolens*, que apresentou o maior teor de extrativos totais, também apresentou baixa perda de massa em relação às outras espécies. Esse resultado é encontrado por outros autores em estudos sobre biodegradação por cupins xilófagos.

Figura 7 - Análise de regressão linear para variáveis químicas.



Os extrativos são considerados uma grande fonte de variação, e são os responsáveis pela maior ou menor suscetibilidade da madeira a fungos e outros agentes deterioradores ou, em sentido oposto, pela “resistência natural” deste material (MORESCHI, 2013). Paes (2002) em estudo sobre a resistência da madeira de *Corymbia maculata*, associou a resistência natural dela a sua taxa de extrativos e a natureza deles. Corassa et al. (2014), em estudo sobre resistência a degradação por cupins em campo de apodrecimento de cinco espécies florestais, observaram que as espécies que apresentavam maiores quantidades de extrativos totais foram as mais resistentes, porém, os mesmos autores ressaltam a importância de identificar os tipos de extrativos, que podem proporcionar maior ou menor resistência à espécie florestal.

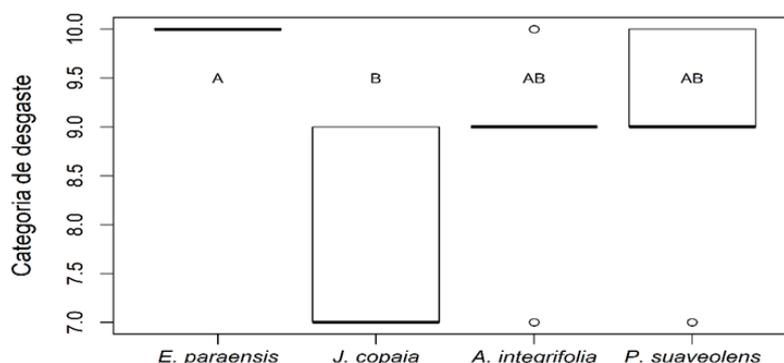
A espécie em estudo que apresentou a maior resistência a biodegradação, *E. paraensis*, segundo Silva et al. (2007), faz parte do grupo da ordem Sapindales conhecidas pela diversidade de metabólitos secundários, destacando-se os alcaloides, especialmente aqueles derivados do ácido antranílico, as cumarinas, as lignanas, os flavonoides e os limonóides. Esses metabólitos de composição fenólica podem ser os responsáveis pela baixa taxa de perda de massa funcionando como repelentes naturais aos agente xilófagos.

A alta resistência biológica de algumas espécies madeireiras é explicada com base nas propriedades de seus componentes químicos, pois, estabeleceu-se que há uma relação entre quantidade e classe de extrativos e a durabilidade natural da madeira (PAES et al., 2007), especialmente quando se tratam de extrativos de natureza fenólica, uma vez que eles apresentam grande potencial para a proteção da madeira contra a biodegradação (KLOCK et al., 2005).

7.2 Bioensaio de degradação pelos cupins de solo

Foi verificado que as categorias de desgastes variaram entre as espécies, mas não entre as semanas, não ocorrendo assim diferença significativa em relação ao tempo de exposição dos corpos de prova aos cupins. A espécie que apresentou os maiores valores médios na categoria de desgaste foi *J. copaia* e a que apresentou os menores valores foi *E. paraenses*, enquanto *P. suaveolens* e *A. integrifolia* apresentaram valores intermediários e sem diferença estatística entre si (Figura 8). Vale ressaltar que segundo a metodologia estabelecida, quanto maior a nota de desgaste menor é a degradação causada no corpo de prova.

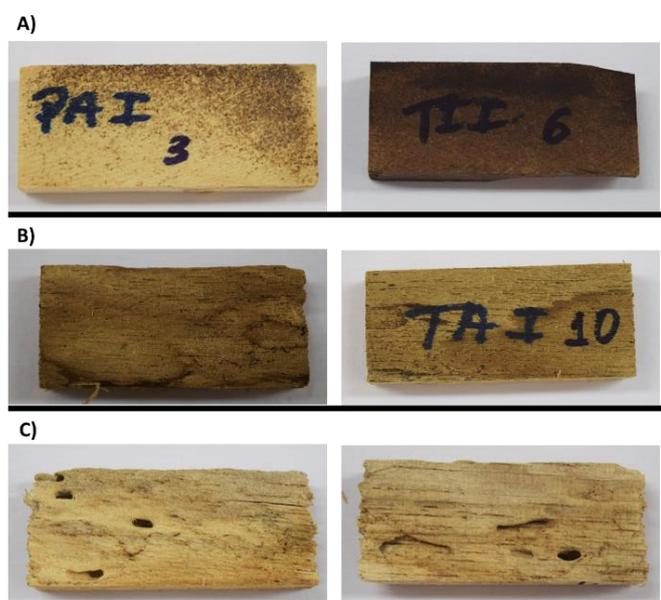
Figura 8 - Categoria de desgaste após seis semanas.



Letras diferentes significam diferenças estatísticas

Nenhum dos corpos de prova chegou ao colapso completo (ruptura parcial ou total dos corpos de prova), recebendo assim, nota de categoria de desgaste apenas até sete. A *J. copaia* foi o que apresentou maior número de corpos de provas com perfurações (Figura 9.C), com relação as outras espécies que nenhum corpo de prova apresentou perfurações, mas sim, apenas, desgastes superficiais ou nenhum desgaste visível (Figura 9) na parte A as imagem é possível visualizar corpos de prova das espécies *E. paraensis* e *P. suaveolens* respectivamente, as quais, não apresentaram perfurações e pouco desgaste superficial. A parte B da imagem mostra corpos de prova da espécies *A. integrifolia* que apresentou desgastes superficiais.

Figura 9 - Aspecto dos corpos de prova por categoria de desgaste

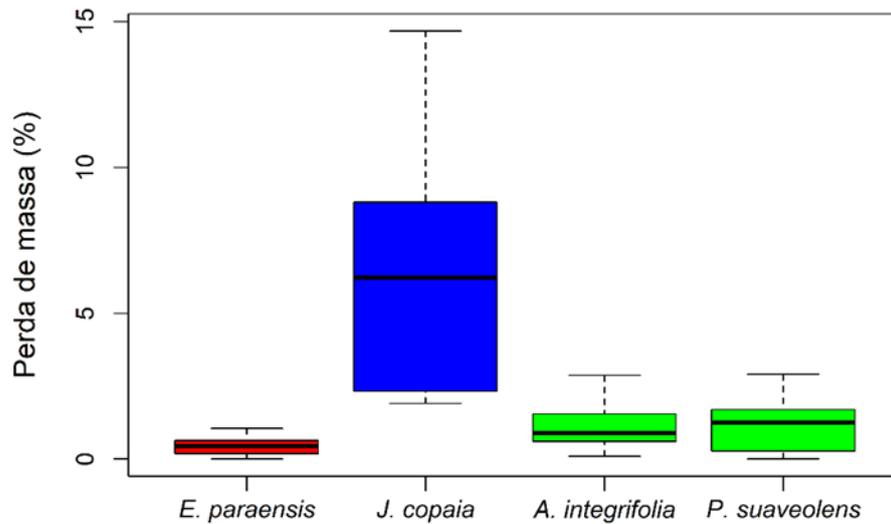


Fonte: Autor, 2020.

Onde: A) corpos de prova classificados como categoria de desgaste de nota 10 (sadio, permitindo escarificações superficiais); B) corpos de prova classificados como nota de desgaste 9 (ataque superficial); C) corpos de prova classificados com nota de desgaste 7 (ataque moderado, havendo penetração). As dimensões dos corpos de provas são: 2x5x1 cm.

A perda de massa média para todo tempo de experimentação (6 semanas) foi diferente entre as espécies, sendo maior na espécie *J. copaia* e menor na *E. paraensis*, obedecendo o mesmo padrão mostrado pela nota de desgaste (Figura 10). As espécies *A. integrifolia* e *P. suaveolens* apresentaram valores de perda de massa médio semelhantes, não diferindo estatisticamente entre si.

Figura 10 - Perda de massa durante o período após seis semanas.

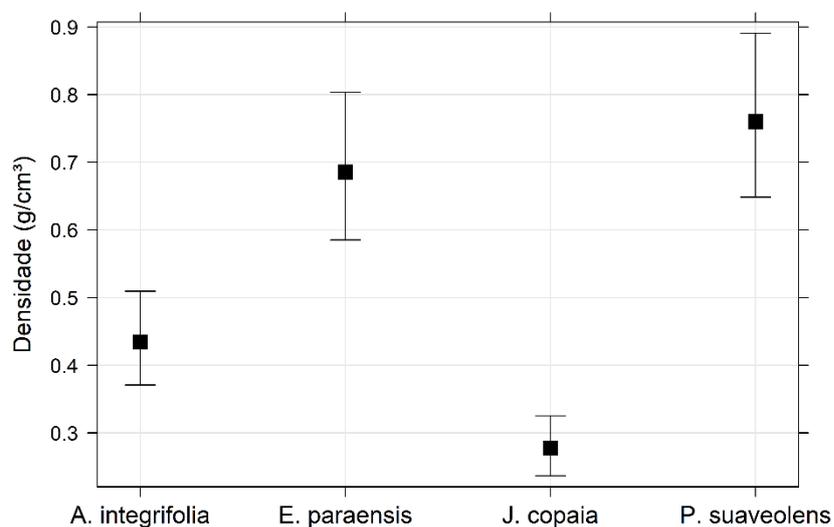


Cores diferentes representam diferenças estatísticas.

Para a variável densidade básica, a análise de variância mostrou diferenças significativas entre as espécies, possibilitando assim, a realização do teste de comparação de médias. Observou-se então, que as espécies *P. suaveolens* e *E. paraensis* apresentaram densidade básica significativamente maior que *J. copaia* e *A. integrifolia*, contudo, similar entre si, assim como *J. copaia* e *A. integrifolia* (Figura 11).

Os valores de densidade básica encontrados para a espécie *E. paraensis* corroboram com valores encontrados por Silva et al. (2018) de $0,71 \text{ g.cm}^3$. Para *P. suaveolens*, os valores de densidade básica encontrados por Silva et al. (2018) de $0,59 \text{ g.cm}^3$ são inferiores ao encontrado no seguinte trabalho.

Figura 11 - Densidade básica de quatro espécies florestais amazônicas.

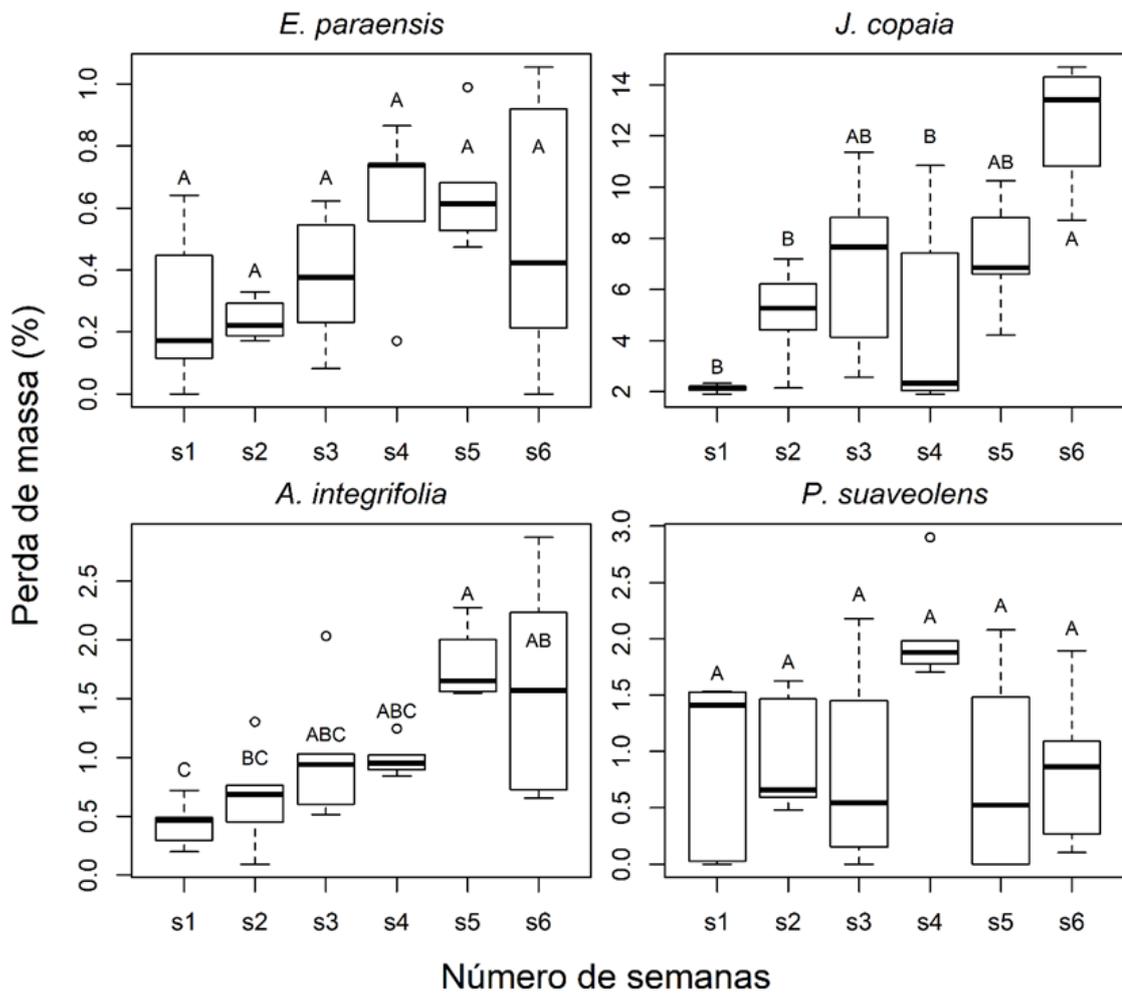


Estudos mostram que a densidade básica das espécies parece sofrer influência principalmente de características anatômicas da madeira, tais como espessura de parede celular das fibras ou mudança na proporção das fibras em relação à proporção dos vasos (OLIVEIRA; SILVA, 2003). Segundo resultados anteriores, as espécies *E. paraensis* e *J. copaia* demonstraram diferenças significativas entre si para todas as características anatômicas analisadas, portanto são as espécies com maior nível de diferenciação entre as quatro, sendo o único parâmetro semelhante o comprimento das fibras. Tal diferenciação na anatomia tem influência na densidade básica, pois as espécies que apresentaram maior e menor diâmetro dos elementos de vaso, foram as que apresentaram a menor e maior densidade, respectivamente.

Os resultados de perda de massa demonstraram que a espécie *J. copaia* de menor densidade apresentou a maior perda de massa. Além do maior diâmetro de vasos, que permite a penetração mais fácil dos insetos na estrutura da madeira, suas fibras têm paredes mais delgadas, que serão mais rapidamente consumidas pelos cupins como alimento. O grande diâmetro do lúmen, indica ainda, menor quantidade de fibras por área observada em vista transversal, em relação a todas as outras espécies estudadas. A madeira desta espécie possui ainda menor teor de extrativos em relação as outras espécies estudadas, apresentando uma maior taxa de biodegradação, uma vez que, essas substâncias contribuem para uma maior proteção ao ataque de xilófagos. O teor de lignina foi o segundo maior dentre as madeiras estudadas, mas as propriedades anatômicas e a consequente densidade básica muito menor atenuaram qualquer efeito positivo da lignina na resistência natural da madeira de *J. copaia*.

Para a análise em relação aos diferentes tempos de exposição dos corpos de prova a ação dos agentes xilófagos, foi observado que duas das quatro espécies não apresentaram variação significativa durante as 6 semanas de experimento, sendo elas *E. paraensis* e *P. suaveolens*, tendo ambas as maiores médias na taxa de biodegradação na quarta semana. Já para a espécie *J. copaia* ocorreu uma variação de forma crescente com uma pequena queda na quarta semana, porém a mesma apresentou seu maior percentual de perda de massa na última semana de experimentação (Figura 12). Para a espécie *A. integrifolia*, o comportamento foi semelhante à espécie anteriormente citada, porém essa apresentou uma baixa na média da taxa de degradação na última semana do estudo e maior taxa na quinta semana, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Diferença de perda de massa durante o período de seis semanas.



Letras diferentes representam diferenças estatísticas.

O estudo mostrou que ocorre uma variação da taxa de degradação entre as diferentes espécies. Paes et al. (2003) analisaram a resistência natural de espécies nativas do semiárido brasileiro ao ataque de cupins subterrâneos *Nasutitermes corniger* e verificaram que a resistência natural variou entre as espécies. Oliveira et al. (1986) citam que tal fato, pode ocorrer devido à fatores como a diferença na densidade das madeiras, maior teor de extrativos, sílica e cinzas presentes ou não nas espécies de madeira estudadas.

Os resultados mostraram que a espécie que apresentou a maior taxa de perda de massa foi também a que apresentou a menor densidade, e as espécies que apresentaram as maiores densidades apresentaram também as menores taxas de perda de massa. Isso mostra que a resistência natural das espécies, pode estar diretamente correlacionada com a densidade, porém que não é a única variável que deve ser levada em consideração, pois apesar de alguns autores correlacionarem a resistência natural das madeiras com a alta na densidade (OLTEAN et al.,

2008; POUBEL et al., 2011; PEREIRA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2007), outros autores não encontraram correlação entre a degradação pelos termitas e a densidade das madeiras, indicando que a resistência natural não está associada à densidade, mas sim a quantidade e classes de extrativos presentes na madeira (PAES et al., 2004). Dentre as espécies estudadas é possível verificar que apesar de demorarem um tempo maior para chegar a mesma taxa de degradação o mesmo ocorre em determinado momento. O *J. copaia*, por exemplo, apresentou uma taxa de degradação de 2% na primeira semana, sendo que, outras duas espécies (*A. integrifolia* e *P. suaveolens*) também apresentaram a mesma taxa, porém, em períodos de exposição maiores (quinta e quarta semana, respectivamente). Isso mostra que uma maior densidade pode influenciar na quantidade de matéria a ser consumida, mas não significa que a espécie seja mais ou menos resistente ao ataque dos xilófagos.

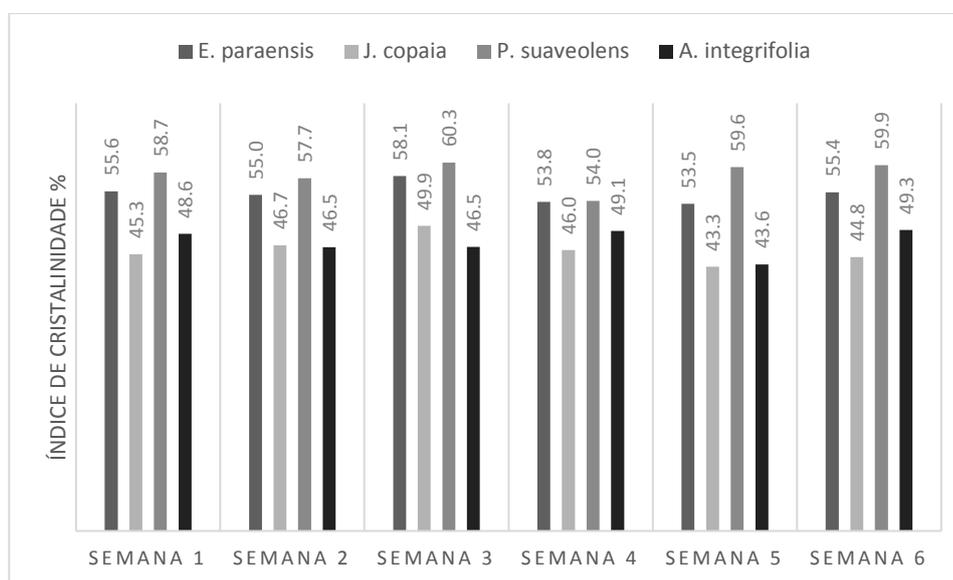
A espécie *P. suaveolens*, que apresentou a maior taxa de extrativos, tanto em água quente como em água fria, não foi a espécie que apresentou a menor taxa de perda de massa, nem a maior nota na categoria de desgaste. Esse resultado, menor taxa de perda de massa e maior nota na categoria de desgaste, foi observado na espécie *E. paraensis*, que apresentou as menores taxa de extrativos. Oliveira et al. (2005a), afirmam que a durabilidade natural da madeira, pode ser atribuída a presença de extrativos que se formam durante a transformação do alburno em cerne. A quantidade de extrativos, não foi o fator preponderante para determinar a espécie mais resistente ao ataque de xilófagos, bem como o teor de extrativos totais e a quantidade de cinzas. A análise da natureza desses extrativos poderia explicar tal comportamento.

Segundo Paes et al. (2016), Gonçalves et al. (2013), Gonçalves e Oliveira (2006) e Oliveira et al. (1986), essas variações se devem ao fato da madeira ser um material de durabilidade natural relativa, que pode apresentar diferentes resistências em relação aos cupins. Não há uma característica exclusiva que relacione o ataque ocasionado pelos cupins nas madeiras, porém, as madeiras mais resistentes aos cupins apresentam as maiores massas específicas, maiores teores de extrativos e maiores componentes inertes, como cinzas e sílicas (EVANS et al., 2005; GONÇALVES e OLIVEIRA, 2006; GONÇALVES et al., 2013; RIBEIRO et al., 2014; PAES et al., 2016; KARTAL et al., 2009).

Foi observado que o índice de cristalinidade aumentou da primeira para a terceira semana para as espécies *E. paraensis* (55,6% para 58,1%) e *J. copaia* (45,3% para 49,9%). Em seguida, na quarta semana, os valores diminuíram para 54% a 46%, respectivamente. Na quinta semana, não houve modificação para a *E. paraensis*, mas o índice de cristalinidade de *J. copaia* caiu ainda mais (43,3%), voltando a aumentar um pouco na última semana (44,8%). Com

exceção da quarta semana, quando baixou até 54% para a espécie *P. suaveolens* foi verificado um índice de cristalinidade similar ao longo do período de biodegradação, variando de 57,7% a 60,3%. Para a espécie *A. integrifolia*, houve queda de 2% (48,6% para 46,5%) logo na segunda semana, com aumento para 49,1% na quarta e 49,3% na sexta semana (Figura 13). Dentre as espécies, a que apresentou o maior valor de índice de cristalinidade e o menor valor para taxa de perda de massa foi *P. suaveolens*. Já a espécie que apresentou os menores valores de índice de cristalinidade foi a *J. copaia*, para a qual foram observadas maiores taxas de perda de massa.

Figura 13 - Índice de cristalinidade das espécies no tempo.



Sendo a celulose o único componente que apresenta estrutura parcialmente cristalina, os resultados demonstram que, à princípio, os termitas consomem as regiões não cristalinas da parede celular, como celulose amorfa e/ou lignina e hemiceluloses, resultando em aumento da concentração da cristalinidade até a terceira ou quarta semana, dependendo da espécie. Segundo Bianchi (1995), este resultado pode ser atribuído à remoção de parte dos constituintes químicos amorfos durante o processo de biodegradação, principalmente hemiceluloses. Com o passar do tempo, a diminuição do índice de cristalinidade poderia estar relacionada ao início do consumo das regiões cristalinas, causando degradação da celulose pelos termitas ou então à concentração de componentes não celulósicos. Segundo Corrêa et al. (2010), a modificação química da madeira, que leva a remoção de componentes como a lignina e a hemicelulose, tende a aumentar de forma progressiva o índice de cristalinidade do material. Bufalino (2014), em seu estudo sobre o branqueamento de fibras, verificou que quando ocorria a degradação das estruturas

celulósicas o índice de cristalinidade diminuíu, comprovando assim que quanto maior o consumo da celulose menor o índice de cristalinidade do material.

8 CONCLUSÃO

As espécies estudadas apresentaram taxas de biodegradação por cupins de solo diferentes, podendo-se concluir que a resistência natural entre elas é divergente. Contudo, ponderações precisam ser feitas ao definir se a causa que leva a esse resultado, uma vez que, vários são os fatores que podem ser associados a resistência da madeira, dentre eles, os químicos e anatômicos.

Em relação a densidade, os resultados indicam fortes evidências que essa característica da madeira é um fator preponderante na resistência a ataques de cupins de solo, contudo, pode-se afirmar que não é o único fator envolvido na biodegradação da madeira, contrariando o senso popular. As espécies de densidade alta apresentaram as menores taxas de degradação, entretanto, espécies de densidades contrastantes como *A. integrifolia* (baixa) e *P. suaveolens* (alta), tiveram taxas de degradação similares. Isso permite concluir que nem sempre espécies de densidade baixa, se comparada com espécies de densidade alta, terão as piores taxas de biodegradação e conseqüentemente, menor resistência a ataque de cupins de madeira.

Pode-se constatar que as espécies com maiores densidade alcançaram a mesma taxa de biodegradação da espécie de menor densidade dentro do tempo de experimento, com exceção de uma espécie (*E. paraensis*), sendo assim, se submetidas a um maior tempo de experimentação é possível que elas cheguem a um mesmo grau de degradação.

As estruturas constituintes da madeira seguem um mesmo padrão de comportamento entre as espécies estudadas, no decorrer do tempo. No início, foi possível verificar um aumento no grau de cristalinidade, uma vez que substâncias amorfas da madeira são primeiramente consumidas pelos termitas. Posteriormente, com o início do consumo da estrutura cristalina da madeira (celulose), as estruturas amorfas tendem a sofrer uma concentração.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do estudo mostram que as espécies florestais da nossa região mostram uma diferenciação quanto a sua resistência a biodegradação, isso possibilita um maior entendimento e um melhor encaminhamento para tomadas de decisão em relação a destinação desse material. Sendo oriunda de áreas de mineração e tendo que respeitar a legislação vigente, é importante destacar que espécies como *E. paraensis* e *P. suaveolens*, consideradas mais

resistentes, podem ser direcionadas a doações e uso mais efetivo de sua madeira, já espécies com menor resistência como *J. copaia* pode ser alocada em contato direto com o solo e outras espécies para acelerar o processo de degradação do material estocado. Outras técnicas de alocação de material como a junção de várias madeiras com características similares ou de alocação de madeiras com potencial de “atração” de biodecompositores e madeiras de maior resistência podem acelerar esse processo. Outra opção seria estabelecer ambientes favoráveis a esses agente, no caso de cupins de solo, um ambiente considerado mais úmido se torna favorável ao estabelecimento de colônias que pode proporcionar uma maior quantidade desses agentes possibilitando assim, uma maior rapidez de consumo da madeira, isso seria capaz com a colocação de algum substrato (solo) nas pilhas de madeira estocadas.

10 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.; FERRAZ, A. Mechanisms involved in the biodegradation of lignocellulosic materials and related technological applications. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1729-1738, 2011.
- ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V..F. Colagem varia de acordo com propriedades da madeira. **Revista da Madeira, Curitiba: ABPMEX–Associação Brasileira de Produtos e Exportadores de Madeiras**, ano, n. 88. v. 15, p. 28-36, 2005.
- ALI, R. M.; HOUGHTON, P. J.; HOO, T. S. Antifungal activity of some Bignoniaceae found in Malaysia. **Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives**, v. 12, n. 5, p. 331-334, 1998. Doi: 10.1002/(SICI)1099-1573(199808)12:5<331::AID-PTR305>3.0.CO;2-W
- APRILE, F. M.; DELITTI, W. B. C.; BIANCHINI JR, I. Aspectos cinéticos da degradação de laminados de madeiras em ambientes aquático e terrestre. **Revista brasileira de Biologia**, v. 59, n. 3, p. 485-492, 1999. Doi: 10.1590/S0034-71081999000300014
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR7989: pasta celulósica e madeira - determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR13999: determinação de resíduo (cinzas) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR14853: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 11942: Madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASTM - SOCIEDADE AMERICANA DE ENSAIOS E MATERIAIS. ASTM D-3345: método padrão para avaliação laboratorial de madeira e outros materiais celulósicos para resistência a cupins. 2005.
- ASTM - American Society for Testing And Materials. ASTM D-3345. Standard method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, v. 0410, p. 439-441,1994.

- BIANCHI, M. L. **Polpação de palha de milho utilizando-se diferentes processos organosolv.** Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas. p.76. 1995.
- BLATT, C. T. T.; DOS SANTOS, M. D.; SALATINO, A.. Flavonoids of Bignoniaceae from the “cerrado” and their possible taxonomic significance. **Plant systematics and evolution**, v. 210, n. 3-4, p. 289-292, 1998. Doi: 10.1007/BF00985673
- BRITO, L. D. Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em engenharia de estruturas. Escola de engenharia de São Carlos da universidade de São Paulo, 2014.
- BRITO, A. F. Resistência da madeira de várias espécies de eucalipto a organismos xilófagos e intemperismo após tratamento com ccb por substituição de seiva. Tese (Doutorado). Universidade estadual paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Campus de Botucatu. São Paulo. 2017.
- BROWNING, B. L. The chemistry of wood. Warrenville: Interscience, 1963. 689p.
- BROWNING, B. L. Methods of Wood Chemistry-Vol I e Vol II, Interscience Publ. **New York**, 1967.
- BUFALINO, L. Filmes de nanocelulose a partir de resíduos madeireiros da Amazônia. 2014. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, 2014.
- CALIL JR., C. et al. (2006). Manual de projeto e construção de pontes de madeira. ISBN: 85- 98156-19-1. **Suprema**, São Carlos, 2006.
- CARLQUIST, S. How wood evolves: a new synthesis. **Botany**, v. 90, n. 10, p. 901-940, 2012. Doi: 10.1139/b2012-048
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileira.** Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, vol. 2. Brasília, DF: Embrapa informações Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2006.627 p.
- CARVALHO, D. E. et al. Resistência natural de quatro espécies florestais submetidas a ensaio com fungos apodrecedores. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 271-276, 2015. Doi: 10.1590/2179-8087.105914
- CASTRO, V. G. et al. Deterioração e preservação da madeira. Mossoró: EdURFESA, p. 213, 2018.
- CHISHOLM, M. J.; HOPKINS, C. Y. Isolation and Structure of a New Conjugated Triene Fatty Acid1. **The Journal of Organic Chemistry**, v. 27, n. 9, p. 3137-3139, 1962. Doi: 10.1021/jo01056a037
- COLE, T. C. H.; HILGER, H. H. Angiosperm phylogeny poster–flowering plant systematics. 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.17169/refubium-22648>
- CORASSA, Janaína de Nadai et al. Térmitas associados à degradação de cinco espécies florestais em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 78-84, 2014. Doi: 10.4322/floram.2014.014.
- CORREIA, Ana Carolina et al. Cellulose nanofibers from curaua fibers. **Cellulose**, v. 17, n. 6, p. 1183-1192, 2010. Doi: 10.1007/s10570-010-9453-3.
- COSTA, A. F. da et al. Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 7-14, 2012.

COSTA, J. A. Classificação de madeiras da Amazônia para composição de instrumento musical de corda por meio da técnica de excitação por impulso. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Universidade Federal do Amazonas. 2017.

COSTA-LEONARDO, A. M. Cupins-Praga: Morfologia. **Biologia e Controle**Rio, 2002.

CRUZ, H. Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira. **Curso livre internacional de patrimônio**, 2001.

CURRELI, N. et al. Complete and efficient enzymic hydrolysis of pretreated wheat straw. **Process Biochemistry**, v. 37, n. 9, p. 937-941, 2002. Doi: 10.1016/S0032-9592(01)00301-6

DANIEL, G. Microview of wood under degradation by bacteria and fungi.2003. Doi: 10.1021 / bk-2003-0845.ch004.

DIAS, A. A.; CALIL JR., C.; LAHR, F. A. R. (2005). Sistemas estruturais I: arquitetura e urbanismo - estruturas de madeira. Notas de aula SET 177, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. Recomposição de matas ciliares. **São Paulo: Instituto Florestal**, p. 1-14, 1990.

EATON, Rod A. et al. **Madeira: decomposição, pragas e proteção** . Chapman e Hall Ltd, 1993.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. Timborana, Pseudopiptadenia psilostachya (DC) GP Lewis & MP Lima. **Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará, Projeto Dendrogene, Espécies Arbóreas da Amazônia**, v. 9, 2004.

EVANS, T. A. et al. Termites assess wood size by using vibration signals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 10, p. 3732-3737, 2005. Doi: 10.1073/pnas.0408649102

FARIAS SOBRINHO, D. W.; PAES, J. B.; FURTADO, D. A. Tratamento preservativo da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC), pelo método de substituição de seiva. **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 225-236, 2005.

FENGEL, D.; WEGENER, G.; DE GRUYTER, W. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin; New York: W. 1989.

FERGUSON, N. M.; LIEN, E. J. A flavonol neohesperidoside from Jacaranda acutifolia. **Journal of Natural Products**, v. 45, n. 5, p. 523-524, 1982. Doi: 10.1021/np50023a002

FERRETTI et al. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, v. 3, n. 7, mar./jun., 1995.

FOELKEL, C. E. B. Estrutura da madeira. Belo Oriente. MG 1977.

FONTES L.R. Cupins: o desafio do conhecimento. Piracicaba: FEALQ, 1998.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51-51, 1945. Doi: 10.1038/155051a0

FUENTES, R. L. A.; ARANGO, A. L. Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima. **Ibagué Colombia. Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA y Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima**, 2005.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; *et al.* Entomologia agrícola. [S.l: s.n.], 2002.

GONÇALEZ, J. C. et al. Efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) após receber produtos de acabamentos. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 657-664, 2010. Doi: 10.5902/198050982424

GONÇALEZ, J.C., BREDÁ, L.C.S., BARROS, J.F.M., MACEDO, D.G., JANIN, G., COSTA, A. F., VALE, A. T. (2006). “Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Madein e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira”. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, 329-341.

GONÇALVES, F. G.; DA SALVA OLIVEIRA, J. T. Resistência ao ataque de cupim-de-madeira seca (*Cryptotermes brevis*) em seis espécies florestais. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 80-83, 2006.

GONÇALVES, F. G. et al. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 110-116, 2013. Doi: 10.4322/loram.2012.063

GONÇALVES, F. G. et al. Resistência de Painéis aglomerados de *Acacia mangium* Willd. colados com ureia-formaldeído e taninos a organismos xilófagos. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 409-415, 2014. Doi: 10.1590/2179-8087.059113

GOULART, S. L. Anatomia comparada do lenhoff de raiz e caule de *Aegiphila sellowiana* cham.(Verbenaceae). **CERNE** [online]. 2012, vol. 18, n. 4. 2012. Doi: 10.1590/S0104-77602012000400009.

GURGEL, E. S. C. et al. Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don. subsp. *spectabilis* (Mart. ex A. DC) Gentry (Bignoniaceae): aspectos morfológicos do fruto, semente, germinação e plântula. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 1, n. 2, p. 101-120, 2006.

GVces/IFC. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas / International Finance Corporation. Grandes Obras na Amazônia: Aprendizados e Diretrizes. 23 p. 2016.

HARLEY, R.; FRANÇA, F.; SANTOS, E. P.; SANTOS, J. S.; PASTORE, J. F. 2015. Lamiaceae na Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23320> >. Acessado em: 6 de novembro de 2019> Acessado em: 06/2019.

HIGASHI, M.; YAMAMURA, N.; ABE, T. Theories on the sociality of termites. In: **Termites: Evolution, sociality, symbioses, ecology**. Springer, Dordrecht, 2000. p. 169-187. Doi: 10.1007/978-94-017-3223-9_8

HIGHLEY, T. L. Biodeterioration of wood. In: Wood handbook - wood as an engineering material. General technical Report FPL -GTR-190. Madison: US Department of Agriculture, 2010. 508p.

INPA: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. Catálogo de madeiras da Amazônia: características tecnológicas. Área da Hidrelétrica de Balbina. Manaus: INPA, 1991. 163p

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscope features for hardwood identification. IAWA Bulletin New Series, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

ISIDORO, M.M.; SILVA, M.F.G.F.; FERNADES; J.B.; VIERA, P.C. Fitoquímica e Quimiosistemática de *Euxylophora paraensis* (Rutaceae). **QUÍMICA NOVA**, v. 35, n11, p.2119-2124,2012.

JANKOWSKY, I. P. Fundamentos de preservação de madeiras. Documentos florestais. Universidade de São Paulo. Piracicaba. n.11. p. 1-12. jun. 1990.

KARTAL, S. N.; YOSHIMURA, T.; IMAMURA, Y. Modification of wood with Si compounds to limit boron leaching from treated wood and to increase termite and decay resistance. **International biodeterioration & biodegradation**, v. 63, n. 2, p. 187-190, 2009. Doi: 10.1016/j.ibiod.2008.08.006

KENNEDY, J. F. et al. **Madeira e celulose: utilização industrial, biotecnologia, estrutura e propriedades**. Ellis Horwood Limited, 1987.

KLOCK, U. et al. Química da madeira. **Fupec, Curitiba**, 2005.

LEI nº 6958 / 2007. Disponível: <<https://www.mppa.mp.br>> . Acesso: 10/2019.

LELIS, A. T. et al. Biodeterioração de madeiras em edificações. **São Paulo: IPT**, v. 200, p. 54, 2001.

LEPAGE, E.S. et al. Manual de preservação de madeiras. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Divisão de madeiras. São Paulo, v. I e II, 707p, 1986.

LIMA, M. D. R. A segregação de resíduos do manejo florestal sustentável para otimização da produção bioenergética na Amazônia brasileira. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, 2020. 206 f. 2020.

LOGAN, J. W. M.; COWIE, R. H.; WOOD, T. G. Termite (Isoptera) control in agriculture and forestry by non-chemical methods: a review. **Bulletin of entomological research**, v. 80, n. 3, p. 309-330, 1990. Doi: 10.1017/S0007485300050513

LOHMANN, L. G. 2015. Bignoniaceae na Lista de espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB114117>>. Acessado em: 06/2019

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. **Nova Odessa: Instituto Plantarum**, 2002a. v. 1, p. 54.

MARGALHO, L. F. et al. Conhecendo espécies de plantas da Amazônia: pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber-Rutaceae). **Embrapa Amazônia Oriental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2014.

MATTOS, B. D. et al. Durabilidade a campo da madeira de três espécies de *Eucalyptus* tratadas por imersão simples. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 648-655, 2013. Doi: 10.5039/agraria.v8i4a3050

MELO, J. E de; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: Anais do Congresso Florestal Brasileiro. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 695-699.

MOHARRAM, F. A.; MARZOUK, M. S. A. A novel phenylethanoid dimer and flavonoids from *Jacaranda mimosaeifolia*. **Zeitschrift für Naturforschung B**, v. 62, n. 9, p. 1213-1220, 2007. Doi: 10.1515/znb-2007-0918

MORESCHI, J. C. Biodegradação e preservação da madeira—Biodegradação da madeira. **Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal**, v. 1, n. 4, 2013.

NASCIMENTO, C. C.; GARCIA, J. N.; DEL PILAR DIÁZ, M. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. **Madera y Bosques**, v. 3, n. 1, p. 33-52, 1997. Doi: 10.21829/myb.1997.311378

OGURA, M.; CORDELL, G. A.; FARNSWORTH, R. Potential anticancer agents. IV. Constituents of Jacaranda caucana Pittier (Bignoniaceae). **Lloydia**, v. 40, n. 2, p. 157-168, 1977a.

OGURA, M.; CORDELL, G. A.; FARNSWORTH, N. R. Jacoumaric acid, a new triterpene ester from Jacaranda caucana. **Phytochemistry**, v. 16, n. 2, p. 286-287, 1977b. Doi: 10.1016/S0031-9422(00)86809-0

OLIVEIRA, J. T. S. (1997). Características da madeira de eucalipto para a construção civil. Tese (Doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. Agentes destruidores da madeira. **Manual de preservação de madeiras. São Paulo: IPT**, v. 1, p. 99-279, 1986.

OLIVEIRA, J. T. da S.; SILVA, J. de C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de Eucalyptus saligna Sm. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003. Doi: 10.1590/S0100-67622003000300015

OLIVEIRA, J. T. da S. et al. Influência dos extrativos na resistências ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005. Doi: 10.1590/S0100-67622005000500017

OLIVEIRA, J. T. da S.; FIELDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Tecnologias Aplicadas ao Setor Madeireiro. **Cerne**, v. 16, 2007.

OLTEAN, L.; TEISCHINGER, A.; HANSMANN, C. Wood surface discoloration due to simulated indoor sunlight exposure. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 66, n. 1, p. 51, 2008. Doi: 10.1007/s00107-007-0201-9

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. 1-6, 2000.

PAES, J. B. Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 761-767, 2002. Doi: 10.1590/S0100-67622002000600012

PAES, J. B., MEDEIROS MORAIS, V. M., FARIAS SOBRINHO, D. W., BAKKE, O. A. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a cupins subterrâneos, em ensaio de laboratório. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 36-47, 2003.

PAES, J. B., MORAES, V. M., LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos xilófagos em condições de laboratório. **Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, p.275-282, 2004.

PAES, J. B.; MORESCHI, J. C.; LELLES, J. G. de. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* Lab. e de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.) pelo método de substituição da seiva. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, p. 75-86, 2005. Doi: 10.5902/198050981825

PAES, J. B. et al. 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, 2007.

PAES, J. B.; RAMOS, I. E. C.; NASCIMENTO, J. W. B. Eficiência do CCB na resistência da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) a cupins xilófagos, em ensaio de alimentação forçada. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 15, n.1, p.01-12, 2008.

PAES, J. B. et al. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos xilófagos em simulares de campo. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 511-520, 2009. Doi: 10.1590/S0100-67622009000300013

PAES, J. B. et al. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **CERNE** [online]. 2013, vol. 19, n. 3. Doi: 10.1590/S0104-77602013000300006.

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.

PEREIRA, B. L. C. et al. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 545-557, 2016. Doi: 10.5902/1980509822755

PIRANI, J. R. *Euxylophora*. In: LISTA de Espécies da Flora do Brasil. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, [2011]

POUBEL, Dallyene da Silva et al. Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 117-126, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.029>

PRAKASH, L. et al. Chemical examination of the root barks of *Jacaranda mimosifolia* D. Don. and *Tabebuia pentaphylla* (Linn) Hemsl. **Pharmazie**, v. 35, n. 10, 1980.

QUARTEY, Gladys Ama. **Relationships between some anatomical, physical and durability properties of the wood of some lesser utilised Ghanaian hardwoods**. 2009. Tese de Doutorado.

RAMOS, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. **Química Nova**, v. 26, n. 6, p. 863-871, 2003. Doi: 10.1590/S0100-40422003000600015

RIBEIRO, M. X. et al. Resistência das madeiras de pinus, cedro australiano e seus produtos derivados ao ataque de *Cryptotermes brevis*. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 433-439, 2014. Doi: 10.1590/01047760201420031277

RIBEIRO, E. S. (2017). **Propriedades Tecnológicas de Vinte Espécies de Madeiras Tropicais Comercializadas Pelo Estado de Mato Grosso**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD 073-2017. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 183p.

RICHARDSON, B.A. *Wood preservation*. 2 ed. London: E & FN SPON, 1993. 226p.

RIESCO MUNOZ, G.; IMANA ENCINAS, J.; ELIAS DE PAULA, J. Wood density of 59 tree species in the order Sapindales from natural forests in Brazil. **MADERA Y BOSQUES**, v. 25, n. 2, 2019. Doi: 10.21829/myb.2019.2521817.

RITTER, M. A. **Timber bridges: Design, construction, inspection, and maintenance**. US Department of Agriculture, Forest Service, Engineering Staff, 1990.

ROCHA, M. P. da. *Biodegradação e preservação da madeira*. Curitiba: **Fundação de Pesquisa Florestais do Paraná-Fupeq**, 2001.

ROWELL, R. M.; Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, 1st ed., CRC Press: Madison, 2005.

SANTINI JUNIOR, L. **Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no estado de São Paulo-Programas São Paulo Amigo da Amazônia e Cadmadeira**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Doi: 10.11606/D.11.2013.tde-11092013-151731.

SAUVAIN, M. et al. In vitro and in vivo leishmanicidal activities of natural and synthetic quinoids. **Phytotherapy Research**, v. 7, n. 2, p. 167-171, 1993. Doi: 10.1002/ptr.2650070215.

SCHWARZE, F. W. M. R.; ENGELS, J.; MATTHECK, C. **Fungal strategies of wood decay in trees**. Springer Science & Business Media, 2013.

SEGAL, L. et al. "Um método empírico para estimar o grau de cristalinidade da celulose nativa usando o difratômetro de raios X". **Textile Research Journal**, vol. 29, n. 10, outubro de 1959, pp. 786-794, doi: 10.1177 / 004051755902901003

SILVA, M.F. das G.F. da; GOTTLIEB, O.R.; EHRENDORFER, F. **Plant Syst. Evol**, v. 161, p. 97, 1988.

SILVA, J. de C.; OLIVEIRA, J. T. da S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 233-239, 2003. Doi: 10.1590/S0100-67622003000200012

SILVA, J. de C.; CABALLEIRA LOPEZ, A. G.; OLIVEIRA, J. T. da S. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 583-587, 2004. Doi: 10.1590/S0100-67622004000400012

SILVA, L. et al. Aproveitamento energético de resíduos da indústria moveleira. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 5, n. 2, p. 36-42. 2018. Doi: 10.15210/RBES.V5I2.14557.

SINGH, J. Deterioração da madeira. *Buildingconservation*. 2005. Disponível em:< https://www.buildingconservation.com/articles/envmon/timber_decay.htm> Acessado em: 10/2019.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III. 2012.

SUBRAMANIAN, S. S.; NAGARAJAN, S.; SULOCHANA, N. Flavonoids of eight bignoniaceous plants. **Phytochemistry**, 1972.

SWIFT, M. J.; HEAL, D. W.; ANDERSON, J. M. Studies in ecology-decomposition in terrestrial and aquatic ecosystems. 1979.

TONOLI, G. H. D. et al. Cellulose micro/nanofibres from *Eucalyptus* kraft pulp: preparation and properties. **Carbohydrate polymers**, v. 89, n. 1, p. 80-88, 2012. Doi: 10.1016/j.carbpol.2012.02.052

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; DE CARVALHO, A. G. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. **Floresta**, v. 38, n. 1, 2008. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v38i1.11025>

VALÉRIO, A. F. et al. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polineuron* muell. arg.) ao longo do fuste. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, 2008.

VARANDA, E. M. et al. Effect of ursolic acid from epicuticular waxes of *Jacaranda decurrens* on *Schizaphis graminum*. **Journal of Natural Products**, v. 55, n. 6, p. 800-803, 1992. Doi: 10.1021/np50084a015

VENÄLÄINEN, M. et al. The concentration of phenolics in brown-rot decay resistant and susceptible Scots pine heartwood. **Wood Science and Technology**, v. 38, n. 2, p. 109-118, 2004. Doi: 10.1007/s00226-004-0226-8

WALKER, K. (2006). Powder-post beetles (*Bostrichus capucinus*).

WASTOWSKI, A. D. Química da madeira. Interciência. Rio de Janeiro. 1. ed. 584 p. 2018.

WATERMAN, P. G.; GRUNDON, M. F. **Chemistry and chemical taxonomy of the Rutales**. Academic Press, 1983.

ZENI, T. L. et al. Resistência natural das espécies *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus myrocoris*, *Eucalyptus umbra*, *Corymbia citriodora* e *Corymbia maculata* à degradação provocada pelo fungo *Agrocybe perfecta*, causador da podridão branca na madeira, in vitro. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. Anais. São Carlos: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2006.