

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

LÉDIO BATISTA

**DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA DE CINCO ESPÉCIES
AMAZÔNICAS SUBMETIDAS A ENSAIOS DE DETERIORAÇÃO DE
CAMPO**

SINOP
MATO GROSSO – BRASIL
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

LÉDIO BATISTA

**DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA DE CINCO ESPÉCIES
AMAZÔNICAS SUBMETIDAS A ENSAIOS DE DETERIORAÇÃO DE
CAMPO**

Trabalho de Curso – TC, apresentado à
Universidade Federal de Mato Grosso -
UFMT - Campus de Sinop, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Diego Martins
Stangerlin

SINOP
MATO GROSSO – BRASIL

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

B333d Batista, Lédio.

Durabilidade natural da madeira de cinco espécies amazônicas submetidas a ensaios de deterioração de campo / Lédio Batista. -- 2015
57 f.: il. color.; 30 cm.

Orientador: Diego Martins Stangerlin.
TCC (graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, 2015.
Inclui bibliografia.

1. Deterioração da madeira. 2. Dureza Rockwell. 3. Flexão estática. 4. Perda de massa. 5. Análise química da madeira. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
REITORIA

Ata de Monografia

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DA MONOGRAFIA DO CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ALUNO: LÉDIO BATISTA

Aos doze dias do mês de junho do ano de 2015, às 09:30 horas, na sala 18 – bloco 1, do *campus* da UFMT na cidade de Sinop, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa da Monografia de Conclusão de Curso do aluno **Lédio Batista**. A banca foi composta pelos seguintes membros: **Prof. Dr. Diego Martins Stangerlin** (orientador), **Prof. Dr. Rafael Rodolfo de Melo** e **Profª. Drª. Patrícia Aparecida Rigatto Castelo**, sob a presidência do primeiro. A monografia tem como título “**Durabilidade natural da madeira de cinco espécies amazônicas submetidas a ensaios de deterioração de campo**”. Após a explanação o aluno foi argüido pelos componentes da banca. Terminada a etapa, os membros de forma confidencial avaliaram o aluno e conferiram o seguinte resultado: **APROVADO 9,3**, proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo aluno. Os requisitos a serem observados estão registrados em folha anexa.

Sinop, 12 de junho de 2015.

ASSINATURAS:

Aluno: _____

Banca: _____

Rafael Rodolfo de Melo

Patrícia Ap. Rigatto Castelo

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, por Sua direção em minha vida. Por ser a fonte de vida, amor e sabedoria.

Aos meus pais, Alírio e Lúcia, pela compreensão, amor e apoio na realização de um sonho.

À minha namorada, pelo amor, companheirismo e incentivo nestes momentos finais de graduação.

A todos os membros da minha família, amigos e colegas de curso, que me incentivaram e ajudaram a seguir firme e com foco.

Ao professor Diego Martins Stangerlin, pela orientação e principalmente por todo o ensinamento, que me permitiu crescer no conhecimento acadêmico.

À Elisangela Pariz, pela ajuda e orientação em laboratório, assim como a Eldalisley do Santos Silva, pela colaboração nos momentos iniciais desse projeto.

Ao professor Rafael Rodolfo de Melo, por todo o apoio e direcionamento no laboratório de Tecnologia da Madeira.

A todos os professores do curso, pelo conhecimento que me passaram. Vocês ficarão guardados na memória.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização de minha graduação em Engenharia Floresta e deste trabalho, o meu Muito Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
RESUMO	10
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Espécies avaliadas.....	15
3.2 Constituintes químicos da madeira	18
3.2.1 Celulose	18
3.2.2 Poliose.....	19
3.2.3 Lignina	19
3.3 Componentes acidentais.....	20
3.4 Ensaios de deterioração de campo	21
3.5 Ensaio destrutivos.....	22
3.5.1 Análise química	22
3.5.2 Flexão estática	23
3.6 Ensaios não destrutivos	23
3.6.1 Dureza Rockwell	24
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Coleta do material e preparo dos corpos de prova.....	25
4.2 Caracterização da massa específica básica	26
4.3 Ensaios de deterioração de campo	26
4.4 Periodicidade das amostragens	27
4.4.1 Perda de massa	28
4.4.2 Dureza Rockwell	28
4.4.3 Flexão Estática	29
4.4.4 Caracterização química da madeira	29

4.4.5 Análise estatística	30
5 RESULTADOS E DISCUÇÃO	31
5.1 Massa específica básica	31
5.2 Composição química	32
5.3 Perda de massa	38
5.4 Dureza Rockwell	41
5.5 Flexão Estática	43
6 CONCLUSÃO	49
7 REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Amostra com 2 x 2 x 30 cm (esq.) e amostra com 2 x 2 x 10 cm (dir.)	23
Figura 2. Estufa convencional de circulação (esq.) e balança digital (dir.)	24
Figura 3. Distribuição dos corpos de prova em ambiente de campo aberto (esq.) e distribuição dos corpos de prova em ambiente de floresta (dir.)	25
Figura 4. Disposição dos blocos com os corpos de prova e suas respectivas distâncias.....	25
Figura 5. Durômetro de bancada dotado de penetrador esférico (1/4")	26
Figura 6. Máquina Universal de ensaios com capacidade de 300 kN.....	27
Figura 7. Valores de Massa Específica Básica para as cinco espécies avaliadas.....	29
Figura 8. Teores de holocelulose inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta.....	30
Figura 9. Teores de lignina inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta.....	32
Figura 10. Teores de extrativos em etanol inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta.....	33
Figura 11. Solubilidade em NaOH 1% inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta.....	34
Figura 12. Teores de cinzas inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta.....	35
Figura 13. Gráfico representando a perda de massa das respectivas espécies e ambientes...	36
Figura 14. Gráfico representando a dureza Rockwell das respectivas espécies e ambientes	39
Figura 15. Gráfico representando o Módulo de Elasticidade (MOE) das respectivas espécies e ambientes.....	42
Figura 16. Gráfico representando o Módulo de Ruptura das respectivas espécies e ambientes.....	44
Figura 17. Peça sob teste de flexão estática sofrendo ruptura na região submetida ao solo..	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de regressão da perda de massa em função do tempo para as respectivas espécies e ambientes..... 37

Tabela 2. Análise de regressão da dureza Rockwell em função do tempo para as respectivas espécies e ambientes..... 39

Tabela 3. Análise de regressão do Módulo de Elasticidade em função do tempo para as respectivas espécies e ambientes.....42

Tabela 4. Análise de regressão do Módulo de Ruptura em função do tempo para as respectivas espécies e ambientes.....44

RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo avaliar a deterioração da madeira de cinco espécies amazônicas oriundas do norte-matogrossense submetidas ao solo em ambientes de campo aberto e floresta. Sendo selecionadas para tal, madeiras das espécies de *Apuleia leiocarpa* (garapeira), *Erisma uncinatum* (cedrinho), *Mezilaurus itauba* (itaúba), *Parkia pendula* (angelim-saia) e *Trattinnickia rhoifolia* (amescla). Foram preparados corpos de com dimensões iguais a 2 x 2 x 30 cm, sendo estes enterrados até a metade de seu comprimento (15 cm). As avaliações consistiram em repetições a cada sessenta dias, quando 6 amostras de cada espécie, para cada ambiente, eram submetidas a ensaios de dureza Rockwell, flexão estática (módulo de elasticidade e módulo de ruptura), além da quantificação da perda de massa. Foi realizada ainda análise química dos corpos de prova retirados no quarto mês de exposição, para a determinação das alterações ocorridas nesse período. Para cada uma dessas caracterizações foram feitas uma avaliação inicial como testemunha. Ao se avaliar os resultados finais, foi possível observar que as três espécies de média e baixa massa específica básica (amescla, angelim-saia e cedrinho) apresentaram maior perda de massa e conseqüentemente maior redução na resistência mecânica para os testes de resistência, o que pode ser atribuído ao ataque de organismos xilófago como fungos e cupins, uma vez que as análises químicas mostraram considerável redução no teor de holocelulose. Com relação as duas espécies de alta massa específica (garapeira e itaúba), estas mostraram baixa perda de massa e conseqüente maior resistência mecânica, o que pode ser relacionado tanto a suas respectivas massas específica mais alta, quanto ao seu elevado teor de extrativos.

Palavra-chave: deterioração da madeira, dureza Rockwell, flexão estática, perda de massa, análise química da madeira.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the deterioration of wood from five Amazonian species from the North matogrossense submitted to the ground in the open environments and forest. Being selected for such wood species *Apuleia leiocarpa* (garapeira), *Erisma uncinatum* (cedar), *Mezilaurus Itauba* (itaúba), *Parkia pendula* (angelim skirt) and *Trattinnickia rhoifolia* (Amescla). Bodies were prepared with dimensions equal to 2 x 2 x 30 cm, which are buried up to half of its length (15 cm). Evaluations consisted in repetitions every sixty days when six specimens of each species, for each environment, were subjected to Rockwell hardness tests, static bending (modulus of elasticity and modulus of rupture), and the quantification of weight loss. Yet it was conducted chemical analysis of the samples taken in the fourth month of exposure, to determine the changes in this period. For each of these characterizations were made an initial assessment as a witness. When evaluating the final results, it was observed that the three species of medium and low specific mass basic (Amescla, angelim skirt and cedar) showed greater weight loss and consequently greater reduction in mechanical strength to the stress tests, which It can be attributed to attack xilófago organisms such as fungi and termites, since the chemical analysis showed significant reduction in the holocellulose content. Regarding the two kinds of high specific mass (garapeira and itaúba), these showed low weight loss and consequent higher mechanical resistance, which can be related both to their respective masses specifies higher, as to its high content of extractives.

Keyword: deterioration of wood, Rockwell hardness, bending, weight loss, chemical analysis of wood.

1 INTRODUÇÃO

A resistência natural da madeira à deterioração, entre outras propriedades, pode ser definida como a capacidade intrínseca que uma espécie possui de resistir à ação de agentes deterioradores, onde podem ser citados os mecânicos, físicos, químicos e biológicos (EATON; HALE, 1993; COSTA, 2003). Mende; Alves (1988) mencionaram que a resistência natural da madeira é um dos principais fatores que irá determinar sua utilização, especialmente em países tropicais como o Brasil, que apresentam elevadas temperaturas e umidade relativa de ar.

Segundo Oliveira et al. (2005), nem mesmo aquelas madeiras mais duráveis, são capazes de resistir indefinidamente às intempéries, ataque de microrganismos e ação do próprio homem. Para Silva et al. (2004), um dos fatores que limitam a utilização da madeira é sem dúvida, sua baixa durabilidade natural, e, o conhecimento de sua resistência ao ataque de organismos xilófagos, torna-se um requisito extremamente importante para a correta utilização da mesma.

Para melhor compreensão dos processos que envolvem a deterioração da madeira, os mesmo devem ser estudados para que se tenha um correto aproveitamento de suas propriedades, resultando assim em uma contenção de gastos e desperdícios desnecessários, que ocorreriam com reposição de peças (TREVISAN, 2006)

De acordo com Melo et al. (2010) a madeira pode apresentar alta, média ou baixa resistência à ação dos agentes deterioradores, sendo que tal classificação está relacionada às características intrínsecas, do ponto de vista químico e físico, de uma determinada espécie. Quando utilizada em contato direto com o solo ou em locais úmidos, por ser um material orgânico, a madeira apresenta suscetibilidade em ser deteriorada, em especial por agentes biológicos. E uma mesma madeira pode ainda apresentar diferentes comportamentos, de acordo com o ambiente de exposição, uma vez que existem características distintas (umidade, insolação, aeração, temperatura e presença de organismos xilófagos) que atuam conjuntamente na madeira, determinando a sua resistência natural (MENDES; ALVES, 1988).

A madeira quando em contato com o solo, deteriora muito mais rápido do que fora dele, e isso devido a constante busca pelo equilíbrio da umidade com o solo, geralmente mais úmido (NICHOLAS, 1985). Neste, há menos variação de umidade, ao mesmo tempo que é mais propício a existência e interação de certos organismos xilófagos, em destaque cupins, fungos e bactérias.

Apesar de alguns estudos abordarem a caracterização da durabilidade natural de madeiras amazônicas (ALVES et al., 2006; CARNEIRO et al., 2009; JESUS et al., 1998), os

resultados ainda são escassos em função da diversidade de espécies. E ainda, de um modo geral, os estudos realizados tem mantido ênfase apenas nos estágios finais de deterioração, sem um acompanhamento periódico inicial e intermediário do processo. E de acordo com Stangerlin (2012) a identificação da deterioração em estágio inicial da madeira é de suma importância para que haja possibilidade de execução de tratamentos preventivos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar a durabilidade natural da madeira de cinco espécies amazônicas (*Apuleia leiocarpa*, *Erisma uncinatum*, *Mezilaurus itauba*, *Parkia pendula* e *Trattinnickia rhoifolia*) submetidas a ensaios de deterioração de campo.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar a validade técnica de ensaios mecânicos não destrutivos de dureza Rockwell em comparação aos ensaios destrutivos de flexão estática, de modo a permitir a diferenciação dos estágios de deterioração da madeira.
- b) Correlacionar as alterações nas propriedades mecânicas de dureza Rockwell e de flexão estática com a perda de massa.
- c) Avaliar o efeito da massa específica básica e da composição química na durabilidade natural da madeira.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Espécies avaliadas

Conhecida popularmente como garapeira, grápia, amarelinho e outros, a *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr., é uma espécie da família Fabaceae, arbórea de grande porte, chegando até 35 m de altura e com até 100 cm de diâmetro a altura do peito (DAP) (AULER; BATTISTIN, 1999). Carvalho (1994); Marchiori (1997) concluíram que a garapeira é uma árvore nativa das florestas estacionais decíduais do alto Uruguai e depressão central, estando dispersa desde o nordeste brasileiro até o Uruguai e Argentina, habitando preferencialmente as encostas de morros e solos bem drenados.

Segundo Mattos; Guaranha (1983), atualmente a garapeira se acha bastante descontínua, devido à devastação intensa das matas e à falta de reposição através do reflorestamento, uma vez que a mesma é muito explorada e, provavelmente está ameaçada de extinção.

É uma árvore que apresenta grande porte, servindo como excelente fonte de matéria-prima para serrarias (NICOLOSO et al., 2000). Seu valor econômico é muito significativo, sendo utilizada na construção civil e naval, para decorações de interiores, esquadrias, tornarias, vigas de pontes, carroceiras de caminhões, barris de cerveja, etc. (MATTOS; GUARANHA, 1983; MUÑIZ, 1993).

Quimicamente sua constituição química fundamenta-se em 53,6% de celulose; 18,2% de hemicelulose; 27,1% lignina insolúvel e 1,1% de lignina solúvel; 11% de componentes secundários, dos quais 1,6% estão relacionados ao teor de cinza e 9,4% correspondente aos extrativos (SANTANA; OKINO, 2007). E sua madeira apresenta cerne e alburno distintos, com cor amarela para ambos, camadas de crescimento distintas, grã revessa, textura média, brilho moderado, cheiro imperceptível, resistência ao corte transversal manual dura e massa específica básica igual a 0,88 g/cm³ (IBAMA, 2014).

Erisma uncinatum Warm., conhecido popularmente como cedrinho, cambará rosa e outros, é uma espécie da família Vochysiaceae, que ocorre em toda a região amazônica, em especial no Estado do Amazonas (SEGUNDINHO et al., 2013).

Apresenta cerne e alburno distintos pela cor, cerne castanho avermelhado; sem brilho; cheiro e gosto imperceptíveis; grã direita a revessa; textura média a grossa (IPT, 1989). É considerada uma madeira de média/baixa massa específica básica, em torno de 0,50g/cm³, com altura variando entre 25 e 30 m quando adulta e DAP podendo atingir 81 cm (IBAMA, 2014).

De acordo com Segundinho et al. (1983), a madeira de cedrinho pode ser utilizada na fabricação de vigas de madeira laminada-colada, tomando as condições necessárias na produção, conforme prescrita nas normas internacionais que tratam desse tema.

O cedrinho é uma madeira muito procurada no mercado de madeira serrada, em 2008 o INDEA-MT, segundo França et al. (2011), informou que a espécie está entre as três mais comercializadas do estado do Mato Grosso.

Quimicamente sua constituição fundamenta-se em 48,0% de celulose; 18,4% de hemicelulose; 38,2 de lignina insolúvel e 0,8% de lignina solúvel; 2,5% de componentes secundários, dos quais 0,8% relacionados ao teor de cinza e 1,7% correspondente aos extrativos (SANTANA; OKINO, 2007).

Mezilaurus itauba (Meisn.) Taub., conhecida popularmente como itaúba ou louro-itaúba em algumas regiões, é uma espécie pertencente da família Lauraceae do clado Magnoliídeas (APARÍCIO, 2001). Segundo Alves (2011) essa espécie é característica da Amazônia, ocorrendo desde a Venezuela, Colômbia, Peru, Equador, Suriname e Guianas, até a Bolívia, norte e centro-oeste do Brasil. Pode atingir 45m de altura e 1m de DAP em solos arenosos da Amazônia, e, com menores tamanhos nas áreas de Cerrado e Caatinga Amazônica.

Rizzini (1978) descreve sua madeira com coloração amarelo-olivácea, passando a amarelo-pardacento com tonalidade dourada e escurecendo para marrom-escuro a medida em que seus elementos externos oxidam, uniforme, de aspecto fibroso, com superfície irregularmente lustrosa, lisa. A madeira de itaúba apresenta alta massa específica básica, com valor igual a 0,70g/cm³ (SFB, 2015). De acordo com Gonzaga (2006), a mesma possui brilho moderado, grã cruzada ondulada, pouco acentuada, cheiro levemente adocicado e gosto indistinto.

Jesus et al. (1998) diz que a madeira de itaúba é considerada altamente durável quando em contato com o solo, resistindo por mais de 8 anos em geral. Segundo Carneiro et al. (2009), quando submetida a ensaios de resistência, a espécie foi considerada a 6^o mais resistente das 28 espécies amazônicas avaliada.

A constituição química da espécie fundamenta-se em 46% de celulose; 20,1% de hemicelulose; 32,7% de lignina solúvel e 1,2% de lignina insolúvel; 10,3% de componentes secundários, dos quais 0,3% estão relacionados ao teor de cinzas e 10% correspondente ao teor de extrativos (SANTANA; OKINO, 2007).

Parkia pendula (Willd.) Walp., popularmente conhecida como angelim-saia, é uma espécie arbórea da Amazônia brasileira pertencente à família Fabaceae, de importância regional, porém pouco conhecida, considerando-se as informações técnicas, mas muito

explorada comercialmente (ROSSETO et al., 2009). Sua ocorrência natural se dá nos Estados do Pará, Amazonas, Acre, Mato Grosso, Rondônia e Maranhão (SOUZA et al., 1997). Sul da Bahia e norte do Espírito Santo, na floresta fluvial (LORENZI, 2000).

Segundo Rosseto et al. (2009), sua madeira tem características físicas e mecânicas favoráveis para uso comercial, promovendo assim um alto índice de exploração da espécie, o que diminui consideravelmente os exemplares em sua área de ocorrência natural. É amplamente usada na construção civil, embarcações, móveis, artigos domésticos e decorativos (SOUZA et al., 1997), taboados, caixotaria, lâminas para compensados e canoas (LOUREIRO et al., 2000).

Apresenta porte significativo, variando de 20 até 30 m de altura, DAP em torno de 80 a 100cm, fuste cilíndrico, retilíneo e ocasionalmente com pequenas sapopemas. Sua madeira é de média/baixa massa específica básica ($0,50 \text{ g/cm}^3$), cerne e alburno pouco diferenciados; seu processamento é fácil, sendo macia ao corte, boa de plainar, lixar e pregar (AMORIM, 2013).

Uma vez que são escasso os materiais na literatura que apresente sua constituição química, pode-se utilizar dados da *Parkia multijuga* Benth., que equivaleriam entre as duas, uma vez que estas são espécie do mesmo gênero e com características semelhantes. Assim Santana; Okino (2007) quantificam sua constituição química nas seguintes proporções: 50,2% de celulose; 20,1% de hemicelulose; 28,0% de lignina insolúvel e 1,7% de lignina solúvel; 4,0% de componentes secundários, dos quais 0,9% estão relacionados ao teor de cinza e 3,1% correspondem aos extrativos.

A madeira da espécie de *Parkia pendula* (Willd.) Walp apresenta o cerne com cor marrom-claro, alburno amarelo-pálido, anéis de crescimento poucos distintos, grã direta a cruzada reversa, textura grossa, brilho moderado e cheiro indistinto (IBAMA, 2014).

Trattinnickia rhoifolia Willd, conhecida popularmente como amescla, é uma espécie da família Burseraceae do clado Eurorosideas II. No Brasil, segundo Carvalho (2010), a ocorrência natural da mesma abrange os estados do Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso e Pará. A espécie apresenta particularidade nos biomas Cerrado e Amazônia, ocorrendo em solos que apresentam textura franco-argilosa de fertilidade baixa, com baixo pH e CTC (SOUZA et al., 2008).

As árvores de amescla podem atingir dimensões próximas a 20 m de altura e 60 cm de DAP na idade adulta, e é considerada uma espécie do dossel superior nas florestas primárias (SANTANA et al., 2004).

Sua madeira apresenta pouca divergência de coloração entre o cerne o alburno, que são geralmente marrom-claro. Textura é média, a grã cruzada irregular, superfície áspera, e pouco

lustrosa, cheiro e gostos indistintos (CARVALHO, 2010). Melo et al. (2002) consideram a amescla uma madeira pouco densa, com variação entre $0,44\text{g/cm}^3$ e $0,50\text{g/cm}^3$.

Em uma classificação de resistência com 27 espécies amazônicas realizada por Carneiro et al. (2009), a amescla ficou na 24^o colocação, ou seja, é uma madeira pouco resistente, conseqüentemente não tão indicada para construções, apesar de apresentar boa trabalhabilidade.

Santana; Okino (2007) caracterizam sua constituição química nas seguintes proporções: 54,3% de celulose; 17,5% de hemicelulose; 26,7% de lignina insolúvel; 1,5% de lignina solúvel; 2,7% de componentes secundários, dos quais 0,4% estão relacionados ao teor de cinza e 2,3% correspondendo aos extrativos.

Ubialii et al., (2009) considera uma das espécies comerciais mais importante para a laminação no norte de Mato Grosso. Sua madeira é também usada na construção civil, em acabamentos internos como moldura, rodapés, tábuas para forros em fôrmas de concreto além da utilização na fabricação de móveis, embalagens, caixotarias, divisórias e outros.

3.2 Constituintes químicos da madeira

Segundo Abreu et al. (2006), a constituição química dos materiais lignocelulósicos como a madeira é abrangente e diversificada, se traduzindo em um sistema multimolecular de substâncias, com alta complexidade estrutural e de ligações cruzadas, de grande importância na preservação e nas propriedades dos materiais lenhosos.

A madeira é constituída fundamentalmente por compostos de elevado grau de polimerização e peso molecular como a celulose, poliose (hemicelulose) e lignina, que são responsáveis pela formação da parede celular e suas propriedades, considerados estes componentes macromoleculares da madeira. Dentre os compostos que fazem parte da constituição da madeira em menor escala, tem-se os extrativos e as cinzas, que são classificados como componentes complementares, e considerados muitas vezes como acessórios em termos estruturais e apresentam uma grande variabilidade na quantidade e constituição (KLOCK et al., 2005).

3.2.1 Celulose

A celulose é o componente majoritário, perfazendo aproximadamente a metade da massa seca da madeira (40% a 50%), caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular, sendo o principal componente da parede celular dos vegetais. É um polímero

composto por um grande número de unidades repetidas, derivado da condensação da D-glucose, que é um açúcar simples (KLOCK et al., 2005).

De acordo com Santino et al., (2008), a celulose é um polímero estrutural linear formado por unidade de β -D-glicose, ligadas entre si por ligações glicosídicas do tipo β -(1 \rightarrow 4). Duas unidades adjacentes formam uma ligação glicosídica eliminando uma molécula de água e envolve os grupos hidroxílicos dos carbonos 1 e 4, esta estrutura dissacarídica recebe o nome de celobiose, que é a unidade conformacional mínima da celulose, sendo que a glicose é a unidade fundamental das cadeias (AGUIAR, 2010).

As moléculas de celulose são completamente lineares e seus feixes se agregam na forma de microfibrilas na qual regiões altamente ordenadas, ou seja, as regiões cristalinas, se alternam com regiões menos ordenadas, denominadas de amorfas (KLOCK et al., 2005).

Devido as ligações de hidrogênio, a celulose adquire uma forte tendência em formar cristais que a torna completamente insolúvel em água e na maioria dos solventes orgânicos (BENINI, 2011).

3.2.2 Poliose

A poliose (hemicelulose) é também uma substância macromolecular como a celulose, porém considerada um componente sub-estrutural. Está em estreita associação com a celulose na parede celular, e é formada por cinco açúcares neutros, as hexoses e as pentoses. As cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos. Nas folhosas, de maneira geral, seu teor é maior que as coníferas e sua composição é diferenciada (KLOCK et al., 2005), além de não possuir regiões cristalinas, ao contrário da celulose, e representa cerca de 25% da composição da matéria seca da madeira (JOSELEAU, 1980).

De acordo com Monte, (2009), entre as substancias mais encontradas nas hemiceluloses são as pentoses (xilose, ramnose e arabinose), hexoses (glicose, manose e galactose) e ácidos urônicos (ácidos 4-O-metil-glucurônico e galacturônico).

3.2.3 Lignina

A lignina de acordo com Fengel; Wegener (1984), é uma macromolécula amorfa composta basicamente por unidades de fenilpropano, contendo substâncias fenólicas (10-20%) e não fenólicas (80-90%). Representa por volta de 25% a 30% do peso seco da madeira, e como cita Vivas et al. (1998), encontra-se incrustada nas paredes celulares, estando, na grande

maioria, localizadas nas paredes primárias, e Silva et al. (2006), diz que a lignina é um dos principais componentes da madeira, assim como a celulose e hemicelulose.

Em geral, as ligninas são classificadas de acordo com as quantidades relativas das unidades p-hidroxifenila, guaiacila e siringila (SILVA et al, 2006)

A presença da lignina na parede secundária das células diferenciadas como fibras, traqueídeos e esclerídeos, constitui uma matriz polimérica que confere rigidez e resistência à compressão e também é responsável pelo caráter hidrofóbico da matriz de polissacarídea (SILVA et al, 2006).

A lignina possui a propriedade de se prender às fibras da celulose, bem como de ocupar os espaços intercelulares, além de tornar a parede mais rígida e impermeável (LEÃO, 2006) e segundo Masson et al. (1995), a lignina representa importante papel no desempenho das funções de sustentação e condução nos vegetais.

De acordo com Klock et al. (2005) há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a que é encontrada nas coníferas e nas folhosas.

3.3 Componentes acidentais

A composição química da madeira é formada por componentes fundamentais (celulose, lignina e hemicelulose), que fazem parte da parede estrutural da madeira e componentes secundários ou acidentais que não fazem parte da formação da parede celular ou lamela média. (FERREIRA, et al., 2015). Segundo Lepage (1986) esses são compostos com baixo grau de polimerização, ou mesmo não polimerizados, de baixo peso molecular, os quais são depositados no lume das células, dividindo-se em extrativos e substâncias inorgânicas.

Os extrativos são substâncias frequentemente responsáveis por determinadas características da madeira como: cor, cheiro, resistência natural ao apodrecimento, gosto e propriedades abrasivas e sua composição e quantidade relativa dependem de diversos fatores, como espécie, idade e região de procedência, etc., sendo que aproximadamente de 3% a 10% da madeira seca é constituída dos mesmos (KLOCK et al., 2005).

Ainda de acordo com Klock et al. (2005), considerando-se a composição química, em geral, os extrativos podem ser divididos em três grupos: terpenos e terpenóides, compostos alifáticos (principalmente graxas e ceras) e compostos fenólicos.

Existem também os componentes inorgânicos denominados cinzas, as quais são compostas por potássio, cálcio, magnésio, pequenas quantidades de sódio, manganês, ferro e

alumínio, além de ânions como carbonatos, silicatos, cloretos, sulfatos e traços de zinco, cobre e cromo, entre outros (Cardoso et al., 2001).

Walker (2006), diz que a durabilidade natural da madeira está relacionada principalmente com a concentração de extrativos fenólicos como: taninos, polifenóis, estilbenos, lignanas e flavonóides.

3.4 Ensaios de deterioração de campo

A fim de conhecer o comportamento da madeira quando exposta as intempéries e aos agentes xilófagos, se faz necessário os ensaios desses materiais a campo, afim de se obter parâmetros que venham facilitar e recomendar de forma mais eficiente no seu uso. Segundo Silva et al. (2004), um dos fatores que limitam a utilização da madeira para diversas finalidades é, sem dúvida, a sua baixa durabilidade natural.

Por ser um material de origem orgânica, dependendo das condições ambientais a que seja submetida, irá sofrer deterioração por agentes abióticos. E se em exposição permanente a umidificação, por contato direto com o solo, de acordo com Barillari (2002), também estará sujeita a deterioração rápida por fungos e térmitas subterrâneos.

Jesus et al. (1998), sobre a durabilidade natural de madeiras da Amazônia, observa que há diferenças no tipo de deterioração em relação a espécie. Barillari (2002) ainda assinala que quando a situação de uso da madeira se dá em contato com o solo, torna-se necessário o uso de espécies de alta durabilidade natural ou de baixa durabilidade submetidas a tratamentos preservantes.

Os testes de durabilidade natural da madeira em contato com o solo, permite avaliar a vida média útil e a susceptibilidade a organismos xilófagos e possibilita classificar as madeiras que podem ou não ser utilizadas em contato com o solo, para o uso em construções e estruturas de suporte ou ainda em aplicações onde há riscos de danos ocasionados por fatores climáticos e outros (JESUS, et al., 1998).

Assim, é crucial a implantação e o acompanhamento dos ensaios em campo, afim de avaliar o potencial de utilização da madeira ou de um novo preservativo. Os ensaios em contato com o solo são os mais utilizados quando o objetivo é avaliar a resistência natural de madeiras ou a eficiência de preservativos, e consiste no soterramento parcial dos corpos de prova e na inspeção periódica dos mesmos para a verificação de sanidade, até que a vida útil do corpo de prova esteja determinada (LEPAGE, 1986).

3.5 Ensaio destrutivos

Para a caracterização da madeira em alguns casos, faz-se necessário o a destruição parcial ou total da mesma, o que significa inutilizar a peça após a realização do ensaio, especialmente quando a finalidade é obter resultados de análise química e propriedades mecânicas. Mesmo que as peças ou corpos de provas submetidos a certos ensaios não fiquem completamente inutilizados, os mesmos sempre deixarão algum tipo de deformidade na madeira.

3.5.1 Análise química

Para análise química, a madeira precisa ser desintegrada, isto é, moída, para que se possa conseguir uma completa penetração dos reagentes e para assegurar reações uniformes, e o primeiro passo neste caso é a transformação da madeira em cavacos, ou operações semelhantes, que transformem a madeira em partículas pequenas (KLOCK, et al., 2005).

A análise química compreende a determinação da sua composição, bem como a extração, purificação e caracterização de seus constituintes (KLOCK, et al., 2005). O mesmo autor, falando sobre as dificuldades desse método, diz que, em geral isso não se dá devido ao grande número de componentes da madeira, os quais são muito diferentes na sua composição química e comportamento, mas antes, pelo fato de que as macromoléculas da parede celular se encontram numa associação ultraestrutural e química muito íntima.

Na análise dos componentes químicos da madeira, deve se considerar os dois grandes grupos de componentes químicos: os componentes estruturais e os componentes não estruturais (PEREIRA et al., 2003). O primeiro grupo, segundo Silva (2010), engloba as substâncias macromoleculares que constituem a parede celular de todas as madeiras e cuja remoção da parede celular implica a utilização de processos químicos ou mecânicos com elevada quantidade de energia com a finalidade alterar fundamentalmente as propriedades das células. Estas são as macromoléculas: celulose, hemiceluloses e lignina. As do segundo grupo, são os componentes não estruturais, e fazem parte destes as substâncias de baixa massa molecular como os extrativos e substâncias minerais, vulgarmente designadas por cinzas, e que se encontram no lúmen das células e nos espaços vazios existentes na estrutura da madeira, podendo ser removidos pela utilização de solventes de polaridade adequada.

3.5.2 Flexão estática

Segundo Stangerlin et al. (2010), dos ensaios mecânicos realizados para avaliação da qualidade e resistência da madeira pode-se destacar o ensaio de flexão estática. A propriedade mecânica de flexão estática diz respeito ao comportamento da madeira quando submetida a uma carga aplicada em sua face tangencial, com o propósito de provocar seu flexionamento (MORESCHI, 2010).

A flexão estática é uma das propriedades mecânicas mais importantes, pois essa expressa a resistência do material quando exposto sob a uma determinada força (TRAMONTINA et al., 2013).

De acordo com Carreira; Dias (2009), o conhecimento das propriedades mecânicas da madeira é importante para avaliar sua qualidade sólida e definir a melhor utilização. O ensaio de flexão estática se faz necessário, uma vez que, a boa correlação entre a resistência mecânica e a rigidez à flexão, tem sido usada como critério para a classificação estrutural de madeiras.

Para entender a elasticidade da madeira, a mesma, até certo ponto, apresenta uma característica elástica, onde quando se cessa a força que a deforma, essa ainda apresenta capacidade de voltar ao seu estado inicial, e, a partir desse ponto a madeira não mais será elástica, mas passará para um estado plástico, ou seja, neste momento ela não mais apresenta a capacidade de voltar a seu estado original, ainda que se cesse a força que a deforma (STANGERLIN et al., 2010).

No ensaio de flexão estática, dois parâmetros são determinados, o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade; estes dão uma aproximação significativa da resistência do material, e com isso permite indicar suas possíveis aplicações práticas (MOREIRA, 1999).

Ainda segundo Tramontina et al. (2013), nas análises de flexão estática, os materiais submetidos ao teste de médias apresentaram diferenças em função do teor de umidade.

3.6 Ensaio não destrutivos

Segundo Ross et al. (1998), a avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material, sem alterar sua capacidade de uso.

De acordo com Gonçalves; Bartholomeu (2000), várias técnicas podem ser consideradas como não destrutivas, que vão desde o exame visual até os ensaios químicos e o uso de técnicas de vibração, propagação de ondas, emissões acústicas, raio X entre outros.

Utiliza-se métodos não destrutivos na madeira com a finalidade de se verificar a existência ou não, e descontinuidade ou defeito, por meio de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, para que isso não venha interferir em seu posterior uso (ROSS, et al., 1998).

3.6.1 Dureza Rockwell

A dureza pode ser definida como a resistência necessária para um corpo sólido penetrar em outro quando aplicado certo esforço físico sobre este, ou como a resistência oferecida pelo material testado à penetração de um instrumento como agulha, esfera, cilindro e outros (MORESCHI, 2010).

Segundo Colenci (2006), os principais métodos de medição de dureza de materiais podem ser divididos em dois grupos: o primeiro que é caracterizado por medir a força requerida para a penetração de uma peça – uma esfera, por exemplo – com deformação previamente especificada. E o segundo grupo que é caracterizado por medir a deformação causada por um instrumento de dimensão e carga pré-estabelecida.

Em se tratando de ensaios mecânicos com finalidade de caracterizar um material, o teste de dureza é um dos métodos mais importantes e utilizados (STANGERLIN, 2012). O mesmo autor ainda destaca que entre os métodos utilizados em ensaios, o de dureza Rockwell é o mais empregado no mundo, em razão da rápida leitura do resultado e da impressão que pode na maioria das vezes não danificar a peça utilizada no ensaio.

Quanto a resultados, nos ensaios de dureza Rockwell, Stangerlin et al. (2013) mencionaram que este pode ser empregado como ferramenta principal na caracterização da biodeterioração da madeira, pois é sensível na predição dos estágios iniciais.

Embora não haja muitos trabalhos utilizando esse método, Stangerlin (2012) destaca três vantagens da dureza Rockwell em relação aos outros métodos: a) apresenta maior exatidão, uma vez que não exige leitura do tamanho da impressão; b) provoca menor tamanho da impressão, evitando assim fraturas nos corpos de prova; c) e não há a necessidade de se atenuar superfície, visto que pequenas irregularidades são eliminadas no emprego da pré-carga.

Assim é obtido dados em função da profundidade ou tamanho da impressão, o qual se relaciona a um índice de dureza. Dessa forma, quanto mais macio este material, maior será impressão e menor esse índice, sendo que estes valores são relativos, ou seja, depende do tipo de técnica utilizada (STANGERLIN, 2012).

MATERIAL E MÉTODOS

3.7 Coleta do material e preparo dos corpos de prova

Para realização desse estudo foram utilizadas três tábuas, com dimensões nominais de 0,025 x 0,30 x 3 m (espessura x largura x comprimento), para cada uma das cinco espécies amazônicas, amescla (*Trattinnickia rhoifolia* Willd.), cedrinho (*Erismia uncinatum* Warm.), angelim-saia (*Parkia pendula* (Willd.) Walp.), garapeira (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr.) e itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub.). As tábuas foram obtidas de forma aleatória, em diferentes serrarias do município de Sinop, Mato Grosso.

As tábuas foram aplainadas com auxílio de uma plaina desengrossadeira, sendo posteriormente confeccionados os corpos de prova, para os ensaios de deterioração, em marcenaria particular.

Os corpos de prova para os ensaios de deterioração tiveram dimensões nominais de 2 x 2 x 30 cm (espessura x largura x comprimento), de acordo com padronizações sugeridas por Melo et al. (2010). Além desses, foram ainda retirados das tábuas corpos de prova com dimensões de 2 x 2 x 10 cm, sendo a maior dimensão no sentido axial, para a determinação da massa específica básica e da composição química inicial da madeira (Figura1).

Logo após a confecção, os corpos de prova foram lixados com lixa de grã 200 e submetidos à climatização forçada em estufa de circulação de ar a 60°C até obtenção de massa constante.



Figura 1. Amostra com 2 x 2 x 30 cm (esq.) e amostra com 2 x 2 x 10 cm (dir.)

3.8 Caracterização da massa específica básica

A determinação da massa específica básica e da composição química da madeira das cinco espécies foi realizada no Laboratório de Tecnologia Química de Produtos Florestais da UFMT-CUS.

Na condição de saturação em água, foram obtidas as dimensões tangencial, radial e longitudinal de 10 corpos de prova (2 x 2 x 10 cm aproximadamente) de cada espécie, com o auxílio de um paquímetro digital com sensibilidade de 0,01 mm. Posteriormente, os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa convencional de circulação forçada a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ até obtenção de massa constante, esta obtida por meio de monitoramento da massa em balança eletrônica digital de sensibilidade de 0,001 g (Figura 2). Mediante a relação entre massa seca e volume saturado foi obtida a massa específica básica de acordo com a Norma Brasileira Reguladora - NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003).



Figura 2. Estufa convencional de circulação (esq.) e balança digital (dir.)

3.9 Ensaios de deterioração de campo

Os ensaios de deterioração de campo foram desenvolvidos durante o período de dez meses, entre maio de 2014 e março de 2015. O local do ensaio de campo consistiu em dois ambientes distintos, sendo um de campo aberto, livre de vegetação rasteira, e outro de floresta, em estágio de regeneração, ambos pertencentes à UFMT-CUS (Figura 3).

Para tal, foram utilizadas um total de 156 corpos de prova (2 x 2 x 30 cm) para cada espécie, sendo 72 para os ensaios em campo aberto, 72 para os ensaios em floresta e 12 que foram utilizados como testemunhas para os ensaios mecânicos.



Figura 3. Distribuição dos corpos de prova em ambiente de campo aberto (esq.) e distribuição dos corpos de prova em ambiente de floresta (dir.)

A distribuição dos corpos de prova, em cada ambiente de deterioração, foi definida pela divisão em cinco blocos casualizados, contendo em cada um, 12 linhas. Sendo nesses alocados aleatoriamente 72 corpos de prova. Os blocos e suas linhas foram distanciados 30 e 10 cm entre si respectivamente, e, por sua vez, os corpos de prova foram enterrados parcialmente 15 cm, estando os mesmos equidistantes 5 cm uns dos outros (Figura 4).



Figura 4. Disposição dos blocos com os corpos de prova e suas respectivas distâncias

3.10 Periodicidade das amostragens

As amostragens foram realizadas a cada 60 dias, quando eram retirados seis corpos de prova de cada espécie para cada ambiente de deterioração – o restante dos corpos de prova, permaneceram à campo, para fins de avaliação contínua da deterioração até dois anos. Após a retirada e limpeza superficial, todos os corpos de prova foram submetidos a secagem em estufa de circulação de ar a 60°C até obtenção de massa constante.

Em cada período de amostragem, foram determinadas as propriedades biológica e mecânica, conforme metodologia descrita a seguir:

3.10.1 Perda de massa

O grau de resistência natural de cada corpo de prova foi avaliado, em função da sua perda de massa, sendo essa calculada por meio da diferença entre a massa inicial e a massa final (Equação 1).

$$PM = \frac{Mi - Mf}{Mi} * 100 \quad (1)$$

Em que: PM = perda de massa (%); Mi = massa inicial (g); Mf = massa final (g).

3.10.2 Dureza Rockwell

Para o ensaio mecânico de dureza Rockwell foi utilizado um durômetro de bancada (Figura 5). Cada corpo de prova foi submetido ao ensaio de dureza Rockwell, dotado de penetrador esférico de 1/4 de polegada, onde aplicou-se a carga em duas etapas distintas, numa primeira, aplicou-se uma pré-carga de 10 kgf e na segunda aplicou-se a carga final de teste de 60 kgf.



Figura 5. Durômetro de bancada dotado de penetrador esférico (1/4")

Foram realizados, em pontos distintos, três leituras da dureza Rockwell para cada corpo de prova, sendo o resultado da resistência oferecida à penetração da esfera obtido diretamente no mostrador digital do durômetro. Optou-se, no entanto, por considerar apenas o valor obtido

na zona de afloramento do corpo de prova, uma vez que essa foi a região que em média, apresentou menor resistência quando comparado com as duas extremidades da peça.

3.10.3 Flexão Estática

Os ensaios de flexão estática, visando a obtenção do módulo de elasticidade (MOE) e do módulo de ruptura (MOR), foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFMT- CUS, e, para tanto, foi utilizada uma máquina universal de ensaios com capacidade de carga de 300 kN (Figura 6).



Figura 6. Máquina Universal de ensaios com capacidade de 300 kN (quilonewton)

Utilizando-se da Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT 458 e 30: 1-006, 1972), que define a forma, dimensões do corpo-de-prova e direção da carga utilizadas no ensaio de flexão estática, foram feitas avaliações da mesma para a determinação do módulo de ruptura e módulo de elasticidade.

3.10.4 Caracterização química da madeira

Além da caracterização química inicial realizada utilizando-se de 10 corpos de prova de 2 x 2 x 10 cm, na caracterização química final, após os ensaios mecânicos, procedeu-se da mesma maneira com os corpos de prova que permaneceram em ambiente de deterioração até o oitavo mês. Ou seja, em ambas as avaliações (inicial e final) os corpos de prova foram transformados em cavacos e, posteriormente, convertidos em serragem, ao empregar moinho de facas do tipo Willey.

Em seguida, o material moído foi subdividido em três frações granulométricas, acima de 40 mesh, entre 40/60 mesh e abaixo de 60 mesh, conforme a NBR 14660 (ABNT, 2003). A partir da fração granulométrica retida na peneira de 60 mesh foram realizadas as análises químicas, em duplicata, por via úmida (tradicional), para determinação dos teores de extrativos, lignina, cinzas e de solubilidade em NaOH, conforme as NBR 14853, NBR 7989, NBR 13999

(ABNT, 2003) e NBR 7990 (2001), respectivamente. Com relação ao teor de holocelulose, o mesmo foi definido como sendo a diferença entre a composição química total (100%) e a composição da fração não-carboidrato (somatório entre os teores de extrativos, lignina e cinzas).

Na avaliação final, foram transformados em serragem apenas a região dos corpos de prova que permaneceram sob o solo, em função de ser a parte da madeira mais afetada pelos organismos xilófagos.

3.10.5 Análise estatística

Para análise dos resultados das alterações nas propriedades tecnológicas da madeira submetidas aos ensaios de deterioração, buscou-se utilizar um modelo estatístico que permitisse relacionar as variáveis analisadas. Para isso foram gerados modelos de estimativas de análise de regressão, por meio dos quais foi possível verificar os níveis de significância dessa interação, assim como o ajuste dos modelos gerados.

4 RESULTADOS E DISCUÇÃO

4.1 Massa específica básica

Todos os valores de MEb (massa específica básica) obtidos no trabalho podem ser observados através da Figura 7.

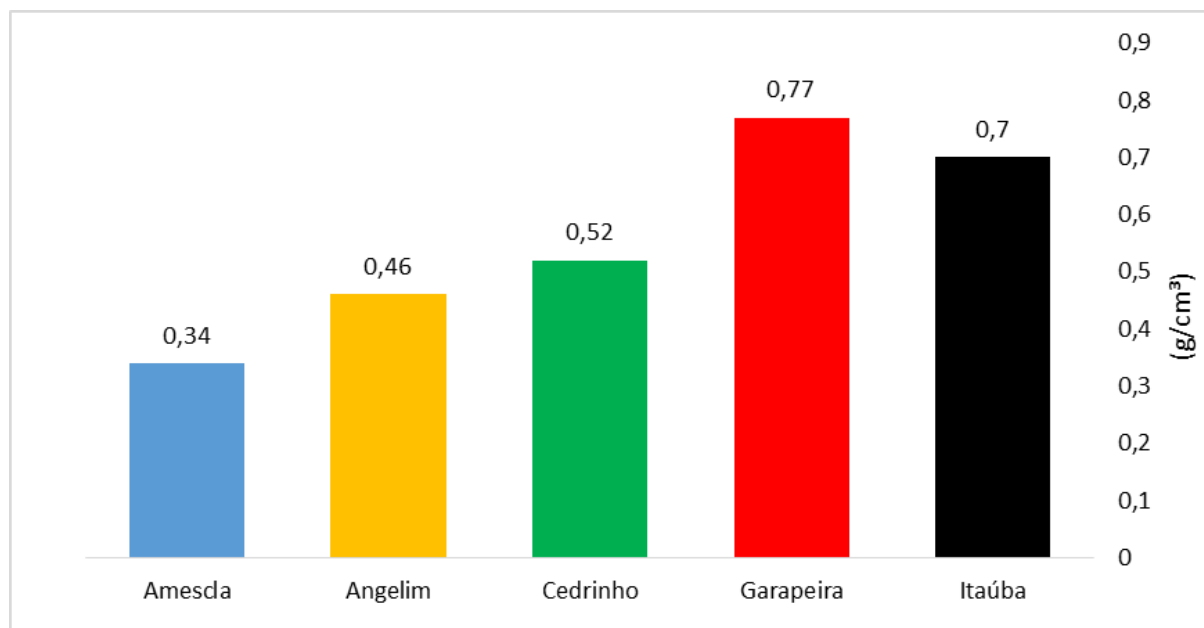


Figura 7. Valores de Massa Específica Básica para as cinco espécies avaliadas

Ao se verificar a massa específica básica, nota-se que as espécies de amescla e garapeira apresentaram valores inferiores aos descritos na literatura, sendo esses de 0,34 e 0,77 g/cm³, respectivamente. Segundo Melo et al. (2002), a madeira de amescla apresenta uma massa específica básica entre 0,44 e 0,50 g/cm³. Para a madeira de garapeira, houve certa diferença quando comparado com dados do IBAMA (2014), pois neste a massa específica básica apresentou valor igual a 0,88 g/cm³. Com relação as demais as espécies, ou seja, angelim-saia, cedrinho e itaúba, os valores foram compatíveis com os dados do IBAMA (2014) 0,50 g/cm³, Sistema Florestal Brasileiro (2015), 0,50 g/cm³ e Amorim (2013), 0,70 g/cm³, respectivamente.

Do ponto de vista físico, a massa específica e, conseqüentemente, a porosidade, podem ser empregadas como indicativo da durabilidade natural (PANSIN; DE ZEEUW, 1980), sendo que as madeiras menos densas e mais porosas, como no caso da amescla, angelim-saia e cedrinho, oferecem menor estabilidade à deterioração.

De acordo com Kollmann (1959), a massa específica é um dos principais parâmetros para a definição da qualidade da madeira, visto que a mesma se correlaciona com as principais

propriedades tecnológicas da madeira, em especial, as físicas e mecânicas. Deste modo, será possível verificar a relação dessa propriedade com as demais abordadas nesse trabalho.

4.2 Composição química

Na avaliação química da madeira das cinco espécies avaliadas, quando consideramos o teor de holocelulose, como verificado na Figura 8, observa-se que na avaliação inicial, as espécies de garapeira e itaúba apresentaram uma menor porcentagem em relação a dados da literatura (60,99% e 52,87% respectivamente), pois segundo avaliações realizada por Santana; Okino (2007), estas apresentavam teores iguais a 71,80% e 66,10% nesta ordem. Enquanto as demais exibiram valores coincidentes ao trabalho realizado por Santana; Okino (2007).

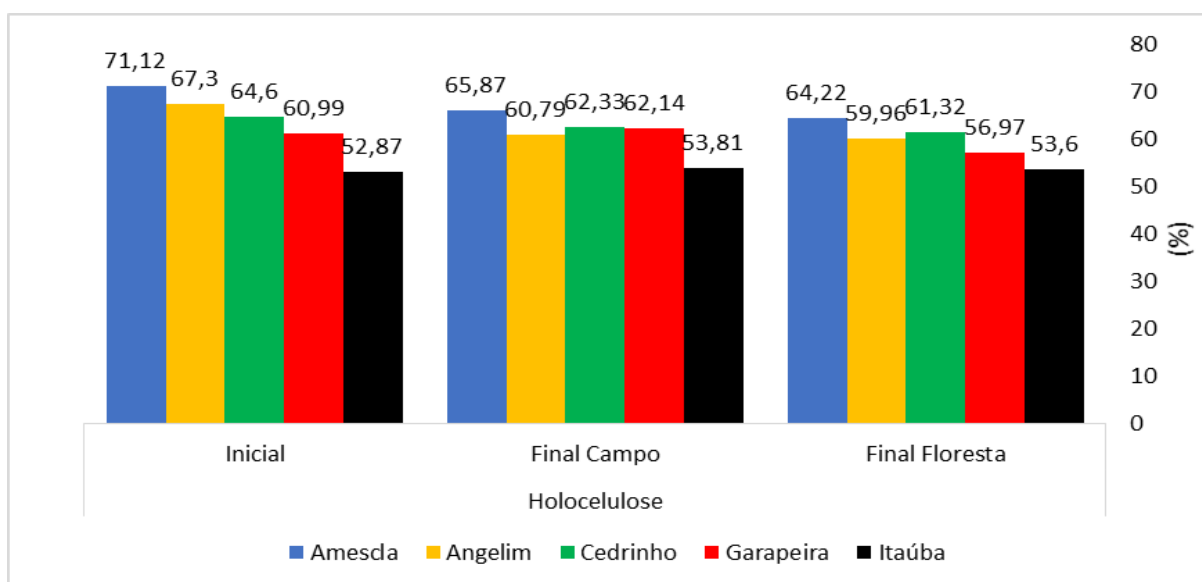


Figura 8. Teores de holocelulose inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta

Quando comparado esses à avaliação final, os resultados do teor de holocelulose apresentaram valores menores para as espécies de média/baixa MEB, com redução média entre campo e floresta igual a 8,5% para a amescla, 10,3% para o angelim-saia e 4,3 para o cedrinho. No entanto, para as duas espécies de alta MEB houve certa irregularidade, uma vez que a madeira de itaúba apresentou aumento médio entre campo e floresta igual a 1,6%. E a madeira de garapeira, exibiu um aumento de 1,9% para ambiente de campo aberto, enquanto a madeira exposta em ambiente de floresta apresentou uma redução igual a 7,1%.

Isso mostra que, em função deste componente da madeira ser mais susceptível a ataque de organismos xilófagos, especialmente fungos apodrecedores e térmitas, os resultados estão

de acordo com o esperado, onde os mesmos apresentaram a redução que houve para a madeira das espécies de média/baixa MEb.

A variação na resistência da madeira a cupins, entre as posições analisadas, foi observada por Paes; Vital (2000) e Paes et al. (2007), e atribuída à diferença na concentração de extrativos na madeira. O que pode ser uma justificativa para maior redução no teor de holocelulose da madeira de angelim-saia e principalmente a mescla, uma vez que as mesmas apresentaram menor teor de extrativos. Ao mesmo, verifica-se que em estudo realizado por Medeiros Neto (2008), a resistência da madeira a cupins não esteve associada ao teor de extrativos, e sim ao teor de cinzas.

As espécies que tenderam a manter um maior teor de holocelulose na avaliação final, ou seja, as madeiras de garapeira e itaúba, demonstram que sua MEb em conjunto com o alto teor de extrativos em relação às demais espécies, são os principais responsáveis pelo não ataque dos organismos deterioradores. Embora, nem sempre madeiras com maiores teores de extrativos são mais resistentes ao ataque de organismos deterioradores (OLIVEIRA et al. 2005; GUERRA, 2010). Sendo necessário considerar a classe química desses extrativos (STANGERLIN, 2012).

Ryvarden (2007) afirma que os fungos, em especial os de podridão parda, degradam a superfície da parede celular, principalmente as frações de polissacarídeos (celulose e hemicelulose) por ação enzimáticas e não-enzimática, causando a coloração pardo-escura, gerando um resíduo enriquecido em lignina.

Para os teores de lignina, na avaliação inicial houve pouca variação quando relacionados a resultados obtidos por Santana; Okino (2007), os quais quantificaram a composição química da madeira dessas espécies. Apenas podemos destacar o valor apresentado para espécie itaúba, a qual mostrou um maior quantitativo desse componente quando comparado as demais espécies (Figura 9). Segundo Wardrop (1971), a lignina é responsável, em parte, pela resistência mecânica das madeiras. Fato que será observado quando analisado o comportamento das mesmas ao serem submetidas aos testes mecânicos.

Ao estudar *Eucalyptus saligna*, Trugilho et al. (1996) encontrou correlação negativa entre lignina e MEb. Brito; Barrichelo (1977) não encontraram nenhuma correlação entre as duas propriedades ao avaliar em dez espécies de eucalipto, cuja idades variaram de seis a dez anos.

Quando observado os valores de lignina obtidos na avaliação final, verifica-se que houve certo aumento no teor da mesma para todas as espécies e em ambos os ambientes de deterioração, especialmente para as espécies de média/baixa MEb. Os valores médios de

aumento entre campo e floresta para a madeira dessas espécies, expresso em porcentagem, ficaram em: 12,0% para a madeira de amescla; 17,3% para a madeira de angelim-saia; 6,2% para a madeira de cedrinho; 10,0% para a madeira de garapeira e; 1,9% para a madeira de itaúba. Havendo apenas pequena discrepância entre campo aberto e floresta para a espécie de garapeira, onde a mesma mostrou um maior aumento para o ambiente de floresta.

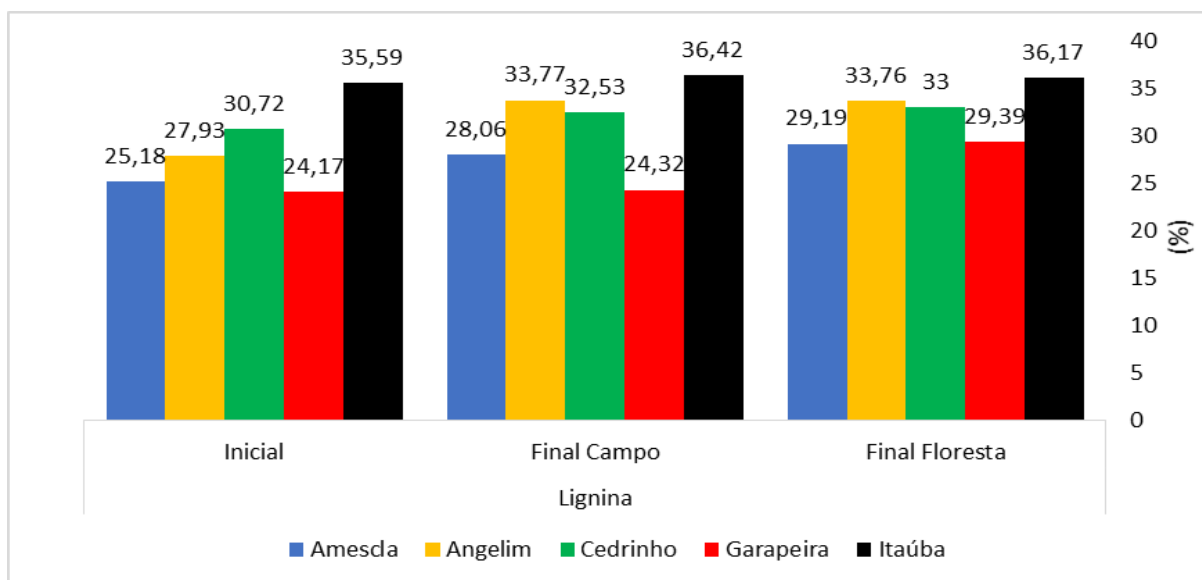


Figura 9. Teores de lignina inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta

Ao relacionarmos o aumento no teor de lignina com os valores observados para o teor de holocelulose no mesmo período, pode-se verificar que os mesmos coincidem inversamente. Isso mostra que apesar do quantitativo de lignina possivelmente ter sofrido redução em relação a seu estado inicial, a mesma apresentou maior resistência aos organismos xilófagos, quando comparada à holocelulose. Dessa forma pode se concluir que o fungo de podridão parda e cupins foram os principais agentes causadores da redução na massa das madeiras avaliadas, uma vez que estes atacam apenas a celulose e hemicelulose. Resultando assim em uma maior concentração de lignina na avaliação final.

Esse comportamento coincide com a explicação de Almeida (2012), que em seu trabalho pôde concluir que o fungo de podridão parda levou a um aumento progressivo da lignina, evidenciado pelo aumento na intensidade relativa das bandas de lignina e a correspondente diminuição na intensidade das bandas de carboidratos. Também pode-se justificar o ataque de cupins subterrâneos, pois, de acordo com Mendes; Alves (1988), o principal nutriente desses agentes é a celulose, e que pode ser obtida tanto da madeira quanto de outros tecidos vegetais.

Com relação aos teores de extrativos solúveis em etanol (Figura 10), quando comparado a outros trabalhos, é possível verificar que se obteve uma maior porcentagem do mesmo na

avaliação inicial, especialmente para as madeiras de cedrinho (3,79%) e garapeira (13,47%). Santana; Okino (2007) encontraram para as mesmas espécies teores de 1,7% e 9,4%, respectivamente.

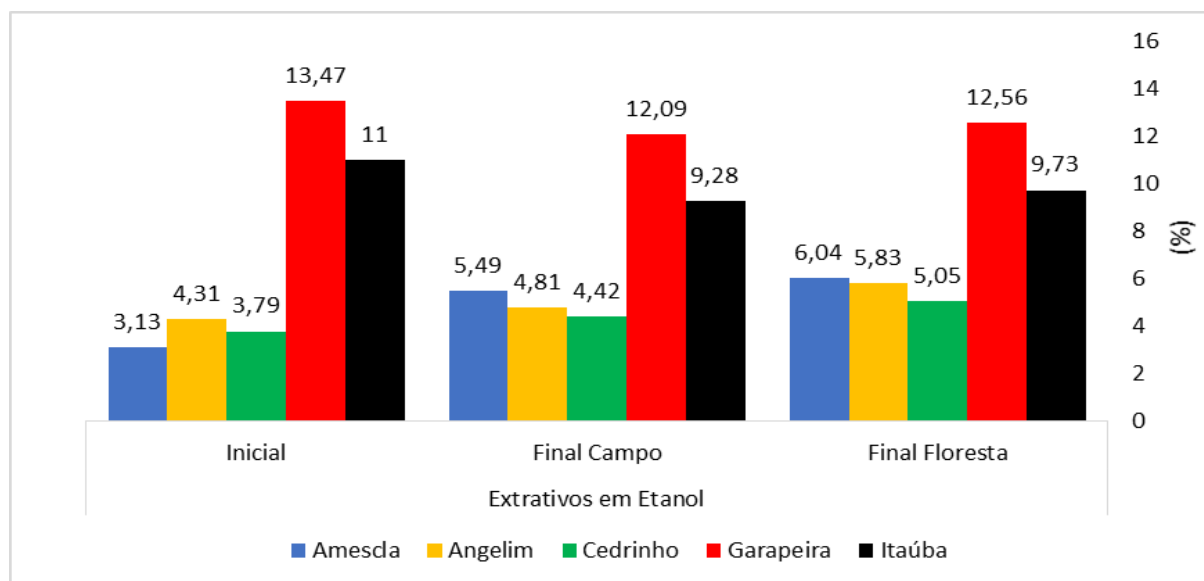


Figura 10. Teores de extrativos em etanol inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta

Observando, porém, os valores de extrativos obtidos na avaliação final, verifica-se que os mesmos exibiram maiores teores para as três espécies de média/baixa MEB, enquanto o mesmo não pode ser observado para as duas espécies de alta MEB. Pois enquanto os valores médios, entre campo e floresta, aumentaram respectivamente em 45,7%, 18,9% e 20,0% para as espécies de amescla, angelim-saia e cedrinho, os valores para garapeira e itaúba diminuíram 8,5% e 13,6% nesta ordem.

Para as espécies de média/baixa MEB, o destaque fica para a amescla, que exibiu um aumento significativo no teor de extrativos, o que pode ser relacionado a sua maior perda de holocelulose. Pois os acréscimos apresentados nessas madeiras podem ser explicados pelo aumento da acessibilidade do solvente a um maior número de locais das paredes celulares, após o tempo de exposição das mesmas em ambiente de deterioração, como reportado por Chen; Workman (1980); Yilgor et al. (2001), e, conseqüentemente em função dessa capacidade que o álcool etílico tem de solubilizar produtos da degradação de celulose e lignina, como explicado por Sarto; Sansigolo (2010).

Os valores inversos para os teores de extrativos exibidos pelas espécies de garapeira e itaúba, confirmam o que foi observado no comportamento das mesmas com relação a baixa perda de holocelulose, ou seja, são madeiras que sofreram ataque não intenso dos organismos deterioradores. Podendo desse modo concluir-se que, a diminuição no teor de extrativos dessas

madeiras deve-se ao fato de que houve apenas a lixiviação dos mesmos. Fato esse não observado nas madeiras das demais espécies, devido a sua alta perda de holocelulose.

Carneiro et al. (2009), afirma que de modo geral, madeiras da Região Amazônica com teor de extrativos acima de 7% apresentam um elevado potencial de durabilidade natural e, conseqüentemente, mínimas perdas de massa. Isso pode ser verificado quando relacionamos a perda de massa das duas espécies de maior massa específica com seus respectivos teores de extrativos. Eaton; Hale (1993), também argumentam que os extrativos influenciam no grau de resistência biológica, podendo minimizar ou acelerar a deterioração dos constituintes de alto peso molecular (celulose, polioses e lignina).

Na avaliação da solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH a 1%), quando compara-se os valores iniciais com os valores obtidos na avaliação final, observa-se um aumento dos mesmos na ordem de 57,7% para a espécie amescla, 62,5% para a espécie angelim-saia, 65,4% para a espécie cedrinho, 35,0% para a espécie garapeira e 14,1% para a espécie itaúba (Figura 11). Sendo que a diferença de alteração entre o ambiente de campo aberto e floresta se mostrou quase nula.

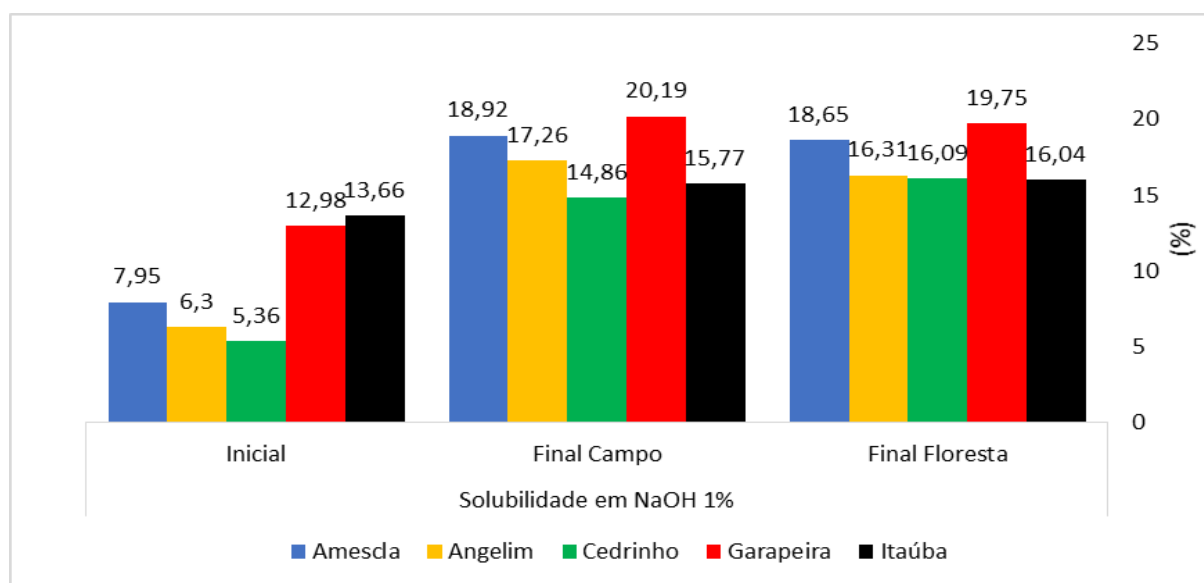


Figura 11. Solubilidade em NaOH 1% inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta

Esse comportamento confirma que houve ataque significativo de organismos deterioradores nas madeiras avaliadas, assim como já havia sido observado quando se quantificou a redução na porcentagem de holocelulose, seguindo desse modo um padrão inverso. Ou seja, quando as enzimas dos agentes xilófagos atacam os componentes químicos (celulose e hemicelulose), gera-se uma série de resíduos desses componentes, que são cadeias dímeras ou trímeras não assimiladas pelos fungos e/ou cupins, e conseqüentemente solubilizadas em NaOH.

Esta solução extrai ou dissolve carboidratos de baixa massa molecular, principalmente hemiceluloses e celulose degradada (TRUGILHO et al., 2007). O mesmo autor ainda explica que, assim, a solubilidade da madeira em NaOH 1% pode indicar o grau de degradação da celulose pelo ataque de fungos, aquecimento, luz, oxidação, etc.

Com relação ao teor de cinzas na avaliação inicial, podemos destacar que o valor obtido da mesma para a madeira de garapeira (1,37%), é bem acima dos valores apresentados pelas demais espécies. Oliveira (2003), afirma que um maior percentual de cinzas na madeira está associado a um menor teor de lignina, fato esse observado com as espécies em questão.

Seguindo o padrão de redução da holocelulose, o teor de cinzas, na avaliação final também exibiu perdas em relação a porcentagem inicial (Figura 12). Pode se observar que isso ocorreu para todas as espécies e em ambos ambientes, com exceção da madeira de angelim-saia e garapeira em ambiente de campo aberto. De acordo com Tsoumis (1991), o conteúdo de cinzas raramente é menor que 0,2% ou maior que 1% da massa para madeiras tropicais, de forma que só a madeira de garapeira apresentou valor acima desse intervalo.

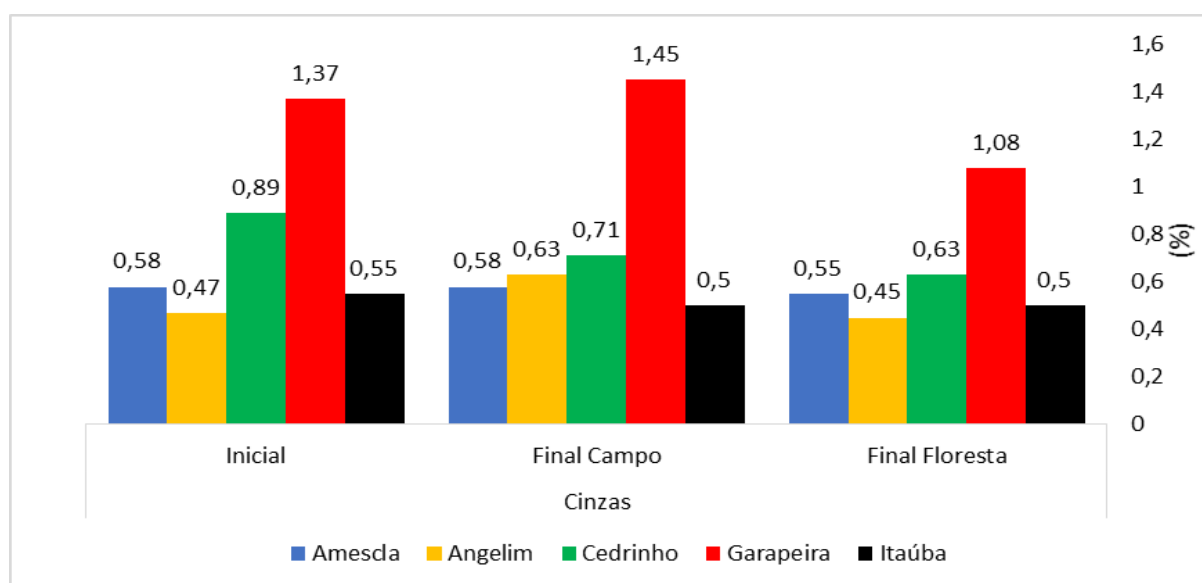


Figura 12. Teores de cinzas inicial e final para as cinco espécies submetidas em ambiente de campo aberto e floresta

Esse resultado apresenta certa contradição, pois, de acordo com Thörnqvist (1985), com a deterioração de materiais orgânicos, a porcentagem dos materiais inorgânicos (cinzas) devem aumentar. Ou seja, ao passo que a madeira perde parte dos componentes como a celulose e hemicelulose, a tendência esperada seria o aumento no teor de cinzas, fato esse não observado na presente avaliação.

Quando observamos os diferentes ambientes de deterioração, percebemos que não foi possível estabelecer uma diferença precisa para o grau de deterioração entre os dois. Houve

alternância de variação entre os mesmos, dependendo da espécie e da época das avaliações. Em estudo feito por Marcondes (2011), o ambiente de campo aberto apresentou menores índices de deterioração quando em comparação ao ambiente de floresta. No entanto, Trevisan (2006) apresentou resultados contrário em seu trabalho, quando comparados os dois ambientes.

4.3 Perda de massa

A perda de massa das cinco espécies submetidas aos ensaios de deterioração, foram avaliadas dentro do período de 300 dias, e podem ser observadas na Figura 13.

É possível verificar através da figura que a perda de massa nos primeiros quatro meses foi pouco intensa, e isso possivelmente em função do estado ainda sadio dos corpos de prova. A partir desse momento, verifica-se que as espécies de média-baixa MEB como a amescla, o angelim-saia e o cedrinho, exibiram uma redução acentuada de massa até o final do período de avaliação, apresentando valores de perdas iguais a 6,0% e 10,0% para a madeira de cedrinho (campo aberto e floresta respectivamente), 15,0% e 17,0% para a madeira de angelim-saia (campo aberto e floresta) e 22,0% e 25,0% para a madeira de amescla (floresta e campo aberto). Para a perda de massa das espécies de alta MEB, os valores não atingiram mais que 2,0% em média, com uma menor redução de massa para a espécie itaúba, em ambos os ambientes.

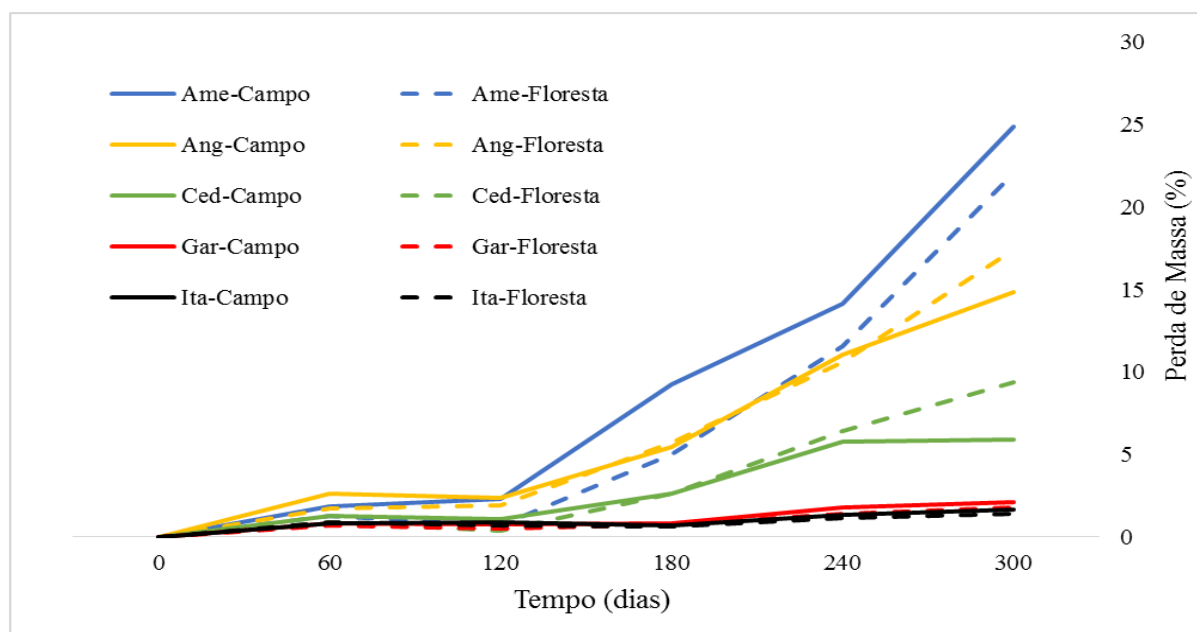


Figura 13. Gráfico representando a perda de massa das respectivas espécies e ambientes

Tabela 1. Análise de regressão da perda de massa em função do tempo para as respectivas espécies e ambientes.

Espécie x Ambiente	Equação	R ² aj.	Syx	Fcalc.
Amescla Campo	PM = -3,293 + 0,080 * (t)	0,674	5,748	73,42**
Amescla Floresta	PM = -3,534 + 0,069 * (t)	0,662	5,164	67,54**
Angelim Campo	$\sqrt{PM} = 0,319 + 0,012 * (t)$	0,982	0,429	290,10**
Angelim Floresta	$\sqrt{PM} = 0,123 + 0,013 * (t)$	0,926	0,387	429,08**
Cedrinho Campo	$\sqrt{PM} = 0,284 + 0,007 * (t)$	0,703	0,050	83,92**
Cedrinho Floresta	PM = -1,653 + 0,035 * (t)	0,746	2,124	103,88**
Garapeira Campo	PM = 0,086 + 0,006 * (t)	0,863	0,264	220,90**
Garapeira Floresta	PM = 0,040 + 0,005 * (t)	0,845	0,240	192,02**
Itaúba Campo	PM = 0,192 + 0,005 * (t)	0,805	0,238	145,39**
Itaúba Floresta	PM = 0,051 + 0,068 * $\sqrt{(t)}$	0,712	0,252	87,58**

Em que: PM: perda de massa; R²aj.: coeficiente de determinação; Syx: erro padrão da estimativa; F.calc.: nível de significancia das estimativas, onde * representa significancia a nível de 5%, ** representa significancia a nível de 1% e NS representa a Não significancia.

O aumento na perda de massa a partir do quarto mês de exposição aos ambientes de deterioração pode ser relacionada com as características químicas e estruturais dessas espécies observados na avaliação química, quando se observou a redução da holocelulose devido a ataques de fungos de podridão parda e térmitas. Fato esse que foi facilitado em função de este momento coincidir com o início do período chuvoso na região (setembro/outubro). Segundo Nicholas (1985), a madeira quando em contato com o solo úmido deteriora muito mais rápido do que fora dele, em função do equilíbrio da umidade existente neste.

Neste estudo, foi possível observar que houve pouca discrepância na perda de massa com relação aos diferentes ambientes. Verificado apenas certa desigualdade na comparação entre campo e floresta para a madeira de amescla a partir do quarto mês e, para a madeira de cedrinho a partir do oitavo mês, o que pode ser atribuído ao ataque térmitas.

A madeira de cedrinho exibiu certa estabilidade na perda de massa em ambiente de campo aberto entre o oitavo e décimo mês. Isso possivelmente aconteceu por conta da metodologia de coleta dos corpos de prova para a avaliação, uma vez que os mesmos eram retirados aleatoriamente do local de deterioração, o que pode ter resultado em amostras menos afetadas na avaliação final, se comparado as amostras avaliadas no oitavo mês.

Segundo Trevisan (2006), dentro da cadeia da sucessão ecológica do processo de deterioração da madeira, notou-se que os corpos-de-prova oriundos de dentro da mata, foram mais deteriorados em comparação com os de fora da mata, fato esse que contraria ao observado nesse trabalho, quando verificamos que as espécies de amescla, garapeira e itaúba, apresentaram ligeiramente uma maior perda de massa no ambiente campo aberto na última avaliação.

Ribeiro (2011), ressalta que áreas de floresta podem favorecer condições anaeróbica e criar um ambiente adverso à microfauna, em função de sua capacidade de manter o solo inundado em determinados períodos. O mesmo autor ainda destaca o problema da lixiviação de constituintes químicos de baixo peso molecular (proteínas, amidos e açúcares), causada pela inundação da área de avaliação. Ou seja, uma vez que esses constituintes são os responsáveis por desencadear o processo de deterioração por esses organismos xilófagos, sua lixiviação e/ou a condição anaeróbica pode ter sido a causa da maior resistência nesse ambiente para as espécies de amescla, garapeira e itaúba.

No entanto, Cavalcante (1985), afirma que a mesma madeira pode apresentar respostas diferentes em dois ambientes distintos, em função de estes apresentarem condições características como umidade, insolação, aeração e temperaturas desiguais.

Com relação as espécies com maior massa específica, é nítido perceber que as mesmas apresentaram um baixo grau de perda de massa dentro desse período avaliado. Sendo isso resultado de suas características intrínsecas, pois, conforme Panshin; de Zeeuw (1980), associa-se alta massa específica com alta resistência à perda de massa devido à deterioração.

De acordo com Marcondes et al. (2013), a perda de massa, o teor de extrativos e o potencial de resistência natural são diretamente relacionados, e, quando tais madeiras apresentam alto teor de extrativos, exibem um elevado potencial de resistência natural, e conseqüentemente, exibem mínimas perda de massa. Justificando o observado nesse trabalho.

Buscando um modelo estatístico que permitisse relacionar as variáveis analisadas (perda de massa em função do tempo), foram gerados modelos de estimativas de análise de regressão, por meio do qual foi possível verificar os níveis de significância ($p < 0,01$) dessa interação, como pode ser observado na Tabela 1.

Para todos os valores estimados, o nível de significância apresentado foi positivo. Ou seja, a relação apresentada pelas estimativas, mostram que houve correlação estatisticamente significativa entre as variáveis envolvidas. E isso evidencia a tendência de perda de massa em função do tempo de exposição. Stangerlin et al. (2013) verificou o mesmo comportamento ao avaliar madeiras de cumaru, jequitibá e marupá sob ataque de fungos de podridão branca e parda, onde as mesmas apresentaram significância nos ajustes preditivos ao se relacionar a variável perda de massa em função do tempo de exposição.

Da mesma forma, quando observamos o coeficiente de determinação, podemos verificar que os estes podem ser classificados como satisfatório, pois apresentaram valores acima de 66,0% para o ajustamento dos modelos, sendo que os mesmos originaram modelos lineares, exceto para a espécie de itaúba em ambiente de floresta que exibiu modelo quadrático.

4.4 Dureza Rockwell

Na avaliação não destrutiva dos corpos de prova, que consistiu no teste de dureza Rockwell, as leituras foram tomadas na zona de afloramento dos corpos de prova (sentido perpendicular às fibras), uma vez que essa região apresenta maior perda de dureza em função de ser esse o local de maior incidência de ataques de organismos xilófagos. A plotagem dos resultados pode ser observada por meio da Figura 14, que apresenta os diferentes comportamentos das espécies no período de 300 dias de exposição a ambiente de deterioração.

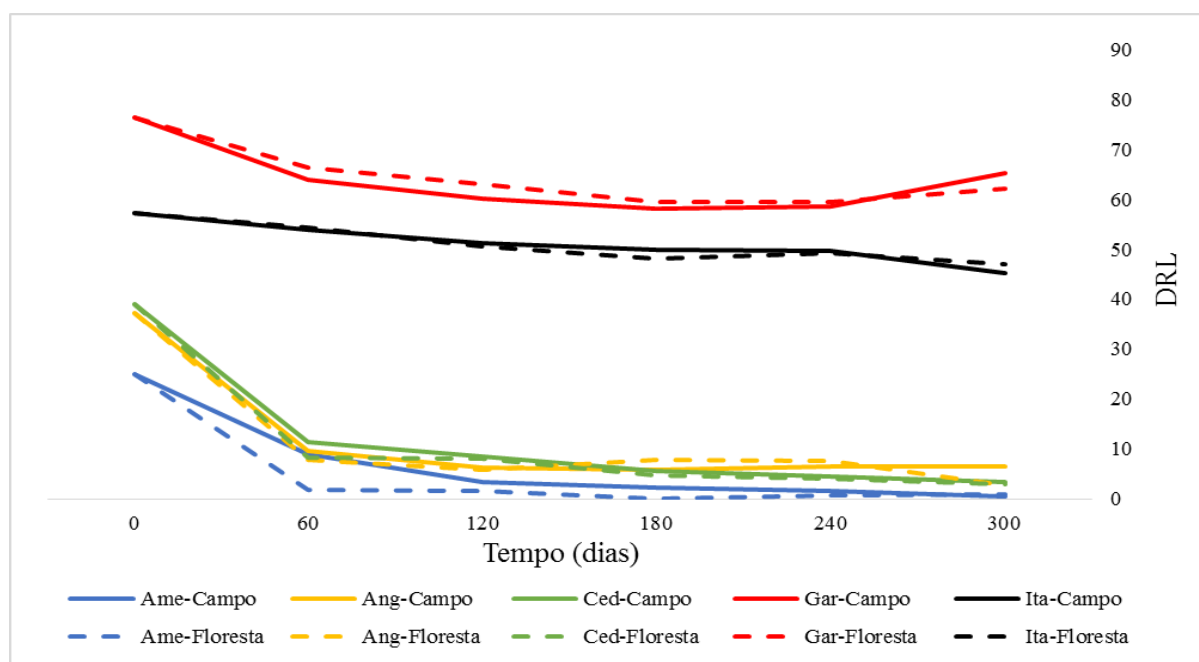


Figura 14. Gráfico representando a dureza Rockwell das respectivas espécies e ambientes

Tabela 2. Análise de regressão da dureza Rockwell em função do tempo para as respectivas espécies e ambientes.

Espécie x Ambiente	Equação	R ² aj.	Syx	F _{calc.}
Amescla Campo	$DRL = 23,422 - 1,554 * \sqrt{(t)}$	0,838	4,287	146,32**
Amescla Floresta	$DRL = 20,178 - 1,415 * \sqrt{(t)}$	0,754	4,961	93,08**
Angelim Campo	$DRL = 33,836 - 2,196 * \sqrt{(t)}$	0,792	6,416	119,20**
Angelim Floresta	$DRL = 30,983 - 2,011 * \sqrt{(t)}$	0,720	7,321	85,85**
Cedrinho Campo	$DRL = 32,599 - 1,992 * \sqrt{(t)}$	0,664	8,189	70,06**
Cedrinho Floresta	$DRL = 33,017 - 2,111 * \sqrt{(t)}$	0,705	7,856	82,39**
Garapeira Campo	$DRL = 73,784 - 1,236 * \sqrt{(t)}$	0,648	5,672	45,10**
Garapeira Floresta	$DRL = 74,590 - 1,157 * \sqrt{(t)}$	0,445	7,337	25,89**
Itaúba Campo	$DRL = 59,441 - 0,570 * \sqrt{(t)}$	0,164	7,226	6,51*
Itaúba Floresta	$DRL = 59,310 - 0,678 * \sqrt{(t)}$	0,430	4,825	19,85**

Em que: DRL: dureza Rockwell; R²aj.: coeficiente de determinação; Syx: erro padrão da estimativa; F_{calc.}: nível de significancia das estimativas, onde * representa significancia a nível de 5%, ** representa significancia a nível de 1% e NS representa a Não significancia.

É possível verificar por meio do gráfico os diferentes graus de dureza da madeira, tanto na avaliação inicial quanto nas avaliações seguintes. As características intrínsecas das distintas espécies demonstram os diferentes resultados, especialmente quando comparadas as espécies de média/baixa MEb, como a amescla por exemplo, com as de alta MEb, como a garapeira, sendo que essa característica influencia diretamente quando submetidas ao teste de dureza. Kollmann; Coté (1968), confirmam isso quando apresentam correlação significativa entre a dureza e a massa específica da madeira por meio de seus estudos de dureza Janka.

Porém, quanto a perda dessa propriedade no decorrer do tempo, é possível notar que no período dos primeiros 60 dias houve uma maior redução no grau de dureza, especialmente para as espécies de média/baixa MEb. Se analisada a espécie de amescla por exemplo, percebe-se que essa perdeu completamente a dureza no fim do terceiro período de avaliação (180 dias) para o ambiente de floresta e aos 300 dias para o ambiente de campo aberto. Enquanto as outras duas (angelim-saia e cedrinho) tenderam a uma estabilização de durezas nos períodos que se seguiram, após a terceira avaliação.

Como conclui Stangerlin et al. (2012), a dureza Rockwell pode ser empregada como ferramenta principal na caracterização da biodeterioração da madeira nos estágios iniciais, quando sua predição é mais sensível. O que pode ser confirmado quando lhes atribuímos às madeiras de média/baixa massa específica, onde as mesmas apresentaram valores muito baixo.

Com relação as duas espécies de maior massa específica, as mesmas apresentaram uma pequena tendência a estabilização da dureza com o passar do tempo, tanto para ambientes de campo quanto de floresta. Embora em estudos realizados por Stangerlin et al. (2013), avaliando a dureza Rockwell da madeira de três espécies amazônicas, estas não apresentaram estabilização entre a oitava e décima segunda semana de ensaio para apodrecimento com fungos apodrecedores.

As variações de tendências em determinados períodos dando a impressão de aumento de dureza, pode ser entendido quando levamos em consideração a distribuição aleatória dos corpos de prova em ambiente de deterioração, assim como a aleatoriedade na retirada dos mesmos nos diferentes momentos de ensaios. Além do que o teste de dureza Rockwell é um ensaio alta sensibilidade.

O teste de dureza como apresentado no gráfico, confirma a relação entre a mesma e o que foi observado nas avaliações químicas e de perda de massa. Ou seja, assim como houve a redução da massa dos corpos de prova causados pelos fungos apodrecedores e cupins, que atacam diretamente a holocelulose, os resultados de dureza Rockwell exibiram tendência

semelhante. Afirmando desse modo que, com a alteração da estrutura da madeira, esta torna-se menos resistente ao teste mecânico de dureza.

Ao estabelecer um comparativo entre a dureza Rockwell e a perda de massa, Stangerlin (2013) verificou que a primeira foi mais sensível como indicadora da deterioração da madeira em relação à última. Isso de certa forma explica a total perda de dureza da madeira de amescla ainda no terceiro período de avaliação, enquanto sua massa ainda apresentava pouca redução, se comparada com os períodos seguintes.

A análise estatística para a predição da dureza Rockwell em função do tempo resultou em números satisfatórios em nove das dez estimativas, exibindo significância a nível de 1%, como pode ser visto na Tabela 2. Apenas a madeira de itaúba apresentou uma pequena alteração na estimativa, porém ainda em um nível de confiança maior que 95%, o que demonstra correlação significativa.

Da mesma forma, o coeficiente de determinação foi satisfatório para a maior parte das espécies, especialmente as de média/baixa MEB, que exibiram valores entre 66,4% e 83,8% de ajustamento para os modelos apresentados. Com relação as madeiras de alta MEB, apenas a madeira de garapeira em ambiente de floresta mostrou resultado satisfatório para o coeficiente de determinação. Já as madeiras de garapeira e itaúba para ambientes de floresta expressaram porcentagens menores, 44,5% e 43,0% respectivamente. E a madeira de itaúba, para o ambiente de campo aberto, exibiu um valor considerado baixo para o ajustamento do modelo (16%).

4.5 Flexão Estática

Para as avaliações de flexão estática, os dois parâmetros mensurados, MOE (Módulo de Elasticidade) e MOR (Módulo de Ruptura) foram avaliados até oitavo mês de deterioração, e geraram valores que podem ser observados e relacionados às demais avaliações anteriores, dentro do mesmo período de tempo. E os dados referentes ao MOE podem ser vistos por meio da Figura 15, na qual a plotagem do gráfico permite a interpretação e a relação entre as diferentes espécies ambientes.

Com relação aos valores iniciais, percebe-se que houve pouca relação com os diferentes valores encontrados para o teste inicial de dureza Rockwell. Pois enquanto a madeira de garapeira apresentou maior valor de dureza que a espécie itaúba, sua elasticidade apresentou valor inverso quando comparadas as duas espécies. Comportamento semelhante também pode ser destacado para a espécie de cedrinho, onde a mesma, embora apresente maior dureza que

as demais espécies, seu MOE foi inferior a todas as outras, ou seja, a mesma é uma espécie que pode ser considerada pouco elástica.

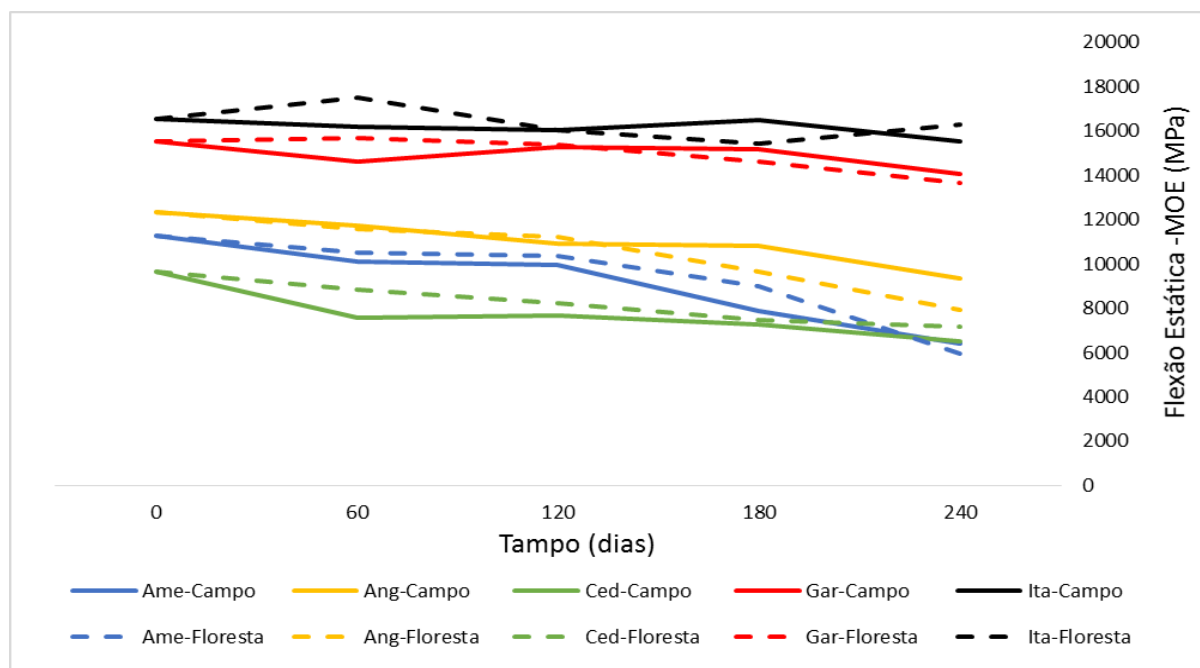


Figura 15. Gráfico representando o Módulo de Elasticidade (MOE) das respectivas espécies e ambientes

Tabela 3. Análise de regressão do Módulo de Elasticidade em função do tempo para as respectivas espécies e ambientes.

Espécie x Ambiente	Equação	R ² aj.	Syx	Fcalc.
Amescla Campo	MOE = 11436,10 – 19,309 * (t)	0,558	1462,71	33,78**
Amescla Floresta	MOE = 11728,50 – 19,757 * (t)	0,630	1328,42	46,95**
Angelim Campo	MOE = 12373,80 – 11,113 * (t)	0,454	1010,25	21,80**
Angelim Floresta	MOE = 12662,40 – 17,836 * (t)	0,625	1179,87	49,36**
Cedrinho Campo	MOE = 9542,29 – 174,219 * $\sqrt{(t)}$	0,282	1377,10	7,29*
Cedrinho Floresta	MOE = 9416,86 – 145,492 * $\sqrt{(t)}$	0,252	1266,27	6,72*
Garapeira Campo	MOE = 16064,30 – 108,461 * $\sqrt{(t)}$	0,221	1095,15	5,55*
Garapeira Floresta	MOE = 16515,60 – 11,597 * (t)	0,402	1230,37	15,12**
Itaúba Campo	MOE = 16802,10 – 7,430 * (t)	0,185	1224,27	5,30*
Itaúba Floresta	MOE = 16892,80 – 9,264 * (t)	0,197	1480,53	4,93*

Em que: MOE: módulo de elasticidade; R²aj.: coeficiente de determinação; Syx: erro padrão da estimativa; F.calc.: nível de significância das estimativas, onde * representa significância a nível de 5%, ** representa significância a nível de 1% e NS representa a Não significância.

Como pode se observar, todas as espécies avaliadas apresentaram a mesma tendência no decorrer das avaliações, com apenas variação maior para a espécie de amescla, que a partir

da terceira avaliação (180 dias), passou a exibir valores menores, chegando a ser ultrapassado pela madeira de cedrinho na última avaliação.

Com relação aos diferentes ambientes, pode se verificar que não houve uma homogeneidade de tendências, tanto para as espécies de média/baixa MEB quanto para as espécies de alta MEB.

O módulo de elasticidade mede a rigidez da madeira, característica mecânica muito importante em produtos de uso estrutural, já que tem um impacto direto na deformabilidade da estrutura (IVKOVIC et al., 2009). De acordo com Carvalho (1996), a deflexão de uma peça submetida a ensaio de flexão estática varia inversamente com o MOE, ou seja, quanto menor o módulo de elasticidade maior a deflexão. E isso pode ser observado nas espécies de baixa massa específica, que apresentaram MOE entre 6000 e 8000 Mpa, enquanto o MOE das duas espécies de alta massa específica, variaram entre 13500 e 16000 Mpa.

Observando os valores estatísticos apresentados na Tabela 3, verificamos que o nível de significância a 0,01 pôde ser atribuído apenas às espécie de amescla e angelim-saia em ambos os ambientes de deterioração e a espécie de garapeira em ambiente de floresta. As demais exibiram nível de significância apenas a 0,05, o que é considerado resultado ainda satisfatório.

Com relação ao coeficiente de determinação, como verificado na tabela, apenas as espécies de média/baixa MEB apresentaram modelos satisfatórios, assim como a espécie de garapeira em ambiente de floresta. O destaque ainda pode ser atribuído as madeiras de itaúba em ambos os ambientes de deterioração, com os baixos valores de 18,5 e 19,7% para ajustamento dos modelos, respectivamente, o que justifica seu menor nível de significância na relação entre o tempo e a perda de elasticidade. Fato esse que foi verificado no gráfico de elasticidade, onde a mesma exibiu pouca variação no decorrer do tempo, sendo seguida pela espécie de garapeira, com comportamento semelhante.

A partir do ponto em que a madeira deixa de ser elástica, ela passa a ser plástica. Ou seja, ela não apresenta mais a capacidade em retornar ao seu estado original, mesmo quando a força que a deforma é cessada (STANGERLIN et al. 2010). E para todas a espécies avaliadas, assim como modulo de elasticidade, o gráfico da Figura 16 mostra o comportamento do módulo de ruptura (MOR) no decorrer das avaliações.

Ao se observar o gráfico, verifica-se que, a madeira de cedrinho, embora ainda apresente baixo grau de resistência a ruptura, o seu valor permitiu a inversão de posição com a madeira de amescla quando relacionada ao MOE, mostrando neste momento uma tendência mais semelhante ao que ocorre na avaliação de dureza Rockwell, ainda que tenha mantido um baixo

desempenho quando comparada a sua perda de massa. Já as demais espécies mostraram um padrão semelhante ao observado no comportamento sob o módulo de elasticidade.

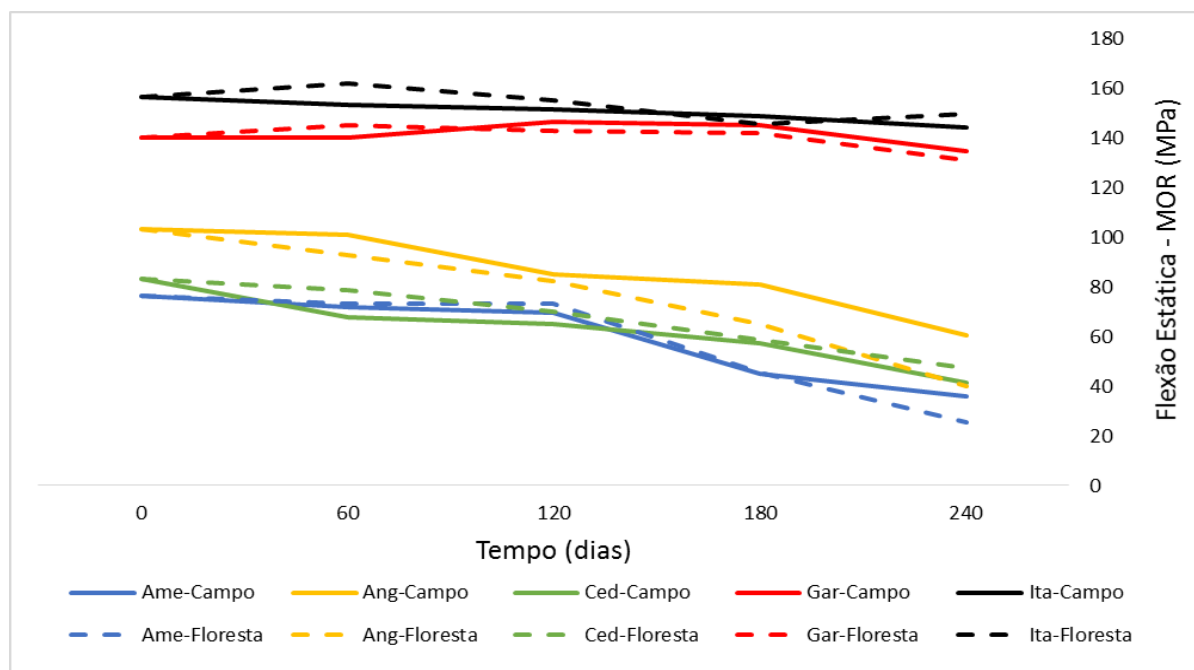


Figura 16. Gráfico representando o Módulo de Ruptura das respectivas espécies e ambientes

Tabela 4. Análise de regressão do Módulo de Ruptura em função do tempo para as respectivas espécies e ambientes.

Espécie x Ambiente	Equação	R ² aj.	Syx	Fcalc.
Amescla Campo	MOR = 80,948 – 0,175 * (t)	0,650	10,986	49,30**
Amescla Floresta	MOR = 83,854 – 0,215 * (t)	0,693	12,545	62,07**
Angelim Campo	MOR = 109,022 – 0,183 * (t)	0,649	11,290	47,18**
Angelim Floresta	MOR = 109,453 – 0,268 * (t)	0,592	18,942	43,06**
Cedrinho Campo	MOR = 81,851 – 0,160 * (t)	0,513	12,656	17,88**
Cedrinho Floresta	MOR = 83,940 – 0,147 * (t)	0,475	13,538	16,39**
Garapeira Campo	MOR = 0,007 + 2,750*10 ⁻⁶ * (t)	0,096	4,384*10 ⁻⁴	2,69 NS
Garapeira Floresta	MOR = 149,036 – 0,067 * (t)	0,195	11,209	6,10*
Itaúba Campo	MOR = 156,621 – 0,761 * √(t)	0,087	10,971	2,82*
Itaúba Floresta	MOR = 157,053 – 0,066 * (t)	0,204	10,400	5,10*

Em que: MOR: módulo de ruptura; R²aj.: coeficiente de determinação; Syx: erro padrão da estimativa; F.calc.: nível de significância das estimativas, onde * representa significância a nível de 5%, ** representa significância a nível de 1% e NS representa a Não significância.

Stangerlin et al. (2010), explica que diversos fatores podem influenciar as propriedades mecânicas, como, a forma e as dimensões das peças, o ângulo de inclinação das fibras, a massa específica, o teor de umidade, a temperatura, as propriedades anatômicas, a composição química e a deterioração do material. E quando consideramos o ângulo de inclinação das fibras,

podemos destacar o observado em laboratório através dos diferentes padrões de inclinações da ruptura, especialmente quando estas se mostravam em sentido diagonal.

Pode-se também relacionar e justificar tal relação, quando se observa a perda de massa e os valores obtidos no MOR, principalmente para as madeiras de média/baixa MEB. Pois as mesmas apresentaram maior associação entre essas propriedades, de forma que se pôde lhe atribuir maior susceptibilidade. Segundo Zabel; Morrell (1992), a perda de resistência mecânica está intimamente relacionada com a perda de massa ocasionada por fungos apodrecedores. Isso pode ser melhor compreendido quando observamos a Figura 17, onde a mesma exibe um corpo de prova rompendo na região mais afetada pela deterioração.



Figura 17. Peça sob teste de flexão estática sofrendo ruptura na região submetida ao solo

Semelhante ao que foi constatado no MOE, não houve uma tendência uniforme quando comparado o ambiente de campo aberto com o ambiente de floresta.

Enquanto que para as três espécies com menor massa específica, os valores variaram entre 20 e 60 MPa, para as duas espécies de alta massa específica esses valores ficaram entre 130 e 150 MPa, e, com menor tendência a decréscimo para essas últimas avaliações, se considerarmos a avaliação inicial.

Segundo Xavier (2008), deve-se ao fato de a densidade estar ligada principalmente à espessura da parede celular e, como há uma maior proporção de parede celular por unidade de distância no sentido perpendicular às fibras, a resistência mecânica nesse sentido sofre, por consequência, maior influência dessa variável.

A ruptura, como pôde se observar na figura 17, se dá pela ação de três forças simultâneas: compressão, tração e cisalhamento, correspondente a aplicação de uma força perpendicular as fibras. Ou seja, enquanto a face superior da peça sofre ação da força de

compressão, a face oposta (inferior) sofre a ação da força de tração e, ao mesmo tempo, a força de cisalhamento age eixo central do corpo de prova. Resultando dessa forma em rupturas de diversas formas, dependendo de fatores como, ângulo de inclinação das fibras, MEB, etc.

Quando observamos os dados da Tabela 4 que apresenta a análise de regressão para o módulo de ruptura da madeira submetida a ambientes de deterioração, constatamos que, assim como para a análise do módulo de elasticidade, as espécies de média/baixa MEB apresentaram um nível de confiança maior que 99% em ambos os ambientes. Valores esses que não puderam ser observados para as espécies de alta massa específica, as quais mostraram nível de confiança igual a 95%.

Para a madeira de garapeira em ambiente de campo aberto, não foi possível obter uma correlação entre as variáveis analisadas, uma vez que o resultando obtido foi insignificativo a nível de 5%, o que condiz com o apresentado no gráfico, onde a mesma exibiu uma curva ascendente até a quarta avaliação (120 dias).

Com relação ao coeficiente de determinação, tanto a espécie supracitada, quanto a espécie de itaúba em ambiente de campo aberto, exibiram nível muito baixo para ajustamento dos modelos (9,6% e 8,7% respectivamente).

5 CONCLUSÃO

Por meio desse trabalho foi possível concluir que a durabilidade natural das espécies de menor MEB como a amescla, o angelim-saia e o cedrinho apresentaram menor resistência quando submetidas em ambiente propício à ataques de organismos xilófagos. Enquanto que as espécies que mostraram maior durabilidade foram aquelas de maior MEB e, com maior teor de extrativos, como a garapeira e a itaúba.

Pôde-se verificar também, que, o ensaio de dureza Rockwell, apresentou alta sensibilidade, especialmente para as madeiras de média/baixa MEB ainda nos estágios iniciais de deterioração. E quando relacionado os dois testes mecânicos, pôde se observar que os resultados gerados nas avaliações de dureza Rockwell apresentaram melhores modelos de predição quando comparado aos valores obtidos nas avaliações de flexão estática. Ao mesmo tempo que estes ensaios apresentaram resultados significativos, pois exibiram valores condizentes com as alterações químicas e de perda de massa, tanto nos diferentes estagio quanto na avaliação final.

Quanto a variação de resistência nos diferentes ambientes (campo aberto e floresta), observa-se que a diferença entre os mesmos ficou significativamente baixa, de modo que por meio desse trabalho não pode se estabelecer um resultado que diferenciasse os mesmo até o presente momento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, H. S. et al. **Métodos de Análise em Química da Madeira**. Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas - UFRRJ, 2006.

AGUIAR, C. M.; **Hidrólise Enzimática de Resíduos Lignocelulósicos Utilizando Celulases Produzidas pelo Fungo *Aspergillus niger***. 2010. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste Centro de Engenharias e Ciências Exatas. 2010.

ALMEIDA, N. A. et al. Biodeterioração de produtos à base da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*). **Cerne**, v. 18, n. 1, Lavras, 2012.

ALVES, F. M., **Estudo taxonômico e filogenético de *Mezilaurus itaúba* Taub. (Lauraceae) lato sensu e Restabelecimento de *Clinostemon Kuhl. & A. Samp.*** 2011. 234f. Tese (Doutorado em Ciências Botânicas) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo - SP, Departamento de Botânica.

ALVES, M. V. S. et al. Resistência natural de seis espécies de madeiras da região amazônica a fungos apodrecedores, em ensaio de laboratório. **Ciência Florestal**, v.16, n.1, p.17-26, 2006

AMORIM, M. R. S., **Agrupamento de Espécies Madeireiras Amazônicas Para a Produção de Painéis de Lâminas Paralelas (Lvl)**; Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Florestal, 2013.

APARÍCIO, W. C. S., **Estrutura da Vegetação em diferentes ambientes na Resex do Rio Cajari: interações solo-floresta e relação com a produção de castanha**. 2011. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____**NBR 13999**: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____**NBR 14660**: Madeira – Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____**NBR 14853**: Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____**NBR 7989**: Pastas celulósicas e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____**NBR 7990**: Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 4p.

AULER, N. M. F.; BATTISTIN, A., Análise do Cariótipo de *Apuleia Leiocarpa* (Vog.) Macbr. Universidade Federal de Santa Maria; **Cienc. Rural**, vol.29 no.1, 1999.

BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* Tratada com conservantes: Avaliação em Campo de Apodrecimento.** Dissertação. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queroz”. Piracicaba – São Paulo, 2002.

BENINI, K. C. C. 2011, **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: hips/fibra da casca de coco verde e bagaço de cana de açúcar.** 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 1 densidade e teor de lignina na madeira de eucalipto.** IPEF, Piracicaba (14):9-20, 1977.

CARDOSO G. V. et al. **Adequação de metodologia amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação do teor de cinzas.** In: Congresso Anual de Celulose e Papel, São Paulo, Brasil, 34. 2001.

CARNEIRO, J. S. et al. Decay susceptibility of amazona wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Holzforchung**, Berlin, v.63, n.6, p.767-772, 2009.

CARREIRA, R, M; DIAS, A. A. Avaliação da rigidez à flexão de toras de madeira por meio de vibração transversal. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 11, n. 53, p. 75-79, 2009.

CARVALHO, A. **Madeiras Portuguesas. Estrutura anatômica, Propriedades e Utilizações.** Vol. I. Direcção-Geral das Florestas. Lisboa, 1996.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Embrapa Informações Tecnológicas, Brasília, DF. v.4 p.65-69, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras. Recomendações silviculturais, potencialidades e uso da Madeira.** EMBRAPA, 1994.

CAVALCANTE, M. S. Métodos para aumentar a durabilidade da madeira. Boletim da Associação Brasileira de Preservação de Madeiras – ABPM: São Paulo, n. 36, p. 159-170, 1985.

CHEN, P. Y. S.; WORKMAN, C. J. Effect of steaming on some physical and chemical properties of black walnut heartwood. **Wood and Fiber Science**, Hanover, v. 1, n. 4, p. 218-227, 1980.

COLENCI, R. A. **Desenvolvimento de equipamento para avaliação em campo da natureza de madeiras para dormentes ferroviários.** 2006. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

COSTA, A. F. da. **Processos práticos de tratamento de madeiras para o meio rural.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2003. 26p.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood: decay, pests and protection.** Londres: Chapman e Hall, 1993. 546p.

- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Walter de Gruyter, 1984. 613p.
- FRANÇA R. F. et al. **Anatomia da Madeira e do Carvão de *Goupia glabra* Aubl. e *Erismia uncinatum* Warm**. Depto de Engenharia e Tecnologia Florestal – UFPR, 2011.
- FERREIRA, A. A. S. et al. Análise dos compostos acidentais na madeira de *Tectona grandis* L. F. **Biodiversidade** - v.14, n.1, 2015 - pág. 106
- GONÇALVES, R.; BARTHOLOMEU, A. **Avaliação do desempenho de ensaio não destrutivo em vigas de madeira de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii***. Departamento de Engenharia Agrícola - UFCG / Cnpq. Rev. Brasileira de engenharia agrícola e ambiental. v.4, n.2 Campina Grande, 2000.
- GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação. Cadernos Técnicos. Programa monumental**. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. 2006. 246p.
- GUERRA, S. C. S. **Influência do teor de extrativos na resistência natural de cinco madeiras a cupins xilófagos**. Universidade Federal do Espírito Santo, Jeronimo Monteiro, 2010.
- IBAMA. **Madeiras Brasileiras**. Disponível em: <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/caracteristicas.php?ID=190&caracteristica=136>. Acesso em: 17/06/2014
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP., **Informações sobre madeiras**, 1989.
- IVKOVIC, M. et al. (2009) – Prediction of wood stiffness, strength, and shrinkage in juvenile wood of radiata pine. **Wood Sci Technol** 43 pp. 237-257
- JESUS, M. A. et al. Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônicas em contato com o solo em ambiente florestal. **Scientia Forestalis**, v. 54, p. 81-92, 1998.
- JOSELEAU J.P. In: **Polymeres vegetaus**, Ed. B. Monties, Gauthier Viclars, Paris, 1980, P. 87-121.
- KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3 ed. Curitiba: FUPEF, 2005, 86P.
- KOLLMANN, F. F. P. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera, 1959.
- KOLLMANN, F. E. P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer Verlag, 1968. v.1. 592p.
- LEÃO, M. M. **Influência do termotratamento na composição química da madeira de amburana (*Myroxylon balsamum*) e carvalho (*Quercus sp.*) e o impacto no aroma de uma solução modelo de cachaça**. 2006. Dissertação. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo- SP, 2006.

LEPAGE, E. S. **Química da madeira**. In: LEPAGE, E. S. **Manual de Preservação de Madeira**. São Paulo: IPT, v.1, p.205-216. 1986.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultura de espécies arbóreas do Brasil**. 3.ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000.

LOUREIRO, A. A. et al. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: MCT/ INPA-CPPF, 2000.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Angiospermas - Leguminosas**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1997, 200 p.

MARCONDES, E. **Resistencia natural da madeira de duas espécies amazônicas em ensaios de campo**. 2011. 40f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2011.

MARCONDES, E. et al. Resistência natural da madeira de duas espécies amazônicas em ensaios de deterioração de campo. **Scientia Plena**, Vol. 9, n. 6, 2013.

MASSON, G. et al. Ellagitannins content of oak wood as a function of species and sampling position in the tree. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis v.46, n.2, p.262-268, 1995.

MATTOS, N. F.; GUARANHA, J. **Contribuição ao estudo da grápia (*Apuleia leiocarpa*)**. Porto Alegre. Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis “AP”, 1983. 25p

MEDEIROS NETO, P.N. **Correlação entre teores de extrativos e a resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos**. 2008. 23f. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Patos, 2008.

MELO, J. E. et al. **Espécies de madeiras substitutas do mogno**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2002. 34p.

MELO, R. R. et al. Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, v.20, n.2, p.357-365, 2010.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. da S. **A deterioração da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF, 1988. 57p.

MONTE, J. R. 2009. **Sacarificação da polpa celulósica do bagaço de cana de açúcar com celulases e xilanases de *Thermoascus auranticus***. 138 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Biotecnologia Industrial), Departamento de Biotecnologia, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo.

MOREIRA, W. S. **Relações entre as relações físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. Viçosa, 107p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, MG, 1999.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2010. 176p.

MUÑIZ, G. I. B. **Anatomia da madeira de espécies arbóreas da floresta estacional semidecidual de Misiones**, Curitiba-PR. 152p. Tese (Concurso de professor titular, matéria específica de anatomia e tecnologia da madeira) - Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Universidade Federal do Paraná, 1993.

NICHOLAS, D. D. **Wood preservation and its prevention by preservatives treatments**. Suni: Syracuse University Press, 1985. v.1, 380p.

NICOLOSO, F. T. et al. Recipientes e Substratos na Produção de Mudanças de *Maytenus Illicifolia* e *Apuleia Leiocarpa*. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, 2000.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. 2003. 122 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S. et al. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

OLIVEIRA, J. T. et al. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Rev. Árvore**, vol. 29 no.6 Viçosa Nov./Dec. 2005.

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**. Recife, v. 2, n. 1, p. 57-62, Jan./Mar. 2007.

PAES, J. B.; VITAL, B. R. Resistência natural da madeira de cinco espécies de eucalipto a cupins subterrâneos em testes de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 1-6, 2000.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4. ed. New York: Mc Graw Hill, 1980. 722p.

PEREIRA, H. et al. (2003): **Wood chemistry in relation to quality**. In: **Wood quality and its biological basis**. Ed. Barnett J.R.; Jeronimidis G.,CRC Press Oxford: 53-86.

RIBEIRO, M. A. **Influência dos fatores ambientais na durabilidade natural da madeira de *Cariniana micranta* Ducke. em ensaios de Campo**. 2011. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2011.

RIZZINI, C. T. 1978. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. Editora Edgard Blücher LDTA.

ROSS, R. J. et al. **Nondestructive evaluation of wood**. **Forest Products Journal**, v. 48, n. 1, p.14-19, 1998.

ROSSETO, J. et al. Germinação de sementes de *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp. (fabaceae) em diferentes temperaturas. Universidade Federal de Viçosa. **Rev. Árvore** vol.33 no.1, 2009.

RYVARDEN, L. Where are all the polypores gone? In: Congresso Brasileiro de Micologia, 5. 2007, Recife. **Anais...** Recife: SBM, 2007. P. 236-241.

SANTANA, J. A. da S. et al. dos S. Florística e fitossociologia em área de vegetação secundária na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, PA, n.41 p.105-120, jan./jun. 2004.

SANTANA, M. A. E.; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v.62, n.5, p.469-477, 2007.

SANTINO, M. B. da C. et al. **As Atividades das Enzimas na Decomposição da Matéria Orgânica Particulada em Ambientes Aquáticos Continentais**. Oecol. Bras., 12 (1): 30-41, 2008

SARTO, C.; SANSIGOLO, C. A. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 227-235, 2010.

SEGUNDINHO, P. G. A. et al. **Contribuições ao Estudo da Grápia**. Porto Alegre: Boletim do Instituto de Pesquisa de Recursos Naturais Renováveis AP, 1983.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB), **Madeiras Brasileiras**. Disponível em: <http://sistemas.florestal.gov.br/>. Acesso em: 22/05/2015.

SILVA, J. de C. et al. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). Universidade Federal de Viçosa - **Rev. Árvore**, vol.28 no.4 Viçosa July/Aug. 2004.

SILVA, M. E. C. M. **Apontamentos de Tecnologia dos Produtos Florestais - Composição Química da Madeira**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro - UTAD, Vila Real – Portugal, 2010.

SILVA, V. L. et al. **Caracterização de Ligninas de *Eucalyptus* Spp. pela Técnica de Pirólise Associada à Cromatografia Gasosa e à Espectrometria de Massas**. Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2006.

SOUZA, C. R. et al. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.36 n.77, p.7-14, mar. 2008.

SOUZA, M. H. et al. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília: IBAMA/LPF, 1997.

STANGERLIN, D. M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores**. 2012. 259f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Curso de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, DF

STANGERLIN, D. M. et al. Resistência natural da madeira de três espécies amazônicas submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. **Ciência da Madeira**. (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 04, n. 01, p. 15-32, maio de 2013.

STANGERLIN, D. M. et al. Dureza Rockwell da madeira de três espécies amazônicas submetidas a ensaios de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**. vol.43 no.4 Santa Maria abr. 2013.

STANGERLIN, D. M. et al. de. Propriedades de Flexão Estática da madeira de *Carya Illinoensis* em duas condições de umidade. **Ciência da Madeira, Pelotas**, v. 01, n. 02, p. 70-79, novembro de 2010.

THÖRNQVIST T. Drying and storage of forest residues for energy production. **Biomass** 1985; 7: 125-134.

TRAMONTINA, J. et al. **Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade da espécie *ateleia glazioviana* baill.** Universidade Federal de Santa Maria/CESNORS, Frederico Westphalen/RS. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 2013.

TREVISAN, H. **Degradação natural de toras e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais.** 2006. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

TRUGILHO, P. F. et al. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 55-62, março 2007.

TRUGILHO, P. F. et al. Influência de idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, v. 2n. 1. 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization.** New York: Van Nostrand Reinold, 1991. 494 p.

UBIALI, J. A. et al. Comparação de métodos e processos de amostragem para estudos fitossociológicos em uma Floresta Ecotonal na região norte mato-grossense. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.3, p.511-523, jul./set. 2009.

VIVAS N. et al. Étude structurale de lignines extraites de coeur bois de chêne. **The Journal of Chemical Physics**, Lancaster, v.95, p.430-436, 1998.

WALKER, J. C. F. **Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure.** In: **Primary wood processing: principles and practice.** Dordrecht: Springer, 2006. p.23-67.

WARDROP, A. B. **Occurrence and Formation in Plants.** In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins, occurrence, formation, structure and reactions.** New York: John Wiley, 1971. p. 19-32.

XAVIER, R. B. L. **Avaliação da dureza Janka, densidade e estabilidade de quatro espécies de *Eucalyptus* implantadas no estado do Rio de Janeiro.** 2008. 21f. Monografia, (Curso de Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ.

YILGOR, N. et al. Physical, mechanical, and. chemical properties of beech wood. **Forest Product Journal**, Madison, v. 51, n. 11/12, p. 89-93, 2001.

ZABEL, R. A.; MORREL, J. J. (1992). **Wood Microbiology, Decay and Its Prevention**. Academic Press, Inc., San Diego, 1992.