

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**UTILIZAÇÃO DO TANINO COMO PRESERVANTE
NATURAL DA MADEIRA DE *Acacia mearnsii* E SUA
TOXIDEZ AO FUNGO APODRECEDOR *Pycnoporus
sanguineus***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Amanda Grassmann da Silveira

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**UTILIZAÇÃO DO TANINO COMO PRESERVANTE NATURAL
DA MADEIRA DE *Acacia mearnsii* E SUA TOXIDEZ AO
FUNGO APODRECEDOR *Pycnoporus sanguineus***

Amanda Grassmann da Silveira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Elio José Santini

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silveira, Amanda Grassmann da
Utilização do tanino como preservante natural da
madeira de *Acacia mearnsii* e sua toxidez ao fungo
apodrecedor *Pycnoporus sanguineus* / Amanda Grassmann da
Silveira.-2015.
92 p.; 30cm

Orientador: Elio José Santini
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2015

1. Inibição 2. Fungo 3. Preservativos alternativos 4.
Apodrecimento I. Santini, Elio José II. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Amanda Grassmann da Silveira. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: amandagrassmann@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

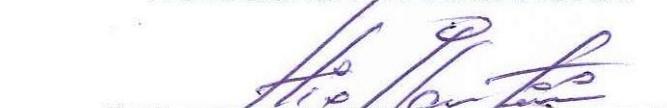
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

UTILIZAÇÃO DO TANINO COMO PRESERVANTE NATURAL DA
MADEIRA DE *Acacia mearnsii* E SUA TOXIDEZ AO FUNGO
APODRECEDOR *Pycnoporus sanguineus*

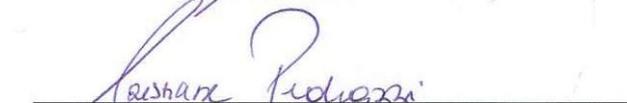
elaborada por
Amanda Grassmann da Silveira

como requisito parcial para obtenção de grau de
Mestre em Engenharia Florestal

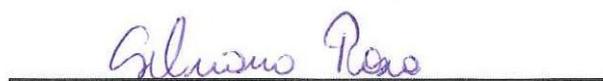
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Elio José Santini
(Presidente/Orientador)



Prof. Dra. Cristiane Pedrazzi (UFSM)



Prof. Dra. Silvana Rosso (UNIPAMPA)

Santa Maria, 20 de fevereiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Walmar Flores da Silveira e Anamaria Gomes Grassmann, minha avó Maria Nilza Gomes Grassmann, aos meus irmãos e tios, por todo o amor e carinho e por serem à base de apoio que sempre me fortaleceu. Por sempre terem confiado e acreditado que eu estava no caminho certo. Hoje, chego nesse novo momento graças a eles, que me ensinaram a acreditar nos meus sonhos, essa vitória dedico a vocês, família.

Ao meu namorado Luciano Campos Cancian, por ser esse maravilhoso presente de Deus. Agradeço especialmente pelo seu bom humor, pela sua calma e disposição para me ajudar, sem isso eu não chegaria aqui. A sua presença me faz cada dia mais forte!

Aos sogros, Nelso Piovesan Cancian pela paciência na confecção dos corpos de prova e Lucia Campos Cancian pela acolhida sempre acompanhada de muito carinho, e todo restante da família, que já considero minha também!

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade de realizar o mestrado na Área de Tecnologia de Produtos Florestais.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Ao professor Elio José Santini, por sua valiosa orientação, pela compreensão e pelas sugestões.

À empresa SETA por disponibilização do material utilizado neste trabalho, em especial ao Engenheiro Paulo César Chitolina pela sua prestatividade e ao Renato Konrath pelas contribuições.

Aos Professores Stela Maris Kulczynski, Arci Dirceu Wastowski, Darci Alberto Gatto e Rômulo Trevisan, que me receberam em seus laboratórios e me auxiliaram nas etapas desta dissertação, sendo imprescindíveis para a realização de tal.

À ex-secretária PPGEF Rone Maria Rachele de David, por fazer a diferença.

Aos colegas de laboratório, em especial Bibiana Argenta, Talita Baldin e Roger Ravasi, pelo auxílio para resolver problemas que a distância não me permitia.

A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

UTILIZAÇÃO DO TANINO COMO PRESERVANTE NATURAL DA MADEIRA DE *Acacia mearnsii* E SUA TOXIDEZ AO FUNGO APODRECEDOR *Pycnoporus sanguineus*

AUTORA: AMANDA GRASSMANN DA SILVEIRA
ORIENTADOR: ELIO JOSÉ SANTINI
Santa Maria, 20 de fevereiro de 2014.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a utilização de tanino como preservante natural da *Acacia mearnsii* assim como sua toxidez ao fungo apodrecedor *Pycnoporus sanguineus*. Para tanto, foi dividido em duas etapas principais: A primeira consistiu em encontrar a melhor forma de trabalhar com o extrato tânico, desenvolvendo metodologias e concentrações que permitissem melhor verificar a toxidez do produto. Estas foram empregadas através de ensaios em meio de cultura, também conhecidos por ensaios fungitóxicos, avaliadas através do índice de crescimento micelial. Na segunda etapa, através do ensaio acelerado, corpos de prova de madeira foram tratados com diferentes doses de tanino, elaboradas em função dos resultados encontrados na etapa anterior. A biodeterioração do material exposto foi avaliada em função da perda de massa, análises químicas e teste de dureza. Os resultados encontrados indicaram que o extrativo tanino é tóxico ao desenvolvimento do fungo, mostrando que quanto mais elevada à concentração de tanino no meio, maior apresentava-se o seu poder inibitório no crescimento micelial. Para avaliação do efeito preservativo na madeira em relação à perda de massa foram utilizadas duas concentrações de tanino, 5 e 10%, e seu desempenho comparados com as testemunhas: superior, tratada com mistura CCB e a inferior sem tratamento com resistência natural. A resistência natural avaliada através da perda de massa se mostrou moderadamente resistente, enquanto que quando tratada com ambas as concentrações do extrato e mistura CCB, passou para muito resistente. Na avaliação dos componentes químicos, os componentes mais afetados pela decomposição foram a lignina e a celulose, sendo comprovada por meio dos resultados que o tratamento realizado com o tanino à 10% preservou da mesma forma que o produto industrial. A dureza Rockwell apresentou resultados que comprovam ainda mais a eficiência do tanino como preservativo da madeira, mostrando o desempenho semelhante do tanino quando comparado à mistura química.

Palavras-chave: Inibição. Fungo. Preservativos alternativos. Apodrecimento.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Forest Engineering
Santa Maria Federal University

USE OF TANNIN AS NATURAL PRESERVATIVE OF *Acacia mearnsii* WOOD AND THEIR TOXICITY TO THE WOOD-DECAY FUNGUS *Pycnoporus sanguineus*

AUTHOR: AMANDA GRASSMANN DA SILVEIRA
ADVISOR: ELIO JOSÉ SANTINI
SANTA MARIA, FEBRUARY 20TH, 2015.

The present study aimed to evaluate the use of tannin as natural preservative of *Acacia mearnsii* and its toxicity to the wood-decay fungus *Pycnoporus sanguineus*. It was divided in two main stages: the first was to find the best way to work with the tannic extract, developing methodologies and concentrations to allow better check of the product toxicity. These were employed through experiments in culture environment, also known as fungitoxic tests, assessed through the index of mycelial growth. In the second step, through the accelerated test, wood proof bodies were treated with different doses of tannin, drawn up in accordance with the results found in the previous step. The biodeterioration of the exposed material was evaluated based on the mass loss, chemical analysis and hardness testing. The results indicated that the extractive tannin is toxic to the fungi development, showing that the higher the concentration of tannin in the environment, the greater was their inhibitory power in mycelial growth. To evaluate the effect on wood preservative in relation to mass loss were used two concentrations of tannin, 5 and 10%, and its performance compared with the witnesses: upper, treated with mixture and lower BAC without treatment with natural resistance. The natural resistance evaluated by mass loss proved to be moderately resistant, whereas when treated with both concentrations of the extract and mixture CCB passed to very resistant. On the evaluation of chemical components, the components most affected by decay were the lignin and cellulose, being proven through the results that the treatment performed with the tannin to 10% preserved in the same way that the industrial product. Rockwell hardness presented results that prove the efficiency of tannins as wood preservative, showing the similar performance of tannin when compared to the chemical mixture.

Keywords: Inhibition. Fungi. Alternative preservatives. Rotting.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1 - Direções ortogonais da madeira.....	18
Figura 2 - Representação da estrutura macroscópica do caule de uma árvore.	19
Figura 3 - Representação esquemática de uma madeira de conífera (A); de folhosa (B); micrografia da seção transversal do tronco de uma madeira de conífera (C) de folhosa (D). Barras de escala com comprimento de 300 µm.....	21
Figura 4 - Representação da celulose.....	23
Figura 5 - Representação esquemática da hemicelulose.	24
Figura 6 - Representação esquemática da lignina guaiacil-siringil.....	25
Figura 7 - Distribuição geográfica da espécie <i>Acacia mearnsii</i>	28

CAPÍTULO I

Figura 1 - Esterilizando o tanino junto ao meio (A) realizando filtragem a vácuo (B) adição de tanino após esterilização do BDA (C).....	52
Figura 2 - Adição do meio contendo tanino (A) transferência do disco da colônia mãe (B) placas vedadas prontas para encubação na BOD(C)	53
Figura 3 - Índice de crescimento micelial (ICM) de <i>Pycnoporus sanguineus</i> submetido a diferentes concentrações de extrato tânico. Utilizando tanino esterilizado (A), filtrado (B) e não esterilizado (C).....	57
Figura 4 - Avaliação visual do crescimento micelial: esterilizado (A), filtrado (B) e não esterilizado (C)	58
Figura 5 - Placa testemunha (A) contendo concentração de 3% (B) 4% (C) e 5% (D).....	60
Figura 6 - Repetições do tratamento 5%	61

CAPÍTULO II

Figura 1 - Amostragem da peça através de discos cortados da tora	69
Figura 2 - Metodologia para obtenção dos corpos de prova utilizados no estudo. T0 = sem tratamento; T1 = tratamento com tanino 5%; T2 = tratamento tanino 10%; T3 = tratamento mistura CCB	69
Figura 3 - Preparo e seleção dos corpos de prova (A) disposição do material na autoclave (B) adição do produto: tanino (C) mistura CCB (D) período de pressão (E) corpos de prova após tratamento	70
Figura 4 - Preparação do solo (A) vidros esterilizados juntamente com a placa colonizadora (B) confecção (C) e transferência do disco micelial (D)	71
Figura 5 - Material pronto para o ensaio (A) placa colonizadora completa (B) transferência corpos de prova (C) vidros embalados para armazenamento (D)	72
Figura 6 - Extração carboidratos através do Soxhlet (A) evaporação dos solventes (B)	74
Figura 7 - Lignina retida no papel filtro	75
Figura 8 - Celulose retida no papel filtro	76
Figura 9 - Holocelulose retida no papel filtro	78
Figura 10 - Equipamento medidor de dureza Rockwell	79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Análise de variação (ANOVA) do teste fungitóxico avaliando métodos e doses	55
Tabela 2 - Valores médios dos métodos avaliados.	56
Tabela 3 - Análise de variação (ANOVA) para as doses 3, 4 e 5%.	59
Tabela 4 - Comparação das médias dos tratamentos 0, 3, 4 e 5%.	60

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos	72
Tabela 2 - Análise de variação (ANOVA) para perda de massa	80
Tabela 3 - Médias de perda de massa	80
Tabela 4 - Contrastes das médias dos constituintes químicos	82
Tabela 5 - Análise da variância (ANOVA) para o teste de Dureza de Rockwell.....	85
Tabela 6 - Contrastes ortogonais para o teste de Dureza de Rockwell	86

LISTA DE EQUAÇÕES

CAPÍTULO I

Equação 1 - $ICM = C1/N1 + C2/N2 + C3/N3 + Cn/Nn$ 54

CAPÍTULO II

Equação 1 - $TL = \{(Pac - Pc) / Pas\} * 100$ 75

Equação 2 - $TC = \{(Pac - Pc) / Pas\} * 100$ 76

Equação 3 - $Z = (M1 / M2) * 100$ 78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	OBJETIVO GERAL	16
2.1	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Estrutura da madeira	17
3.1.1	Estrutura Macroscópica.....	17
3.1.2	Estrutura Microscópica.....	19
3.2	Composição química da madeira	21
3.2.1	Holocelulose.....	22
3.2.2	Celulose.....	23
3.2.3	Hemicelulose.....	24
3.2.4	Lignina.....	25
3.2.5	Substâncias de baixa massa molecular.....	26
3.3	Descritivo da espécie	26
3.3.1	Gênero.....	26
3.3.2	<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.....	27
3.4	Deterioração de madeiras	29
3.5	Agentes biológicos	30
3.5.1	Podridão Branca.....	31
3.6	Preservação da madeira	32
3.6.1	Preservativos industriais para madeira.....	33
3.6.2	Produtos alternativos de preservação.....	34
3.6.3	Extrato tânico.....	35
3.7	Ensaio de laboratório	36
3.8	Ensaio mecânicos	37

4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
5	CAPÍTULO I	48
5.1	Introdução	49
5.2	Material e métodos	51
5.2.1	Realização e características do experimento.....	51
5.2.2	Preparo da Solução	51
5.2.3	Condução do ensaio em meio de cultura.....	53
5.2.4	Análise estatística.....	54
5.3	Resultados e discussões	55
5.4	Conclusões	61
5.5	Referências Bibliográficas	62
6	CAPÍTULO II	64
6.1	Introdução	65
6.2	Material e métodos	68
6.2.1	Ensaio acelerado.....	68
6.2.2	Análise dos componentes químicos da madeira	73
6.2.3	Dureza Rockwell.....	79
6.3	Resultados e discussões	80
6.3.1	Perda de massa	80
6.3.2	Composição química	82
6.3.3	Dureza Rockwell.....	85
6.4	Conclusões	87
6.5	Referências bibliográficas	87
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92

1 INTRODUÇÃO GERAL

A madeira é um material histórico, serviu de auxílio no processo da civilização humana. Utilizada para diversos fins, como moradia, defesa, utensílios domésticos, produção de energia, transporte, entre outros. O Brasil com sua diversidade e riqueza de espécies logo se destacou na produção madeireira, após décadas de exploração constante, sem reposição, e o que até então era abundante, tornou-se mais escasso.

Como solução paliativa, as autoridades criaram medidas legais restritivas, objetivando a maior proteção do ambiente natural, fauna e flora, dificultando o acesso a madeiras de elevada qualidade. A ideia inicial para a manutenção do abastecimento é a utilização de espécies madeireiras oriundas de reflorestamento. Como os gêneros de *Eucalyptus*, *Pinus* e *Acacia*, porém estas espécies apresentam moderada ou nenhuma resistência ao ataque dos organismos xilófagos.

Para a utilização das espécies de baixa durabilidade natural, foram desenvolvidas técnicas e metodologias que aumentassem a sua vida útil, estas que já se encontram amplamente difundidas, sendo mais eficazes os métodos industriais de proteção de madeiras com produtos químicos, preservantes de natureza oleosa, oleossolúvel e hidrossolúvel.

Os preservantes mais utilizados em contato com o solo são o creosoto (oleoso), o pentaclorofenol (oleossolúvel), o arsenato de cobre cromatado conhecido por CCA e o borato de cobre cromatado, o popular CCB (ambos hidrossolúveis). Os produtos industriais mais reconhecidos no mercado, citados, possuem elevado grau de toxicidade, tornando se potenciais riscos para o ambiente e para a saúde humana. Por isso é necessário destacar que a utilização desses preservantes tem sofrido uma série de barreiras e impedimentos, especialmente em produtos expostos ao contato direto com o homem.

O emprego prolongado de fungicidas e inseticidas no controle de organismos, também tem como consequência o aparecimento de espécies mais resistentes e que geram alterações na composição dos solos, devido à toxicidade residual destes compostos. Desta forma, grandes esforços têm sido direcionados na busca de novos agentes antimicrobianos derivados de extratos brutos e de óleos essenciais de

plantas medicinais que possam ser aproveitados como fungicidas naturais (AMARAL; BARA, 2005).

O poder toxicológico de compostos químicos das plantas é uma das questões científicas que mais precisam ser esclarecidas considerando o uso de sua bioatividade em detrimento dos tratamentos clássicos. De acordo com Schwan-Estrada e Stangarlin (2005) a riqueza química das plantas medicinais, que agregam princípios ativos fungitóxicos, tornaram-nas potenciais fontes de moléculas capazes de serem empregadas na defesa de plantas contra fitopatógenos, tanto pela atividade fungitóxica quanto pela indução de resistência.

Há uma crescente necessidade de desenvolver produtos eficazes e de baixa toxidez para o tratamento de madeiras. Entende-se assim a importância do direcionamento das pesquisas no objetivo de desenvolver produtos ambientalmente corretos e com viabilidade econômica para utilização em larga escala.

Um produto alternativo é o tanino, um composto fenólico com propriedades germicidas, e por isso acredita-se que as madeiras que possuem este composto têm mais resistência ao apodrecimento (FARMER, 1967). Já existem estudos sobre o uso deste extrativo como preservativo, mas nada ainda conclusivo. Caso se comprove a eficiência deste, por ser um subproduto biológico não tóxico, norteará o caminho para uma alternativa ecologicamente correta e ainda viável para os pequenos produtores de madeira.

A presente pesquisa foi dividida em duas etapas. A primeira consistiu em encontrar a concentração de tanino mais adequada para tratar os corpos de prova de madeira, e para isso realizou-se avaliações fungitóxicas do extrato tânico em meio de cultura. Na segunda etapa foram tratados corpos de prova da madeira de *Acacia mearsii* utilizando as concentrações que apresentaram os melhores resultados. Com este material e as testemunhas (positiva = tratamento CCB e negativa = sem tratamento) foi realizado o ensaio de apodrecimento acelerado, onde a avaliação foi realizada com base na perda de massa do material e através da avaliação das propriedades químicas e mecânicas da madeira.

2 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo avaliar a utilização de tanino como preservante natural da *Acacia mearnsii* assim como sua toxidez ao fungo apodrecedor *Pycnoporus sanguineus*.

2.1 Objetivos específicos

Analisar a inibição do crescimento micelial fungo apodrecedor de madeira em meio de cultura contendo tanino.

Verificar o efeito preservativo do extrato tânico na biodeterioração da madeira de *Acacia mearnsii*.

Comparar o potencial preservativo do tanino com mistura CCB utilizando os parâmetros físico, químico e mecânico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Estrutura da madeira

3.1.1 Estrutura Macroscópica

O lenho de uma árvore tem uma variedade de funções como sustentação, condução de seiva bruta ascendente e estocagem de reserva (CALIL JÚNIOR et al., 2003). Para compreender essa estrutura é necessário observar o material em três planos diferentes, transversal, corte realizado perpendicularmente ao eixo do caule, radial, perpendicular a medula e tangencial, paralelo ao eixo do caule (OLIVEIRA, 2009). Estes três planos estão apresentados na Figura 1, são os principais responsáveis pelo comportamento anisotrópico da madeira e afetam acentuadamente nas características físicas do material, tal como higroscopicidade, propriedades mecânicas, tal como resistência, e em suas aplicações tecnológicas (PANSIN; De ZEEUW, 1980).

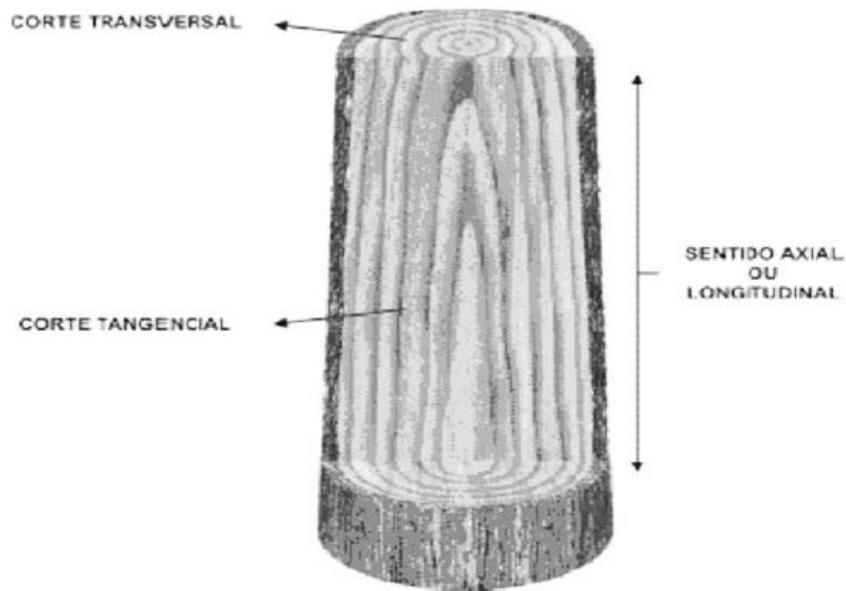


Figura 1 - Direções ortogonais da madeira.
Fonte: Klock et al. (2005).

Na Figura 2 está representada a observação macroscópica de um caule, permitindo verificar os vários tecidos da sua composição. O xilema constitui a parte principal do tronco da árvore tanto pelo volume que ocupa como pela quantidade de matéria fibrosa que contém. Este tecido está organizado em anéis de crescimento concêntricos e é formado maioritariamente por células dispostas longitudinalmente, com funções de condução, suporte e ainda reserva de nutrientes. Possui também células orientadas no sentido radial (raios). Na secção transversal do xilema é possível diferenciar duas zonas: cerne e alburno (PARHAM, 1983).

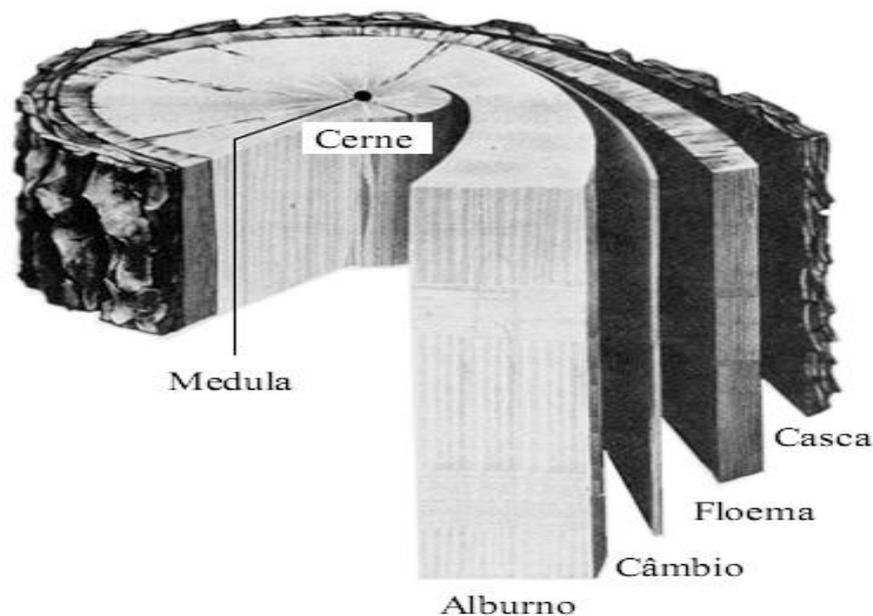


Figura 2 - Representação da estrutura macroscópica do caule de uma árvore.
Fonte: Coradin e Camargos (2001).

O cerne é formado por células que perderam as funções de condução e reserva, atuando somente no suporte da árvore, enquanto que o albarno possui atividade fisiológica. O xilema e o floema são tecidos condutores, porém o primeiro conduz água e nutrientes inorgânicos, o segundo é responsável pela condução dos produtos resultantes da fotossíntese no sentido descendente da árvore. O câmbio é um conjunto de células vivas responsáveis pela formação do xilema e do floema e, conseqüentemente, pelo crescimento radial da árvore. A medula é o tecido central da árvore estendendo-se ao longo de todo o comprimento do caule e tem como função o armazenamento. Finalmente, a casca é o elemento protetor da árvore (SJÖSTRÖM, 1981).

3.1.2 Estrutura Microscópica

A madeira é essencialmente formada por tecidos constituídos de células com paredes celulares espessas, sabendo que suas formas e tamanhos variam de

acordo com a espécie. A lamela média é um tecido responsável pela proteção, pois é uma camada que mantém as células adjacentes unidas entre si (ROWELL et al., 2005).

De um modo geral, as madeiras podem ser diferenciadas em duas categorias distintas: “moles” (softwoods) e “duras” (hardwoods). As madeiras moles, representadas pelas coníferas, pertencem ao grupo das gimnospermas, que apresenta como características distintivas a folhagem na forma de agulha e a ausência de frutos (sementes descobertas). Na segunda categoria, madeiras duras, estão às folhosas, pertencem ao grupo das angiospermas dicotiledôneas, que apresenta como características distintivas folhas largas e sementes encerradas em frutos (ROWELL et al., 2005).

Nas madeiras de coníferas, as células que servem ao transporte de água e nutrientes também atuam no suporte mecânico, possuindo uma estrutura mais simples. Por outro lado, as madeiras de folhosas apresentam células especializadas específicas para cada uma destas funções, possuindo desta forma uma estrutura mais complexa (FENGEL; WEGENER, 1989).

A Figura 3 ilustra a diferença em termos estruturais entre madeiras de coníferas e folhosas, a primeira compostas quase que totalmente por um único tipo de células longas nomeadas de traqueídeos, células transversais que compõem o raio e canais de resiníferos estão presente menor quantidade (ROWELL et al., 2005; WALKER et al., 1993). Nas madeiras de folhosas, por sua vez, é encontrada maior diversidade de padrões de organização celular. São três tipos básicos de células observadas nesta categoria: aquelas que compõem os vasos, as fibras e as células do raio, que formam o parênquima radial (ROWELL et al., 2005; DESCH, 1996).

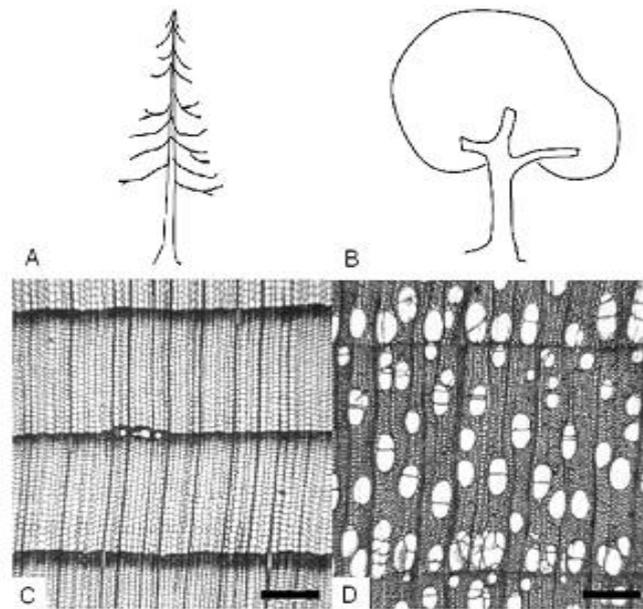


Figura 3 - Representação esquemática de uma madeira de conífera (A); de folhosa (B); micrografa da seção transversal do tronco de uma madeira de conífera (C) de folhosa (D). Barras de escala com comprimento de 300 μm .

Fonte: Rowell et al. (2005).

3.2 Composição química da madeira

Independente da espécie, da diversidade genética ou da diferença da idade do vegetal, o arranjo químico elementar da madeira, em base seca, é de aproximadamente 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio, desconsiderando os traços de nitrogênio e de outros elementos, mantém-se aproximadamente constante (MARTINS, 1980).

A organização dos elementos acima citados forma o tecido lenhoso, onde estão presentes os compostos macromoleculares: celulose, lignina e hemiceluloses numa proporção de aproximadamente 50:20:30%, e os micromoleculares: que são os extrativos formados geralmente por terpenos, óleos essenciais, resinas, fenóis, taninos, ácidos graxos e corantes (CAIXETA; PASTORE, 2007). Desta forma, este material pode ser definido resumidamente, como um biopolímero tridimensional, composto pelas macromoléculas e em quantidades menores de extrativos e materiais inorgânicos, sendo a água a substância química mais abundante numa árvore viva (ROWELL et al., 2005).

A madeira é formada a partir das reações de fotossíntese, onde a água e os sais minerais que estão no solo ascendem pelo tronco da árvore no xilema ativo e ao chegarem às folhas possibilitam a ocorrência da fotossíntese na presença da luz solar. Para o processo é utilizado o CO₂ presente na atmosfera, produzida a glucose e liberado oxigênio. A equação simplificada que ilustra este fenômeno é: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. A glucose é o monômero básico, o que origina todos os polímeros que formam a madeira; a partir disso, a glucose é transportada das folhas das árvores no sentido descendente pelas células do floema (KLOCK et al., 2005).

O lenho é um material heterogêneo, que possui uma variedade de células, responsáveis por funções específicas. Há grandes diferenças na composição química, física e na anatomia, entre espécies e também dentro da mesma espécie, as quais variam significativamente com a altura e na direção da medula até a casca. (TRUGILHO et al., 1996).

Segundo Trugilho et al. (2007), a avaliação da qualidade da madeira é fundamental para determinar o melhor aproveitamento, visando fornecer produtos apropriados às exigências do mercado consumidor. Informações referentes à composição química do material são fundamentais para definir tratamentos para o beneficiamento da matéria prima final, como a utilização de preservantes químicos, retardantes de fogo, produtos de acabamento, entre outros (CAIXETA; PASTORE, 2007).

Segundo Klock (2000), a escolha de uma determinada madeira para fins industriais ou construtivos é baseada a partir do conhecimento adequado das suas principais propriedades, pois a madeira é um elemento orgânico heterogêneo, cuja composição é variada, possibilitando a obtenção de diferentes produtos. O conhecimento das propriedades da madeira como matéria prima proporciona o aprimoramento no emprego de novas tecnologias para sua transformação e seu uso racional na geração de novos produtos.

3.2.1 Holocelulose

A maior porção de carboidratos da madeira é composta por polímeros de celulose e hemicelulose, com menor quantidade de outros açúcares. A combinação de celulose e hemicelulose é chamada de holocelulose (SANTOS, 2008).

3.2.2 Celulose

A celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais e o mais abundante composto orgânico da natureza. (ROWELL et al., 2005). Possui estrutura linear, insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos, à temperatura ambiente (PENEDO, 1980).

Sua cadeia é formada exclusivamente por unidades de β -glicose (Figura 4), compondo um polímero de elevado peso molecular (300.000 a 500.000 g/mol) ligado entre si pelos carbonos 1-4, possuindo uma estrutura organizada e parcialmente cristalina (KLOCK et al., 2005). Os mesmos autores complementam que as moléculas de celulose se agrupam em feixes, caracterizados pela forte tendência em formar pontes de hidrogênio inter e intramoleculares. Estes feixes se agregam na forma de microfibrilas que constituem as fibrilas e estas formam as fibras celulósicas.

Possui como fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$ e sua unidade de repetição é a celobiose, que é formada por dois açúcares. As madeiras de coníferas são compostas de, aproximadamente, 45-50% de celulose e as folhosas de cerca de 40-50% (BIERMANN, 1996).

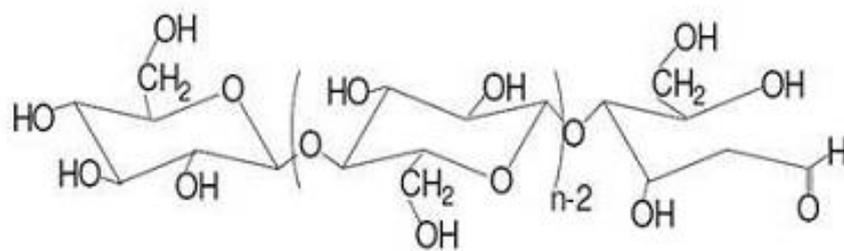


Figura 4 - Representação da celulose.

Fonte: Santos et al. (2012).

3.2.3 Hemicelulose

Também são conhecidas por polioses, possuem estreita associação com a celulose, porém com algumas características contrárias as mesmas, como cadeias mais curtas; isto significa um menor grau de polimerização, podem possuir grupos laterais e ramificações em alguns casos (ANDRADE, 2006).

As hemiceluloses são polímeros amorfos, compostos por uma cadeia central na qual se somam cadeias laterais e que atuam como matrizes para a imersão das cadeias de celulose. O agrupamento de cadeias de celulose envolvidas por moléculas de hemicelulose são chamadas de microfibrilas (BRISOLARI, 2008)

Segundo Pastore (2004), quimicamente, as hemiceluloses são a fração polimérica de polissacarídeos, composta de unidades de vários açúcares sintetizados na madeira e em outros tecidos das plantas. Na sua constituição podem aparecer, condensadas em proporções variadas, as seguintes unidades de açúcares e ácidos: xilose (Figura 5), manose, glucose, arabinose, galactose, ácido galactourônico, ácido glucourônico e ácido metilglucourônico (KLOCK et al., 2005).

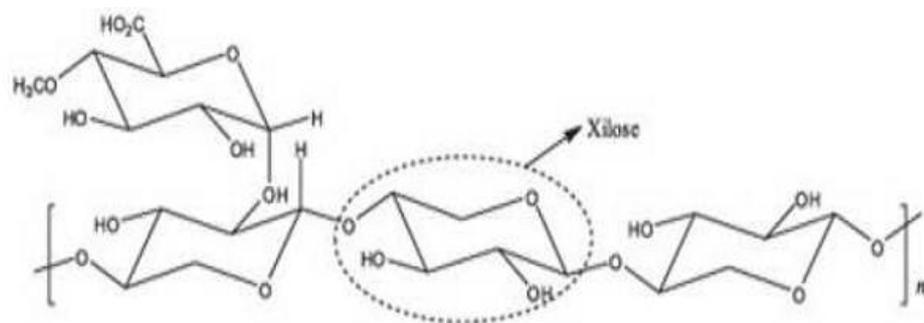


Figura 5 - Representação esquemática da hemicelulose.

Fonte: Santos et al. (2012).

3.2.4 Lignina

A lignina é uma macromolécula amorfa (Figura 6), formada basicamente por unidades de fenilpropano, este que contém subestruturas fenólicas (10-20%) e não fenólicas (80-90%). Os teores deste constituinte celular variam entre folhosas e coníferas, no primeiro grupo encontram-se entre 18 a 25%, enquanto que para o segundo essa faixa é superior e situa-se entre 25 a 35% (WILLIAMS, 2005).

Rowell (2005) cita que em termos qualitativos, a lignina presente folhosas apresenta-se de certa forma complexa do que observado nas coníferas. Fato relacionado devido à lignina presente nas coníferas ser referida como lignina guaiacil, visto que, aproximadamente, 95% dos estruturais são derivados do álcool coniferílico e, com relação à lignina de folhosas, a composição se dá por partes semelhantes de álcool sinapílico e coniferílico, sendo denominada de lignina do tipo guaiacil-siringil (DENCE; LIN, 1992).

A lignina atua como agente aderente entre as microfibrilas nas paredes celulares nos traqueídes e nas fibras. Possui como função principal a proteção dos componentes vasculares, pois reduz a permeabilidade da parede celular à água, protegendo a madeira contra microrganismos (KOLLMANN; COTÊ, 1968; HAYGREEN; BOYWER, 1989).

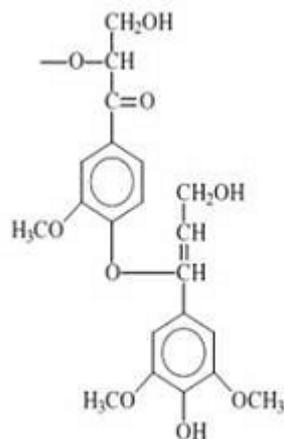


Figura 6 - Representação esquemática da lignina guaiacil-siringil.
Fonte: Santos et al. (2012).

3.2.5 Substâncias de baixa massa molecular

Os extrativos são componentes que não pertencem a parede celular, por isso não são essenciais para sobrevivência da planta, a sua natureza é orgânica (SJÖSTRÖM; ALÉN, 1998). Segundo os mesmos autores, estes compostos, solúveis em solventes orgânicos, pertencem às classes dos ácidos e ésteres graxos, alcoóis de cadeia longa, esteróides, compostos fenólicos e glicosídeos.

São conhecidas diversas substâncias junto aos constituintes da parede celular que são conhecidos por materiais acidentais ou estranhos da madeira. Na maioria das vezes, estes são os responsáveis por certas propriedades, tais como cheiro, gosto, cor, grã, textura e durabilidade da madeira. Apesar destes componentes contribuírem somente com uma pequena porcentagem da massa da madeira, eles podem exercer grande influência nas propriedades e qualidade de processamento do material (KLOCK, 2005).

Também são encontrados na madeira compostos minerais, em teores que variam de 0,1 a 1,0%, normalmente estes componentes são denominados cinzas (FENGEL; WEGENER, 1989). A sua presença informa sobre a quantidade de substâncias inorgânica, especialmente da seiva bruta, de modo geral constituído pelos íons de cálcio, manganês, ferro, magnésio, cobre, alumínio, potássio, etc. e, normalmente encontrado na forma de silicatos, carbonatos, fosfatos e sulfatos (COSTA et al., 1997).

3.3 Descritivo da espécie

3.3.1 Gênero

O gênero *Acacia* é importante não só pelo ponto de vista industrial (reflorestamentos), mas também pelo papel social e ambiental que desempenha. As espécies de maior interesse são *Acacia mangium*, *Acacia mearnsii* e *Acacia auriculiformis*. As principais finalidades do seu cultivo é fabricação de móveis,

construção civil, produção de painéis, combustível, polpa celulósica, controle de erosão, quebra-vento e sombreamento (ANTUNES, 2009).

A origem das espécies deste gênero é a região costeira da Austrália, Papua Nova Guiné, Ilhas de Java e Moluccas. Seus plantios e usos estão difundidos em diversos países, principalmente nos continentes africanos, asiáticos e sul-americanos, estima-se que foram introduzidas em cerca de 70 países (SEGURA et al., 2010).

Ocorrem naturalmente em locais quentes e úmidos, com chuvas regulares ao longo do ano, possui facilidade em adaptação a uma grande variedade de ambientes, com climas tropical e temperado, úmido e árido, solos ácidos e alcalinos, pobres e ricos em nutrientes (TURNBULL, 1986).

Essa facilidade de desenvolvimento somada ao rápido crescimento tornam as espécies deste gênero populares em diversos países no mundo, seja para uso de sua madeira ou para a recuperação de ambientes degradados (MIDGLEY; TURNBULL, 2003). Proporciona proteção ao solo e capacidade de decomposição de matéria orgânica, aumentando desta forma a capacidade de fixar nitrogênio. No Sudoeste Asiático, vem sendo empregada em substituição a teca (*Tectona grandis*), com grande vantagem e maior lucratividade (SILVA, 2008).

3.3.2 *Acacia mearnsii* De Wild.

As plantações de *Acacia mearnsii* para fins comerciais começaram a ser implantadas a partir do início do século XX, sendo que, no Brasil, foi introduzida no Rio Grande do Sul a partir de sementes provenientes da África do Sul, e é praticada pelas empresas Tanac, Seta (RESENDE et al., 1991). No início década de 90, os povoamentos plantados desta espécie chegaram a mais 200.000 ha no Brasil, 160.000 ha na África do Sul, 30.000 ha no leste da África, 20.000 ha na Índia, 15.000 na Indonésia e 10.000 ha na China (HIGA; RESENDE, 1994). Na figura 7 é possível observar em cor verde a sua distribuição no mundo.



Figura 7 - Distribuição geográfica da espécie *Acacia mearnsii*.
 Fonte: Segura (2012).

No Brasil existe predomínio de reflorestamento com a acácia-negra, comparado às outras espécies do gênero. Porém a sua área de plantio vem apresentando redução desde 2008. Possui como principais finalidades a extração de tanino a partir da sua casca para as indústrias de curtume, bem como para a utilização de sua madeira na indústria de celulose, energia e painéis de madeira industrializada (ABRAF, 2011).

Esta árvore é uma das principais espécies florestais plantadas no Estado do Rio Grande do Sul, destacando-se pela importância econômica e ambiental, com capacidade de recuperação de solos, onde realiza fixação e reposição de nitrogênio contribuindo, desta maneira, na formação de cobertura florestal devido ao seu rápido crescimento e fácil propagação (MELLO, 2007).

Segundo informações da EMBRAPA (2005) a acácia-negra possui um importante papel social, pois a maioria dos pequenos produtores residentes nas regiões de plantio produz acácia-negra na entressafra, tornando-se está uma das principais atividades na formação da renda das famílias rurais, em muitos casos, é a única atividade.

A facilidade de produção associado ao aproveitamento integral da mesma, torna essa espécie ideal para reflorestamento (SANTOS et al., 2001). De acordo com Schneider et al. (2000), outra característica positiva da *Acacia* está associada com o fato de poder ser cultivada pelos agricultores em sistemas agrossilvopastoris.

Nos primeiros anos de plantio, quando o dossel ainda está aberto, permite que os produtores cultivem milho, melancia e outras culturas em consórcio com a acácia-negra. Mais tarde, quando o dossel está fechado, a floresta proporciona consórcio com a pecuária, aumentando com isso a rentabilidade do investimento.

3.4 Deterioração de madeiras

Barcellos et al. (2005) consideram que a madeira deve possuir características que atendam adequadamente a sua utilização. A definição da melhor forma de utilização de uma determinada espécie consiste em estudar as suas características, definindo-se assim sua qualidade que, por sua vez, pode ser definida como um atributo ou condição que a distingue de outros produtos.

A característica da madeira de resistir à ação de agentes deterioradores é conhecida por durabilidade natural (WILLEITNER, 1984). A deterioração é um processo que gera alterações significativas nas suas propriedades físico-químicas e que são ocasionadas por agentes físicos, químicos ou biológicos (ZABEL; MORREL, 1992).

Os principais responsáveis pela decomposição são: umidade, temperatura e organismos xilófagos. Os dois primeiros são agentes físicos e podem variar de acordo com as condições locais e afetam diretamente a velocidade de deterioração. Mas por serem mais frequentes e possuírem maior importância econômica, a resistência natural geralmente é atribuída aos agentes biológicos (PAES, 2004).

No momento de optar a espécie a produzir, terá preferência a que possuir maior durabilidade, pois desta forma, evita-se a utilização de produtos químicos, estes que por vezes são tóxicos, normalmente empregados no tratamento de madeiras pouco resistentes, a fim de lhe conferir um desempenho satisfatório em serviço (OLIVEIRA, 1997).

Como já exposto, os agentes biológicos são responsáveis pelos maiores prejuízos na produção madeireira, estes microrganismos tem como principal fonte de energia a celulose e hemicelulose, ou seja, os constituintes mais abundantes da parede celular (LEPAGE, 1986).

A madeira é composta basicamente por fibras hidrofílicas orgânicas, propriedade que a distingue de outros materiais industriais, fato este que facilita o descarte após sua utilização. Porém, esta mesma característica a torna suscetível à ação dos agentes decompositores como: microorganismos, insetos, radiação UV, água, umidade e raios infravermelhos (EATON, 1993).

Quando considerado a divisão gimnospermas e angiospermas, as espécies pertencentes ao primeiro grupo são naturalmente mais suscetíveis aos processos de deterioração enquanto que as do segundo apresentam vários graus de resistência natural ao ataque biológico estes que são influenciados pela variação química da sua madeira (SILVA, 2007). A resistência à biodeterioração é associada à existência de determinadas substâncias no lenho, como taninos e outras substâncias fenólicas complexas, tóxicas a fungos e a insetos xilófagos (LELLES; REZENDE, 1986).

O apodrecimento é um processo gradual e contínuo dependente principalmente do organismo decompositor. No estágio inicial o mesmo penetra de modo superficial e começa a sua colonização liberando enzimas, posteriormente ocorrem alterações na coloração e na textura da madeira, porém a estrutura ainda permanece intacta. Na última etapa o material está completamente desestruturado (ZABEL, 1992).

3.5 Agentes biológicos

Segundo Oliveira et al. (1986), a decomposição biológica ocorre na madeira devido o fato de alguns organismos fazerem dos polímeros naturais da sua parede celular fonte de alimento, pois estes possuem sistemas enzimáticos específicos capazes de metabolizá-los e digeri-los.

As alterações ocasionadas por fungos causam modificações na composição química, perda da qualidade mecânica, redução de massa, alteração da cor natural, maior permeabilidade, diminuição da capacidade acústica, aumento da inflamabilidade, arrefecimento do poder calorífico e ainda torna-se mais propensa ao ataque de insetos, comprometendo dessa forma, a sua qualidade e inviabilizando a sua utilização para fins tecnológicos, segundo verificou Santos (1992).

Os Basidiomicetos são os principais causadores de danos em materiais lignocelulósicos, sendo os fungos os representantes desta classe. Dentre esses, os principais e mais severos à madeira são os causadores da podridão parda, que destroem os polissacarídeos da parede celular, e também os de podridão branca, que, além de polissacarídeos, destroem também a lignina (OLIVEIRA et al., 1986) .

Os cupins são, dentre os insetos, os mais severos agentes destruidores da madeira (PAES; VITAL, 2000), sendo os de solos ou subterrâneos, os responsáveis pelos maiores volumes de perdas de madeira no mundo (RICHARDSON, 1993).

3.5.1 Podridão Branca

Os fungos causadores da podridão branca pertencem à classe dos Basidiomicetos, e, raramente, dos Ascomicetos. Ocasionalmente ocasionam progressiva redução peso/volume da madeira, afetando desta forma as propriedades do material (ROWELL et al., 2005; SILVA, 2007).

O *Pycnoporus sanguineus* (L. ex Fries) Murrill, é um basidiomiceto da família Polyporaceae (ESPOSITO et al., 1993), a mesma do *Trametes versicolor* e do *Phanerochaete chrysosporium*, fungos lignolíticos. O *P. sanguineus* possui ampla distribuição na natureza sendo localizado principalmente em regiões de clima mais ameno e em florestas tropicais como a floresta amazônica (ESPOSITO et al. 1993). É conhecido popularmente como orelha-de-pau, sendo encontrado em madeira, onde se fixam e se alimentam. É capaz de hidrolisar os polissacarídeos da parede celular e também a lignina de materiais celulósicos (TEIXEIRA et al., 1997), sendo chamado de fungo de decomposição branca (White rot).

Nos estágios iniciais, estes fungos podem apresentar certa preferência alimentar, tanto em constituintes químicos quanto em região da parede celular (SCHWARZE, 2000). Em geral, esses fungos deterioram em maior grau madeiras de folhosas em comparação com coníferas (CURLING et al., 2000).

Santini (1988) cita que a podridão-branca causa a perda do aspecto lustroso e da cor natural da madeira, tornando-a esbranquiçada. Isso é associado à destruição dos pigmentos em razão do ataque de fungos. Em alguns casos, linhas escuras

demarcam a região afetada e, quando a colonização já se encontra em fase adiantada, a madeira torna-se desfiável (LELIS et al., 2001).

Rowell et al. (2005) menciona que nos primeiros estágios de desenvolvimentos as hifas desses fungos colonizam intensivamente os raios e vasos (folhosas), aprofundando-se nas fibras e traqueídeos apenas em estágios posteriores de ataque. A passagem de célula para célula pode ocorrer através das pontuações ou pela penetração na parede celular, o que se deve às enzimas produzidas nos topos e superfícies laterais das hifas, formando perfurações que podem ser ampliadas em estágios avançados de ataque. Nos tecidos lignificados as hifas permanecem no lume da célula e deterioram a parede celular de dentro para fora, a partir da camada S3, provocando assim o gradativo afinamento da parede celular (OLIVEIRA et al., 1986).

3.6 Preservação da madeira

Devido à grande propensão da madeira à deterioração, algumas medidas vêm sendo adotadas para atenuar ou, até mesmo, impedir seu avanço como preservantes, ignífugos e acabamentos superficiais (REVISTA DA MADEIRA, 2006). Possivelmente, a preservação da madeira de forma química é a técnica de proteção desse material mais antiga de que se tem conhecimento (RICHARDSON, 1993).

Um breve histórico da preservação, se inicia com Plínio, que descreveu a utilização de nardo com o objetivo de preservar estátuas. Catão, por sua vez, no segundo século a.C. indica o uso de óleo de oliva com o mesmo objetivo. Na Roma Antiga já era utilizada a carbonização como preservante da madeira que estaria em contato com o solo. E são dos séculos XVII e XVIII os registros de utilização de alcatrão, vinagre de madeira, bicloreto de mercúrio e alcatrão pirolenhoso, para a preservação do lenho (SANTINI, 1988).

De acordo com Calil Junior e Dias (1997), é errôneo o conceito que tratava a madeira como um material de durabilidade curta, o que a tornava inviável para a construção. Mesmo que a madeira possa sofrer injúrias de organismos xilófagos em determinadas situações favoráveis para os mesmos, quando submetida a tecnologia e tratamento preservativo adequado, produzem-se peças de madeira altamente

duráveis, sabendo que quando apropriadamente protegidas, podem durar até 50 anos ou mais.

Quando a madeira é utilizada em situações adversas ou em contato com o solo, o indicado é escolher espécies de alta durabilidade natural. Mas quando não é possível a disponibilidade de material de alta qualidade, é necessária a aplicação de tratamento preservativo, objetivando aumentar a vida útil da madeira. Estes tratamentos são avaliados pela boa impregnação dos preservativos químicos, que vão conferir ao material maior resistência, no caso de organismos xilófagos e deterioradores da madeira (BARILLARI, 2002).

3.6.1 Preservativos industriais para madeira

Segundo Mendes e Alves (1988), os distintos produtos preservativos existentes no mercado são classificados de acordo com a sua solubilização em óleo ou em água, assim, podem ser óleos solúveis ou hidrossolúveis. Respectivamente na indústria da preservação de madeiras, verifica-se maior importância dos preservativos hidrossolúveis, que correspondem aos produtos mais modernos e empregados.

Santini (1988) apresenta esses preservativos hidrossolúveis como àqueles que utilizam água como veículo, sendo constituídos, principalmente, de sais de íons metálicos. Inclui na sua formulação substâncias químicas como arsênio, cromo, boro, cobre, zinco e flúor. Os preservativos hidrossolúveis são empregados na forma de mistura (mais de uma substância química) visando assim melhorar a fixação do preservativo, reduzir os efeitos corrosivos sobre metais e proteger a madeira contra um maior número de agentes xilófagos.

De acordo com Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2012), os ingredientes ativos mais importantes registrados no órgão, para produção em nível industrial são: Arseniato de Cobre Cromatado tipo C (CCA-C); Borato de Cobre Cromatado (CCB), base óxido e salino; Cobre Azol tipo B (CA-B); além do óleo creosoto. Devido a atividade de preservação de madeiras, envolver a utilização de produtos químicos, na sua grande maioria,

tóxicos e que, se não utilizados corretamente podem causar danos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente. Para que os benefícios dos preservativos de madeira superem os seus riscos, a fiscalização ocorre de forma intensa.

3.6.2 Produtos alternativos de preservação

Existem algumas espécies que apresentam boa resistência natural contra organismos de biodeterioração, devido a pesquisadores têm objetivado desenvolver produtos alternativos aos preservantes para madeira, utilizando os extrativos de plantas (CELOTO et al., 2008) e de madeira. Entre os extrativos de plantas, estão os óleos essenciais de plantas aromáticas (SBEGHEN, 2001), os extratos de plantas venenosas (GOKTAS et al., 2008) e os óleos extraídos das sementes/grãos. E, ainda, os extrativos da madeira como o tanino, os corantes, os óleos, as resinas, as ceras e os ácidos graxos. Isolados ou em combinação com solventes e outros aditivos, alguns produtos naturais podem ter bom desempenho na preservação da madeira (GONZAGA, 2006).

A utilização de produtos químicos, no controle do ataque de fungos na madeira, traz benefícios ao setor florestal em curto prazo, porém, em longo prazo causa impactos negativos ao meio ambiente, devido à poluição ocasionada pelos resíduos químicos, além de selecionar microrganismos resistentes aos produtos sintéticos utilizados (STANGARLIN et al., 1999).

O metabolismo primário é formado por substâncias com direta relação à conservação da vida do organismo produtor (POSER; MENTZ, 2004; SANTOS, 2004). Comumente, os produtos do metabolismo primário, através de diversas rotas biossintéticas, originam os metabólitos secundários que, normalmente, apresentam estrutura complexa e cujos produtos não são necessariamente essenciais. Estes, no entanto, contribuem para a sobrevivência e perpetuação de sua espécie (POSER; MENTZ, 2004).

Os extratos de plantas durante muito tempo foram considerados como excreção vegetal, com estruturas químicas e, algumas vezes, propriedades biológicas importantes. Apesar disso, pelo fato do vegetal utilizar rotas biossintéticas

elaboradas, com gasto de energia elevado, a hipótese mais aceita atualmente, é a de que os vegetais consomem essa energia para sintetizar compostos necessários à sua sobrevivência e preservação. Essas substâncias podem atuar na defesa do vegetal, agindo como inibidores alimentares (taninos), toxinas, desestimulantes de herbívoros, ou então, de maneira oposta, como atrativos para polinizadores. Podem ainda ser úteis na proteção contra a luz ultravioleta e como estoques temporários de nutrientes (POSER; MENTZ, 2004; SANTOS, 2004; CRUZ et al., 2006).

Uma forma de controlar o ataque de organismos xilófagos é utilizar a atividade biológica de compostos secundários presentes nos extratos brutos ou nos óleos essenciais de plantas medicinais (STANGARLIN et al., 1999). Esses métodos alternativos que visam à redução do uso de fungicidas são pesquisados e resultados promissores no controle de fitopatógenos foram obtidos com o uso de extratos vegetais (FRANCO; BETTIOL, 2000).

3.6.3 Extrato tânico

Obtidos de diversas espécies florestais, porém pouco conhecidos na maioria delas por causa da sua composição variável, os taninos vegetais têm uma série de aplicações. O termo taninos foi inicialmente usado para descrever os químicos de tecidos vegetais responsáveis pela transformação da pele fresca de animais em couro (CANNAS, 2011). O autor caracteriza os taninos como compostos de baixo peso molecular, formados por estruturas múltiplas com grupos fenólicos livres, solúveis em água e com a propriedade de se ligar a proteínas formando outros complexos.

Os taninos também são empregados pela indústria cosmética, farmacêutica, de perfuração de poços, de produção de azulejos, de tratamento de água e esgoto e para a fabricação de tintas e adesivos. Além disso, possuem propriedades de repelência a organismos xilófagos, podendo ser responsável pela durabilidade natural da madeira de algumas espécies florestais, o que indica o seu potencial para ser utilizado como preservativo natural (SEN, 2009).

Entre as várias alternativas existentes para o tratamento preventivo do mofo, já está disponível no mercado um antimoho natural a base de tanino recomendado para tratamento de madeiras verdes recém-serradas. É uma boa solução em relação aos preservativos sintéticos, possui baixo odor, é biodegradável, tem fácil manuseio, não gera vapores tóxicos, não é inflamável, é totalmente hidrossolúvel e natural, não contendo compostos tóxicos como fenóis clorados ou bromados, entre outros. Testes realizados pela empresa que produz o antimoho natural comprovaram sua eficácia já que 95% das tábuas analisadas tiveram índice de 0% de formação de mofo em condições altamente favoráveis (REMADE, 2006).

Alguns autores citam que os taninos possuem baixa toxicidade como preservativos, mas que podem fixar biocidas pelas suas excelentes propriedades quelantes, o que significa que possuem habilidade em formar complexos com metais, dificultando sua posterior lixiviação (BRAND et al., 2006). Outros estudos justificam a alta durabilidade natural de algumas madeiras por causa de taninos presente nas mesmas, apresentando este como uma alternativa em potencial (JORGE et al., 2001; MELO et al., 2010).

3.7 Ensaio de laboratório

Para definição do grau de resistência natural de uma determinada espécie ou avaliar a eficiência preservativa de um produto impregnado na madeira, existem basicamente, dois tipos de ensaios, dependendo do propósito, podem ser executados: ensaios em laboratório e ensaios de campo (STANGERLIN, 2012).

Conforme mencionado por Lunz (2001), ao relacionar os resultados observados em ensaios de laboratório e de campo, verifica-se que os ensaios de campo expõem a madeira a riscos de deterioração e desgaste não contemplados nos ensaios realizados em laboratório. No mesmo sentido, Santini (1988), define como principal desvantagem para os ensaios em campo, o longo período (anos) necessário para obtenção de resultados precisos, em razão da utilização de peças com grandes dimensões. Desta forma, os ensaios em laboratório têm sido extensivamente empregados com o intuito de servirem como um primeiro estágio de

verificação da resistência do material, de modo a atender as respostas imediatas tanto de setores tecnológicos quanto econômicos.

Segundo Pinto (2004) a forma mais eficiente e rápida para se obter informações a respeito da vida útil de materiais ou produtos, acontece através dos testes de vida acelerados. Devido a isso, para avaliar a resistência natural da madeira a fungos, são utilizados ensaios em laboratório, nos quais amostras de madeira são expostas aos fungos xilófagos causadores das podridões branca ou parda (PAES et al., 2005). Mialhe (1996) afirma que estes procedimentos em laboratório possuem por finalidade a redução do tempo e custos.

3.8 Ensaios mecânicos

O conhecimento das propriedades mecânicas da madeira é essencial para determinar corretamente suas utilizações. A resistência mecânica, juntamente com resistência à deterioração biológica, facilidade de processamento com ferramentas, valor econômico de mercado e estética, são parâmetros que permitem a classificação apropriada da madeira para usos, como, por exemplo, peças estruturais, móveis e painéis (ARAÚJO, 2007).

A resistência se refere à capacidade em suportar os esforços externos e a rigidez reporta à proporcionalidade existente entre tensões e respectivas deformações específicas na fase de comportamento elástico-linear da madeira (BENJAMIM, 2006). Entre as propriedades mecânicas, destacam-se a resistência à ação de forças externas, tais como flexão, compressão, dureza e cisalhamento da madeira.

Dentre os ensaios mecânicos para caracterização de um material, o teste de dureza está entre os mais importantes e difundidos. Três fatores evidenciam essa opção: a) a dureza é extremamente sensível as alterações das características estruturais e químicas de um material; b) rapidez na obtenção de dados; c) o equipamento de baixo custo e facilidade em manuseio (STANGERLIN, 2012).

A dureza pode ser caracterizada como a resistência necessária para um corpo sólido penetrar em outro através de esforço, ou como a resistência do material testado à penetração de um determinado dispositivo (MORESCHI, 2010).

Com relação à avaliação da perda de resistência mecânica causada por organismos xilófagos, é preciso testes que permitam a utilização de corpos de prova em pequenas dimensões, oriundos de ensaios acelerados. Dentre estes possui destaque o método de Rockwell (STANGERLIN, 2012).

Apesar de escassos os trabalhos aplicados à madeira, o autor destaca três vantagens da dureza Rockwell em relação aos demais métodos: a) maior exatidão e isenção de erros, já que não exige leitura do tamanho da impressão; b) pequeno tamanho da impressão, evitando fraturas nas amostras; c) não necessita proceder à equalização superficial, visto que, com o emprego da pré-carga, pequenas irregularidades nas amostras são eliminadas.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, M. F. Z. J.; BARA, M. T. F. Avaliação da atividade antifúngica de extratos de plantas sobre o crescimento de fitopatógenos. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v.2, n.2, p.5-8, 2005.

ANDRADE, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em Pinus taeda L.: influência da idade e classe de produtividade**. 2006. 107f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ANTUNES, F. S. **Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides***. 2009. 83p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, v. 37, n. 3, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D. 2017: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v. 410, p. 313 – 317, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2011, ano base 2010**. Brasília: ABRAF, 130 p. 2011.

BARCELLOS, D. C. et al. O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um foco nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Botucatu, v. 2, n. 2, p. 141-158, 2005.

BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero Pinus tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. 2002. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis***. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 158p. 2006.

BIERMANN, C. J. **Handbook of pulping and papermaking**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 754p. 1996.

BRAND, M. A.; ANZALDO, J.; MORESCHI, J. C. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira: perspectivas da pesquisa e utilização. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 129 - 138, 2006.

BRISOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato e de permeabilidade**. 2008. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

CAIXETA, M. L. L.; PASTORE, T. C. M.; **Composição química da madeira de mogno (*Swietenia macrophylla*, King)**. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). 30º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2007.

CALIL JÚNIOR, C.; DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.1, n.1, p.71-77, 1997.

CALIL JÚNIOR, C.; ROCCO, F. A.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais da madeira**. São Carlos: Manole, 152p. 2003.

CANNAS, A. **Tannins: Fascinating but Sometimes Dangerous Molecules**. Cornell University – Department of Animal Science. 2011. Disponível em < <http://www.ansci.cornell.edu/plants/toxicagents/tannin.html> >. Acesso em 25/10/2014.

CELOTO, M. I. B. et al. Atividade antifúngica de extratos de plantas a *Colletotrichum gloeosporioides*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 1-5, 2008.

COSTA, M. M. et al. Avaliação preliminar do potencial de quatro madeiras de eucalipto na produção de polpa solúvel branqueada pela sequência AO (ZQ)P. **Revista Árvore**, v.21, n.3, p.385-392, 1997.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A. **Noções sobre anatomia da madeira e identificação anatômica**. Brasília, IBAMA, 2001.

CRUZ, M. E. S.; NOZAKI, M. H.; BATISTA, M. A. **Plantas medicinais e alelopatia**. 2006. Disponível em: <<http://www.biotechnologia.com.br>>. Acesso em: 2, fevereiro, 2013.

CURLING, S., CLAUSEN, C.A., WINANDY, J.E. The effect of hemicellulose degradation on the mechanical properties of wood during brown rot decay. **IRG/WP 01-20219**. 2001.

DENCE, C.W.; LIN, S.Y. **Methods in lignin chemistry**. New York: Springer Verlang, 578p.1992.

DESCH, H. E. **Timber – structure, properties, conversion and use**. MacMillan Press Ltd, Houndsmills. 1996.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood: decay, pests and protection**. New York: Chapman & Hall, v.1, p.116.1993.

EMBRAPA. **Cultivo da Acácia Negra**. In: **Sistemas de Produção**, v. 3. (versão eletrônica) 2005, disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/AcaciaNegra/CultivodaAcaciaNegra/>>, acessado em: 08/10/2014.

ESPOSITO, E. INNOCENTINI-MEI, L. H., FERRAZ, A., CANHOS, V. P. ; DURAN, N. Phenoloxidasas and hydrolases from *Pycnoporus sanguineus* (EUC-2050 strain) : applications. **Journal of Biotechnology**, 29: 219 – 228, 1993.

FARMER, R. H. Chemistry in the utilization of wood. Oxford: **Pergamon**, V. 9, 132 p. 1967.

FENGEL, D.; WEGENER, G.; **Wood Chemistry, Ultra structure and Reactions**, 1st ed., Walter de Gruyter: Berlin, 1989.

FRANCO, D.A.S.; BETTIOL, W. Controle de *Penicillium digitatum* em pós-colheita de citros com produtos alternativos. **Fitopatol. Bras.**, 25:602-606, 2000.

HAYGREEN, J. G.; BOYWER, J. L. **Forest products and wood science**. Anintroduction. 2^a ed. Iowa: Iowa State University Press, 1989.

HIGA, A. R.; RESENDE, M. D. V. de. Breeding *Acacia mearnsii* in southern Brazil. In: BROWN, A. G. **Australian tree species research in China**. Canberra: ACIAR, p. 158-160. (ACIAR. Proceedings, 48) 1994.

GOKTAS, O. et al. A research on the usage of extracts from a poisonous plant (*Ornithogalum alpigenum* S. ppf) as a wood preservative. **Abstracts / Journal of Biotechnology**, n. 136S, p. S672, 2008.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. Brasília, DF: IPHAN / MONUMENTA. 246 p., 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. 2012. **Banco de dados produtos preservativos de madeiras**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/produtos-preservativos-de-madeiras>>. Acesso em: 18 fev. 2014.

JORGE, F. C. et al. **Aplicações para as cascas de árvores e para os extractos taninosos: uma revisão**. *Silva Lusitana*, Oeiras, v. 9, n. 2, p. 225 - 236, 2001.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H.E. Moore**. 2000. 291 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KLOCK, U. et al. **Manual didático – química da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 85p. 2005.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÊ, A. C. **Principles of Wood Science and Technology**. Vol I. Solid Wood. New York: Springer-Verlag, 592p. 1968.

LELIS, A.T. et al. **Manual de biodeterioração de madeiras em edificações**. São Paulo: IPT. 54p. 2001.

LELLES, J. G.; REZENDE, J. L. P. Considerações gerais sobre tratamento preservativo da madeira de eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 141, p. 83-90, 1986.

LEPAGE, E.S. **Química da madeira**. In: LEPAGE, E. S.(Ed) Manual de preservação de madeiras. São Paulo: IPT, v.1. 1986.

LUNZ, A. M. Degradação da madeira de seis essências arbóreas causadas por Scolytidae (Coleoptera). 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DA MINASGERAIS/CETEC. **Uso da madeira para fins energéticos**. Compilado por Waldir Resende Penedo. Belo Horizonte (Série de Publicações Técnicas, 1). 158p. p. 9-26. 1980.

MELLO, F. S.; RIEGEL, I. C.; MOURA, A. B. D. **Estudo da pirólise da acácia-negra por termo análise**. In: Feira de Iniciação Científica e Salão de Extensão, 2007, Novo Hamburgo. Anais da Feira de Iniciação Científica e Salão de Extensão Feevale, 2007.

MELO, R. R. et al. Resistência de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 501 - 511, 2010.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília, IBDF/DPq-LPF, 1988.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio & Certificação**. Fundação de Estudos agrários Luiz de Queiroz- CNPQ- PADCT / TIB-FEALQ, 1996.

MIDGLEY, S.J.; TURNBULL, J.W. Domestication and use of Australian acacias: case studies of five important species. **Australian Systematic Botany**, Canberra, v. 16, p. 89-102, 2003.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Ministério da Educação e do Desporto. Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 175p. 2010.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. **Agentes destruidores da madeira**. In: LEPAGE, E. S. Manual de preservação de madeiras. São Paulo: IPT, v.1, p. 99-278. 1986.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**, 429f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, R. M. **Utilização de técnicas de caracterização de superfícies de madeiras tratadas termicamente**. 2009. 118p. Tese (Doutorado) – Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove espécies de madeiras do semi-árido brasileiro a fungos xilófagos em condições de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v.28, n.2, p. 275-282, 2004.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos causadores da podridão-mole. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.365-371, 2005.

PANSHIN, A.J., DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill Company, 705p. 1980.

PARHAM, R.A. Wood Variability. In: **Pulp and Paper Manufacture**, Volume 1, Properties of Fibrous Raw Materials and their Preparation for Pulping. Eds. Kocurek, M.J., Stevens, C.F.B. Joint Textbook Committee of the Pulp and Paper Industry (TAPPI/CPPI), Atlanta (GA), USA. pp. 55–65. 1983.

PASTORE, T. C. M. **Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias raman (ft-raman), de refletância difusa no infravermelho (drift) e no visível (cie-l*a*b*)**. 2004. 131f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PENEDO, W. R. **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte. Fundação CETEC, 1980.

PINTO, L. H. T. **Análise de falhas, tópicos de engenharia de confiabilidade**. Engenharia de manutenção central, 2004. Disponível em: ><http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/failure.pdf><. Acessado em: setembro 2012.

POSER, G. L.; MENTZ, L. A. Diversidade biológica e sistemas de classificação. In: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMAN, G.; MELLO, J.C.P.; MENTZ, L.A.; PETROVICK, P.R. (org.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre: UFRGS, p. 75–89, 2004.

RESENDE, M. D. V de. et al. **Estudos da variação genética e métodos de seleção em testes de progênies de *Acacia mearnsii* no Rio Grande do Sul.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, v. 22/23, p. 45-59, jan./dez. 1991.

REVISTA DA MADEIRA. **Madeira preservada – os impactos ambientais.** São Paulo: n. 16, ano 100, nov. 2006.

RICHARDSON, B.A. Wood preservation. Lancaster, **The construction Press.**1993.

ROWELL, R. M. et al. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites.** Capítulo 03: Cell Wall Chemistry. New York: Taylor & Francis Group, 2005.

SANTINI, E. J. **Biodeterioração e preservação da madeira.** Santa Maria: CEPEF/FATEC, 17 125p. 1988.

SANTOS, A. F. dos. et al. **O complexo gomose da acácia-negra.** In: EMBRAPA. (Circular Técnica, n. 44), 8p 2001.

SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova [online]**, São Paulo, vol.35, n.5, 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025> Acesso em: 28 de set. 2014.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** Dissertação de mestrado. Publicação EFL 091/2008.

SANTOS, R. I. Metabolismo básico e origem dos metabólitos secundários. In: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMAN, G.; MELLO, J.C.P.; MENTZ, L.A.; PETROVICK, P.R. (org.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento.** 5. ed. Porto Alegre: UFRGS, p. 403-434,2004

SBEGHEN, A. C. **Potencialidades de utilização de óleos essenciais de plantas aromáticas para controle de *Cryptotermes brevis*.** 2001. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2001.

SCHNEIDER, P. R. et al. Crescimento da Acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal.** v. 10, n. 2, p. 101-112, 2000.

SCHWAN-ESTRADA KRF, STANGARLIN JR. Extratos e óleos essenciais de plantas medicinais na indução de resistência. In: Cavalcanti LS, Di Piero RM, Cia P, Pascholati SF, Resende MLV, Romeiro RS (Eds.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba SP. Fealq. pp. 125-132,2005.

SCHWARZE, F. W. M. R. **Holzzersetzungstrategien von Pilzen und ihre Bedeutung für die Fäuledynamik im lebenden Baum**. Habilitationsschrift Univ. Freiburg, Germany, 91 p. 2000.

SEGURA, T. E. S.; ZANZÃO, M.; SILVA Jr, F. G. Potencial da madeira de acácia para a produção de polpa celulósica Kraft. In: ENCONTRO NACIONAL DA TECNICELPA, 21., 2010, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: TECNICELPA, 2010.

SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para a produção de celulose Kraft pelos processos convencional e Lo-Solids**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SEN, S.; TASCIOGLU, C.; TIRAK, K. Fixation, leachability, and decay resistance of wood treated with some commercial extracts and wood preservative salts. **International Biodeterioration & Biodegradation**, London, v. 63, n. 2, p. 135 - 141, 2009.

SILVA, C. A. **Análise da composição da madeira de *Caesalpinia echinata* Lam. (Pau-Brasil): subsídios para o entendimento de sua estrutura e resistência a organismos xilófagos**. 2007.120p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SILVA, F. P. Reflorestamento de acácia: Nova fonte de renda para o produtor florestal. **Revista da Madeira**, Itajaí, n. 117, nov. 2008. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1337&subject=R e florestamento&title=Reflorestamento%20de%20ac%20E1cia:%20nova%20fonte%20de%20renda%20para%20o%20produtor%20florestal](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1337&subject=R%20eflorestamento&title=Reflorestamento%20de%20ac%20E1cia:%20nova%20fonte%20de%20renda%20para%20o%20produtor%20florestal)>. Acesso em: 25 de agosto 2013.

SJÖSTRÖM, E., **The Structure of Wood, Wood Chemistry**, Fundamentals and Applications, Academic Press, New York, Cap. 1, p. 1-20.1981.

SJÖSTRÖM, E.; ALÉN, R. **Analytical methods in wood chemistry, pulping, and papermaking**. Berlin: Springer-Verlag, 316p.1998.

STANGARLIN, J. R. et al. Plantas medicinais e controle alternativo de fitopatógenos. **Bioteχνolog. Ciênc. Desenvolv.**, 2:16-21, 1999.

STANGERLIN, D. M. **Monitoramento de Propriedades de Madeiras da Amazônia Submetidas ao Ataque de Fungos Apodrecedores**. 259p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

TEIXEIRA, D. E.; da COSTA, A. F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**. 52: 29-34, dez. 1997.

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

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna***. Revista Cerne, v.2, n.1, p.04-111, 1996.

TURNBULL, J.W. **Multipurpose Australian trees and shrubs: lesser-known species for fuel wood and agroforestry**. Canberra: ACIAR, p. 29-44. 1986.

WALKER, J. C. F. et al. **Primary Wood Processing**, 1st ed., Chapman and Hall: London, 1993.

WILLEITNER, H. **Laboratory tests on the natural durability of timber-methods and problems**. Stockholm: The international Research Group on Wood Preservation, 11p. 1984.

WILLIAMS, R. S. Weathering of wood. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Florida: CRC Press, 2005.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology: decay and its preservation**. San Diego: Academic Press, 474p. 1992.

5 CAPÍTULO I

EFEITO FUNGITÓXICO DO EXTRATO NATURAL DE *Acacia mearnsii* SOBRE O CRESCIMENTO MICELIAL DO FUNGO APODRECEDOR *Pycnoporus sanguineus*

RESUMO

Entre os organismos xilófagos, os fungos são os maiores responsáveis por grandes prejuízos na produção de madeira. O uso de fungicidas químicos, por tempo prolongado, tem como implicação o surgimento de linhagens mais resistentes e a toxidez ao ambiente. Devido a isto, esforços têm sido direcionados na busca de compostos naturais, originários do metabolismo secundário de plantas, que possam atuar como agentes preservantes da madeira. O objetivo do presente trabalho é avaliar o efeito fungitóxico do extrativo tanino derivado da Acácia Negra (*Acacia mearnsii*) sobre o crescimento micelial do fungo *Pycnoporus sanguineus*, causador da podridão branca. Três metodologias foram elaboradas para trabalhar com o produto (esterilizando, não esterilizando e filtrando) e quatro concentrações do produto (0,5%; 1,0%; 1,5% e 2,0%) foram individualmente incorporadas ao meio de cultura (BDA) e o crescimento radial dos micélios avaliados. Posteriormente, os resultados foram comparados com o tratamento testemunha (0% de produto), em busca de melhores resultados. O procedimento se repetiu com metodologia avaliada como mais adequada, porém aumentando as concentrações (3,0; 4,0 e 5,0 %). Os resultados apresentaram a concentração 5% como a mais eficiente na atividade antifúngica, inibindo 50% das placas avaliadas, apresentando também o menor índice de crescimento micelial de todos os tratamentos testados. Não foi possível testar concentrações maiores devido a incompatibilidade do produto com o BDA.

Palavras-chave: toxidez, tanino, decomposição, podridão branca, ensaio de laboratório.

FUNGITOXIC EFFECT OF NATURAL EXTRACT OF *Acacia mearnsii* ON THE MYCELIAL GROWTH OF THE WOOD-DECAY FUNGUS *Pycnoporus sanguineus*

ABSTRACT

Among the decay organisms, fungi are the major responsible for big losses in the wood production. The use of chemical fungicides, for long periods has as an implication the emergence of resistant strains and the toxicity to the environment. Because of this, efforts have been focused on finding natural compounds originating from the secondary metabolism of plants, which may act as wood preserving agents. The purpose of this study is to evaluate the fungitoxic effect of extractive tannin derived from black Wattle (*Acacia mearnsii*) on the Mycelial growth of the *Pycnoporus sanguineus* fungus, causing white rot. Three methodologies were designed to work with the product (sterilizing, not sterilizing and filtering) and four concentrations of the product (0.5%; 1.0% 1.5% and 2.0 %) were individually incorporated into the culture environment and the radial growth of the evaluated mycelia. Subsequently, the results were compared to the witness treatment (0% of product), seeking better results. The procedure was repeated with methodology evaluated as more appropriate, however increasing concentrations (3.0 4.0 and 5.0 percent). The results showed the concentration 5% as the most efficient in antifungal activity, inhibiting 50% of boards evaluated, also showing the smallest Mycelial growth index of all tested treatments. It was not possible to test larger concentrations due to incompatibility of the product with the BDA.

Keywords: toxicity, tannin, decomposition, white rot, laboratory test.

5.1 Introdução

Dentre os materiais de origem biológica, a madeira é, sem dúvida, o mais conhecido e utilizado em diferentes aplicações; o lenho de uma árvore é matéria prima em quase todos os campos da tecnologia. Porém, tem como principal desvantagem a deterioração biológica por organismos xilófagos, de modo que estes utilizam os polímeros naturais da parede celular da madeira como fonte de nutrição (OLIVEIRA et al., 1986).

Tendo em vista os prejuízos que a decomposição biológica pode causar na produção de madeira, o emprego de substâncias preservantes é obrigatório para sua utilização. Os produtos industriais indicados para o tratamento preservativo são

tóxicos e seu uso tem se tornado cada vez mais restrito, assim uma possibilidade ecologicamente aceitável é a utilização de preservantes naturais no tratamento da madeira e a busca por produtos com um menor impacto ambiental.

As plantas produzem diversos compostos orgânicos. Geralmente estes são conhecidos como metabólitos secundários, e possuem direta associação com a relação planta/meio ambiente. Um exemplo é quando a planta produz substâncias de defesa contra insetos, bactérias e fungos (TAIZ; ZEIGER, 2004; SIMÕES et al., 2007).

No setor rural percebe-se um grande avanço na exploração de substâncias orgânicas, devido à consciência ecológica cada vez maior da população. Portanto, a necessidade de uma maior preservação ambiental, faz com que ocorra uma busca por produtos que atinjam as necessidades do agricultor e ao mesmo tempo, diminuam os danos ao meio ambiente (SOUZA, 2007).

Os extratos naturais, na verdade, estão se tornando uma alternativa para eliminação de diversos tipos de pragas e doenças (COUTINHO et al., 1999). Por tal característica, muitos pesquisadores buscam em componentes químicos de produtos naturais capacidades fungitóxicas, bem como sua aplicação no controle de fungos fitopatógenos (SILVA; BASTOS, 2007).

O poder toxicológico de compostos químicos das plantas é uma das questões científicas que mais precisam ser esclarecidas considerando o uso de sua bioatividade em detrimento dos tratamentos clássicos.

De acordo com Schwan-Estrada e Stangarlin (2005), a riqueza química das plantas medicinais, que agregam princípios ativos fungitóxicos, tornam-se potenciais fontes de moléculas capazes de serem empregadas na defesa de plantas contra fitopatógenos, tanto pela atividade fungitóxica quando pela indução de resistência.

Considerando o aumento da preocupação com as questões ambientais, com a saúde dos operadores envolvidos no processo de tratamento da madeira, assim como os consumidores do material preservado e ainda, com o reaproveitamento destas madeiras após seu uso, busca-se no tanino uma alternativa de baixa toxidez para solucionar estes problemas.

A descoberta de substâncias naturais com potencial para utilização no controle de organismos biológicos exige tempo e pesquisa. Na área de preservação da madeira, por exemplo, tratar o material com toda substância que imaginasse ser um eficiente preservante natural seria desperdício de tempo e dinheiro. Para isso,

utilizam-se testes fungitóxicos, onde o organismo é colocado em situação ideal de desenvolvimento, porém em contato com o produto a ser testado, deste modo se avalia o potencial tóxico deste ao organismo.

Este estudo busca dar os primeiros passos para encontrar a melhor forma de trabalhar com tanino, considerando a falta de informações consistentes de tal produto, examinando o seu comportamento com altas temperaturas, com meio de cultura e principalmente o seu grau de toxidez ao fungo causador da podridão branca. Diante do exposto, o presente capítulo tem como objetivo a análise da inibição do crescimento micelial de um importante fungo apodrecedor de madeira, *Pycnoporus sanguineus*, utilizando como possível agente antifúngico o extrato natural de *Acacia mearnsii*, o tanino.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Realização e características do experimento

O experimento foi conduzido no laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen.

O extrato natural de acácia negra, principal objeto de estudo deste trabalho, assim como a matéria prima madeireira, foram fornecidas pela a empresa SETA, situada no município de Estância Velha/RS. O tanino possuía valor mínimo de tanantes de 73% e umidade máxima de 7%.

5.2.2 Preparo da Solução

A colônia com fragmentos do fungo de podridão branca *Pycnoporus sanguineus* foi cedida pelo Setor de Biodegradação e Preservação da Madeira - LPF/ IBAMA. O meio de cultura utilizado foi batata-dextrose-ágar (BDA), por ser considerado universalmente indicado para o crescimento da maioria dos fungos (ALFENAS et. al., 2007). O fungo foi repicado para placas de Petri contendo BDA,

para conservação dos isolados em ambiente refrigerado a 10°C (SANTOS et. al., 2009).

A fim de buscar a metodologia mais adequada de solubilizar e tornar a solução de tanino compatível com o meio de cultura foi realizado três procedimentos de preparo da solução: esterilizando o tanino junto ao meio (Método 1), realizando filtragem a vácuo (Método 2) e não esterilizando o tanino (Método 3) (Figura 1).



Figura 1 - Esterilizando tanino junto ao meio (A) realizando filtragem a vácuo (B) adição de tanino após esterilização do BDA (C).

Na primeira metodologia, o produto foi adicionado antes do meio de cultura ser autoclavado. Na segunda, o produto passou por um processo de filtragem com o auxílio de uma bomba de vácuo, adicionando-o ao BDA após o mesmo ter sido esterilizado. Na terceira metodologia elaborada, o extrativo, sem passar pela filtragem, foi misturado ao meio após a esterilização, ou seja, depois de o BDA ser autoclavado.

5.2.3 Condução do ensaio em meio de cultura

O efeito do extrato natural de Acácia Negra (tanino) foi observado através da avaliação do crescimento micelial do fungo *Pycnoporus sanguineus*, causador da podridão branca.

O experimento foi composto pelo tratamento testemunha, que serviu como referência, e por quatro concentrações do produto: 5, 10, 15, 20 g.L⁻¹ (0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%,) que foram individualmente incorporadas ao meio de cultura, após sendo vertidos em placas de Petri. Prepararam-se dez placas por tratamento, sendo a inoculação realizada com auxílio de tubos de ensaio de 6 mm de diâmetro (confeção de discos da colônia) e agulha, esta que auxiliou na transferência do disco para o centro de cada placa, sendo realizada a vedação das placas evitando contaminação (Figura 2).

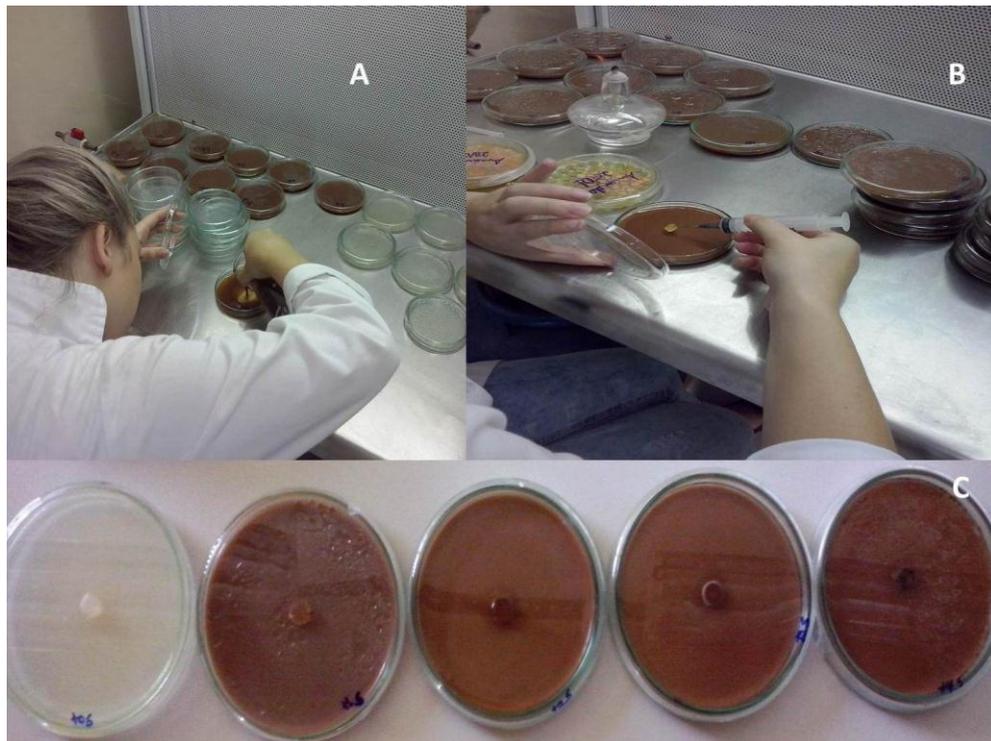


Figura 2 - Vertendo meio contendo tanino (A) transferência do disco da colônia mãe (B) placas vedadas prontas para incubação na BOD (C).

Logo após, as placas foram levadas para a BOD e incubadas por aproximadamente 7 dias, ou até que o tratamento 0% (testemunha) preenchesse a primeira placa. O ambiente mantinha-se climatizado a 25°C, 75±5% de UR e fotofase de 12 horas (VITTI, 1999).

As avaliações do experimento eram iniciadas 24 horas após a inoculação, por meio de medições diárias do crescimento micelial, sendo que cada medição correspondeu à média de duas medidas diametralmente opostas da colônia fúngica, mediante o uso de paquímetro.

O índice de crescimento micelial (ICM) ou taxa de crescimento (TC) foi calculado pela fórmula modificada de Nakagava Maguire, adaptada por Salgado et al. (2003), apresentada na Equação 1.

$$\text{ICM} = \frac{C1}{N1} + \frac{C2}{N2} + \frac{C3}{N3} + \dots + \frac{Cn}{Nn} \quad (1)$$

Onde:

C1, C2, Cn = crescimento micelial das colônias na primeira, segunda e última avaliação.

N1, N2, Nn = número de dias.

Após a análise dos resultados foi realizado o segundo teste fungitóxico com concentrações maiores, 30, 40 e 50 g.L⁻¹, porém utilizando somente a metodologia que foi avaliada como mais adequada no primeiro estudo, tanino não esterilizado, buscando desta forma melhores resultados.

5.2.4 Análise estatística

Na primeira etapa do experimento utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema bi fatorial 5x3, sendo 5 doses e 3 metodologias, com 10 repetições. As médias foram comparadas estatisticamente pelo teste de t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Na segunda fase, também se utilizou DIC, composto por 4 tratamentos e 10 repetições, posteriormente comparando as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

5.3 Resultados e discussões

Nos resultados da primeira parte do experimento, a análise da variância (Tabela 1) demonstra significância nos resultados tanto para doses quanto para os métodos.

Tabela 1 - Análise de variação (ANOVA) do teste fungitóxico avaliando métodos e doses.

Fator de Variação	GL	SQ	QM	Fc	P>F
Dose	4	11471,83	2867,95	261,26	<0,0001
Método	2	393,48	196,74	17,92	<0,0001
Interação Dose x Método	8	682,63	85,32	7,77	<0,0001
Erro	117	1284,37			
Total	131	14007,67			
Média	32,75	3501,91			
CV	11,63				
R ²	0,90				

Diante do exposto, verificou-se que houve diferença significativa entre as concentrações utilizadas, bem como nas diferentes metodologias adotadas, apresentando também interação significativa entre dose e métodos. Desta forma, deu-se continuidade a análise estatística pelo teste t a 5% de significância para os métodos (Tabela 2) e análise de regressão (Figura 3) para análise das doses.

Tabela 2 - Valores médios dos métodos avaliados.

Dose (%)	Método 1	Método 2	Método 3
0	51,49 a	40,9b	43,42b
0,5	36,33 ^a	35,68ab	33,23b
1	29,38 ^a	26,30a	27,31a
1,5	23,21 ^a	24,22a	16,73b
2	16,36b	22,18a	15,53b

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente entre si pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 2 está apresentada a avaliação dos métodos conforme os valores do índice de crescimento micelial, analisados estatisticamente a partir do desdobramento do efeito da interação, em que os níveis de um fator são comparados dentro de cada nível do outro fator. Nesta situação, quanto menor a média, maior é a taxa de inibição. Sendo assim, o Método 3 diferiu na maioria das vezes das demais metodologias e mesmo quando não se mostrava estatisticamente superior, mostrava-se numericamente maior aos demais tratamentos, como no caso das doses 0, 0,5 e 2%.

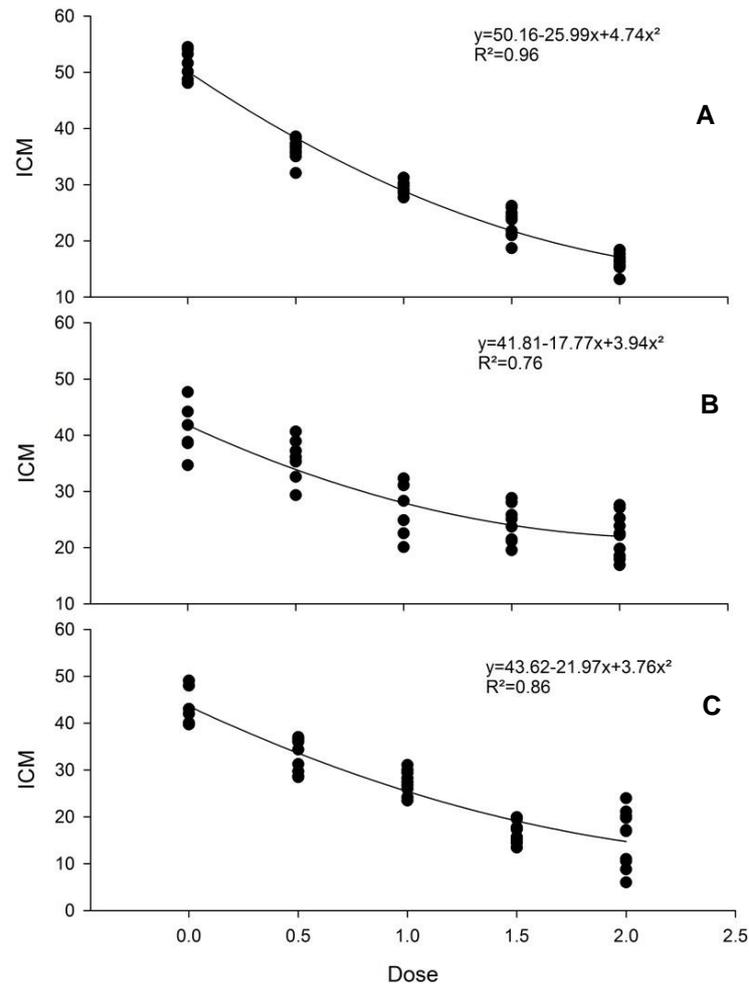


Figura 3 - Índice de crescimento micelial (ICM) de *Pycnoporus sanguineus* submetido a diferentes concentrações de extrato tânico. Utilizando tanino esterilizado (A), filtrado (B) e não esterilizado (C).

A partir dos resultados obtidos pela análise de regressão, foram observadas taxas variáveis de inibição do crescimento micelial do fungo *P. sanguineus* pelo extrativo tânico. Observou-se que à medida que se aumentava a concentração dos extratos, houve uma inibição do crescimento micelial do fungo, diminuindo gradativamente os valores conforme o aumento da concentração quando comparado à testemunha (0%).

A média de crescimento no tratamento que não continha o extrato era de 40 a 50 mm, enquanto no tratamento onde foram adicionados 0,5% de tanino, o crescimento ficou entre 33 e 36 mm. Já para a dose de 1,0%, o crescimento ficou entre 26 e 29 mm, e na concentração de 1,5% os valores tiveram uma diminuição

mais acentuada, ficando entre 17 e 24 mm. Na maior dosagem, de 2,0%, a inibição mostrou-se ainda maior, apresentando valores entre 15 e 22 mm, lembrando que os valores estão apresentados de forma geral, considerando apenas as concentrações e não os métodos empregados.

Na Figura 4 é possível observar visualmente o desenvolvimento do fungo nos diferentes métodos e concentrações de tanino. As concentrações estão dispostas da esquerda para direita, de maneira crescente, iniciando pela testemunha e seguida pelas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%.

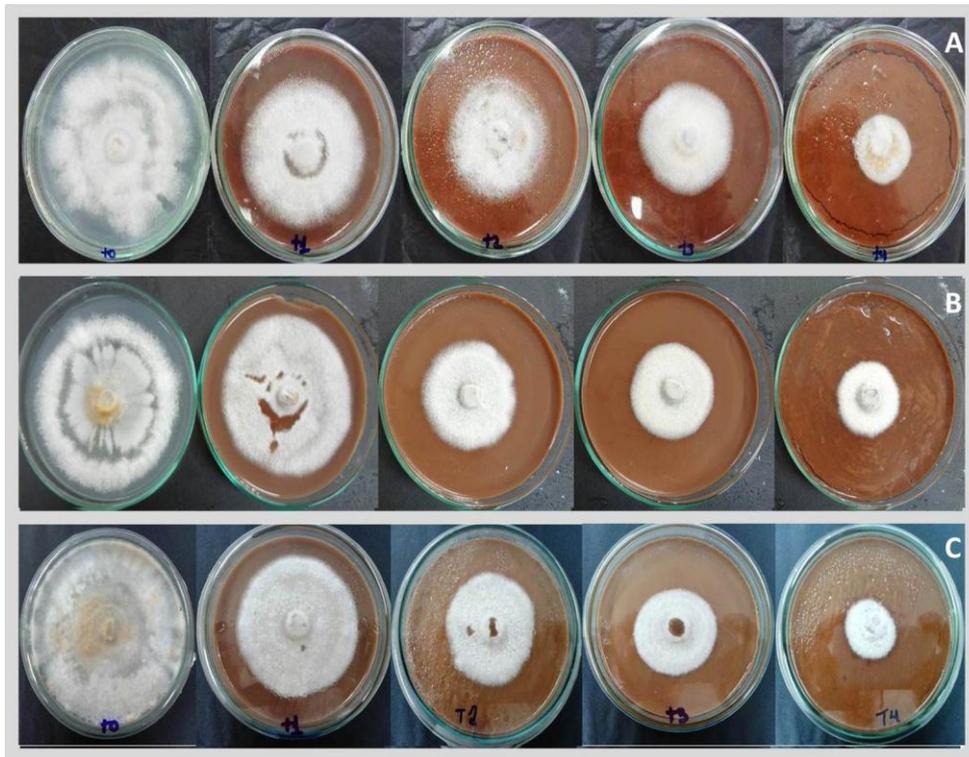


Figura 4 - Avaliação visual do crescimento micelial: esterilizado (A), filtrado (B) e não esterilizado (C).

É visível o potencial tóxico do extrativo ao fungo causador da podridão branca, sendo que enquanto a testemunha preenchia completamente a placa em 7 dias, os tratamentos contendo o extrativo tinham crescimento reduzido, resultado observado desde a menor concentração (0,5%), tornando-se ainda mais expressivo com o aumento das concentrações.

De acordo com Somers e Harrison (1967), taninos de diversas fontes são conhecidos por serem inibidores para microrganismos. Em estudo, relacionaram a baixa atividade microbiana na decomposição da serrapilheira de carvalho à presença do extrativo nas suas folhas, comportamento que pode ser comparado ao efeito fungitóxico gerado pelo tanino.

Pelo fato de o desempenho ser semelhante entre as metodologias, através da análise estatística definiu-se como o melhor método o qual o tanino não era autoclavado (esterilizado) junto ao meio, pois além deste ter apresentado os melhores resultados, também é o método mais simples.

Um segundo teste foi realizado a fim de encontrar uma concentração do extrato capaz de inibir completamente o crescimento do organismo decompositor, porém neste, só foi empregado o método 3, avaliado como mais adequado. As doses de tanino estudadas nessa segunda parte do experimento foram: 0; 3,0; 4,0; e 5,0 %, onde os resultados estão apresentados na Tabela 3, pela ANOVA.

Tabela 3 - Análise de variação (ANOVA) para as doses 3, 4 e 5%.

Fator de Variação	GL	SQ	QM	Fc	P>F
Tratamento	3	16283,91	5427,97	193,21	<0,0001
Erro	36	1011,39	28,09		
Total	39	17295,91			
Média	19,5				
CV	26,65				
R ²	0,94				

Através da análise da variância verifica-se diferença entre os tratamentos, dando-se então seguimento com o teste Tukey a 5% (Tabela 4). Os resultados mostram a mesma tendência da primeira parte do estudo, onde as doses maiores continuam apresentando redução gradativa no desenvolvimento do fungo.

Tabela 4 - Comparação das médias dos tratamentos 0, 3, 4 e 5%.

Dose (%)	ICM
0	53,79 a
3	16,45 b
4	5,86 c
5	3,45 c

ICM=índice de crescimento micelial

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey à 5% de probabilidade.

O produto demonstrou maior grau de toxidez com o aumento das concentrações (Figura 5), de modo que enquanto a testemunha apresentou ICM médio de 53,79, diferindo estatisticamente de todos os outros, no mesmo período a concentração 30 g.L^{-1} teve uma redução do crescimento de 69,44% em relação à testemunha. Quando adicionado 40 g.L^{-1} , esse percentual subiu para 89,12%, que só é numericamente inferior a dose de 50 g.L^{-1} , que inibiu 93,6% do desenvolvimento micelial quando comparada a testemunha.

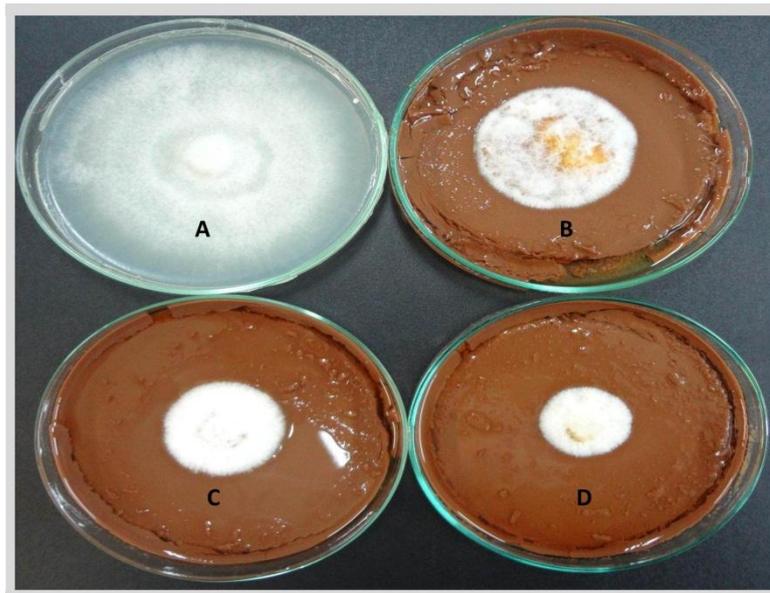


Figura 5 - Placa testemunha (A) contendo concentração de 3%(B) 4%(C) e 5%(D).

As maiores doses testadas, 4,0 e 5,0 %, apesar de não terem apresentado diferença estatística nas médias, o último apresentou maior grau de inibição por

placa, inibindo completamente o crescimento de 5 das 10 placas que foram avaliadas (Figura 6). Ficou evidente que quanto maior a dose de extrativo, menor era o vigor de crescimento do fungo. Segundo Byrde et al. (1960), o que explica o mecanismo de toxidez do tanino é por se tratar de um complexante de proteínas, tornando-o conhecido pela inibição de enzimas dos fungos, reduzindo seu crescimento.



Figura 6 - Repetições do tratamento 5%.

Tentou-se a realização de mais um estudo com maiores concentrações que as avaliadas, a fim de encontrar a concentração exata para inibição total do fungo, porém a incompatibilidade do produto com o meio de cultura, esta que pode ser observada na figura acima, tornou inviável a continuação.

5.4 Conclusões

A melhor forma de avaliar o tanino em meio de cultura é utilizando o método não esterilizado, ou seja, adicionando-o após a autoclavagem.

O tanino possui potencial tóxico ao fungo *Pycnoporus sanguineus*.

A incompatibilidade do extrato com o BDA impossibilitou o teste de doses superiores a 5,0%, esta que inibiu mais 90% do desenvolvimento do fungo em relação à testemunha, completamente, em 50% das placas avaliadas.

Para o tratamento da madeira é indicada a utilização da dose 5% devido ao bom desempenho no teste fungitóxico, bem como a avaliação de doses superiores.

5.5 Referências Bibliográficas

ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. **Métodos em fitopatologia**. Ed.UFV-Viçosa. 382 p. 2007.

BYRDE R. J. W., FIELDING A. H., WILLIAMS A.H. **The role of oxidized polyphenols in the varietal resistance of apples to brown rot**. In polyphenolics in health and disease pp.95-99, pergamon press, Oxford. 1960.

COUTINHO, W. M.; ARAÚJO, E.; MAGALHÃES, F. H. L. Efeitos de extratos de plantas anacardiáceas e dos fungicidas químicos Benomyl e Captan sobre a microflora e qualidade fisiológica de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotécnica**, v.23, p.560-568. 1999.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. **Agentes destruidores da madeira**. In: LEPAGE, E. S. (Ed). Manual de preservação de madeiras. São Paulo: IPT, v.1, p.99-278. 1986.

SAS INSTITUTE – **Statistical Analysis System**. SAS/STAT User's Guide 8.0. North Caroline, NC: SAS Institute Inc., 3365p. 1999.

SALGADO, A. P. S. P.; CARDOSO, M. G.; SOUZA, P. E.; SOUZA, J. A.; ABREU, C. M. P.; PINTO, J. E. B. P. Avaliação da atividade fungitóxica de óleos essenciais de folhas de *Eucalyptus* sobre *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* e *Bipolaris sorokiniana*. **Ciência e Agrotecnologia**, 27: 249-254. 2003.

SANTOS, F. J. et al. (2009) **Protocolo para produção massal de fungos entomopatogênicos**. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 43. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2009/bp_43.pdf. Acessado em: 10 nov. de 2014.

SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; STANGARLIN, J. R. **Extratos e óleos essenciais de plantas medicinais na indução de resistência**. In: CAVALCANTI, L. S. et al. Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos. Piracicaba: Fealq, p.125-32, 2005.

SEGURA, T. E. S.; ZANAO, M.; SILVA JR., F. G. **Potencial da madeira de acácia para a produção de polpa celulósica kraft**. In: XXI Encontro Nacional Tecnicelpa / VI Congresso Iberoamericano de Investigação em Celulose e Papel, Lisboa. 2010.

SILVA, D. M. M. H.; BASTOS, C. N. Atividade antifúngica de óleos essenciais de espécies de Piper sobre *Crinipellis pernicioso*, *Phytophthora palmivora* e *Phytophthora capsici*. **Fitopatol. Bras.**, v.32, n.2. 2007.

SIMÕES C. M. O. et al. **Farmacognosia: da Planta ao Medicamento**. 6. ed. Florianópolis: UFSC,821p. 2007.

SOMERS T. C.; HARRISON, A. F. **Wood tannins isolation and significance in host resistance to *Verticillium* wilt disease**. Aust. J.BIOL.SCI.20,475-470. 1967

SOUZA, A. E. F; ARAÚJO, E; NASCIMENTO, L. C. Atividade Antifúngica de Extratos de Alho e Capim-Santo sobre o Desenvolvimento de *Fusarium proliferatum* Isolado de Grãos de Milho. **Revista Brasileira de Fitopatologia**, v. 32, n.6, p.4658471, 2007.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia Vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

VITTI, A. M. S. **Avaliação do crescimento e do rendimento e qualidade do óleo essencial de procedências de *Eucalyptus citriodora***. 1999. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, SP.

6 CAPÍTULO II

EFEITO PRESERVATIVO DO EXTRATO TÂNICO NA BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA DE *Acacia mearnsii* De Wild.

RESUMO

Devido à grande demanda existente no setor madeireiro, a preservação da madeira tem sido uma importante ferramenta na busca de espécies alternativas, conferindo a estas uma maior vida útil. No entanto, os riscos resultantes do manuseio e alta toxicidade dos produtos preservativos de uso mais frequente no tratamento de madeiras representam uma ameaça para os pequenos produtores e até mesmo ao ambiente. Na tentativa de contribuir com a diminuição desses problemas, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar o efeito preservativo do extrato tânico na biodeterioração da madeira de *Acacia mearnsii*. Para tanto, corpos de prova da espécie sem tratamento e preservados, parte com extrativo tanino e parte com mistura química CCB, foram submetidos a ensaios de apodrecimento acelerado com o fungo causador da podridão branca (*Pycnoporus sanguineus*), durante 16 semanas, empregando metodologia adaptada da ASTM D 2017. As avaliações foram realizadas por meio da determinação de perda de massa, análise dos componentes químicos e da perda de resistência mecânica por meio de metodologia destrutiva ao empregar o durômetro de Rockwell. Dentre os resultados expostos e discutidos pode-se destacar que a resistência natural da madeira de *Acacia* é moderada quando exposta ao fungo de podridão branca. As concentrações de tanino mostraram efeitos semelhantes à mistura CCB em todas as avaliações, aumentando significativamente a resistência do material, que passou a ser classificada como muito resistente ao fungo. De modo geral, através dos resultados apresentados, pode-se considerar o tanino um potencial preservativo natural, sendo recomendados novos estudos com outras espécies, bem como com outros organismos e avaliações sobre sua fixação na madeira.

Palavras-chave: Podridão-branca, ensaio de laboratório, qualidade da madeira, extrativos.

PRESERVATIVE EFFECT OF TANNIC EXTRACT IN BIODETERIORATION OF WOOD OF *Acacia mearnsii* De Wild.

ABSTRACT

Due to great demand exists in lumber industry, wood preservation has been an important tool on the pursuit of alternative species, giving these a longer useful life. However, the risks resulting from the handling and high toxicity of the preservative products most frequently used in wood treatment represent a threat to small producers and even to the environment. Attempting to contribute to the reduction of these issues, the present work was performed to evaluate the preservative effect of tannic extract on biodeterioration of *Acacia mearnsii* wood. In order to this, bodies of evidence of species without treatment and preserved, part with extractive tannin and part with CCB chemical mixture, were subjected to accelerated decay tests with the fungus that causes white rot (*Pycnoporus sanguineus*), during 16 weeks, employing methodology adapted from the ASTM D 2017. The evaluations were carried out by ways of loss mass determination, chemical components analysis and loss of mechanical strength through destructive methodology by employing the Rockwell hardness testers. Among the exposed and discussed results, special reference may be made to the fact that the natural resistance of *Acacia* wood is moderate when exposed to white rot fungus. Tannin concentrations showed similar effects to the CCB mixture in all evaluations, significantly increasing the resistance of the material, which became classified as very resistant to fungus. In general, through the results presented, one can consider tannin as a natural preservative potential, recommending further studies with other species, as well as with other bodies and evaluations about their fixation on wood.

Keywords: white-Rot, laboratory test, quality of wood extractives.

6.1 Introdução

Considerada desde os tempos remotos como um material adequado para construção devido a sua abundância na natureza e pela facilidade no seu manuseio, a madeira, quando comparada a outros materiais de construção como concreto,

apresenta excelente relação entre resistência e peso, além de apresentar facilidade de beneficiamento e isolante térmico e acústico (AGOSTINI, 2005).

A maioria das espécies nativas consideradas tradicionais e reconhecidas pela nobreza de sua madeira, tem tido sua ocorrência natural bastante reduzida, além de estarem em processo de escassez devido à intensa exploração ocorrida nos últimos anos, e em alguns casos, encontra-se até mesmo sob ameaça de extinção (ARAÚJO et al., 2012).

Os mesmos autores afirmam que devido à lei da oferta e da procura e a carência de madeiras de elevada durabilidade natural nas florestas de produção, ocorre elevação do valor comercial no mercado consumidor. De certa forma, o valor de mourões de madeiras nobres está em níveis muito altos, o que, economicamente, tem inviabilizado sua utilização. Diante disso, a substituição dessas espécies por espécies plantadas, que possuam desenvolvimento rápido e que sejam devidamente tratadas, apresenta-se como uma excelente alternativa para o problema.

A demanda por material madeireiro está em constante crescimento, assim como a busca por matéria prima de qualidade que corresponda às expectativas dos consumidores. Assim, torna-se clara a importância de buscar conhecimento de espécies com potencial produtivo, como a acácia-negra, para que esta possa trazer ainda mais benefícios aos locais que permitam o seu plantio.

No setor florestal, a acácia-negra possui papel relevante na economia do Rio Grande do Sul. Por ser uma espécie exótica com boa adaptação ao Estado, pode ser utilizada tanto em larga escala como também para complementar a renda de pequenos produtores rurais. Torna-se vantajosa por absorver a mão-de-obra familiar rural e garantir uma boa remuneração aos mesmos, possuindo assim, importância econômica e social.

Outra vantagem gerada pelo cultivo da acácia são os benefícios ambientais que proporciona ao meio, como a recuperação da fertilidade de solos pobres, a possibilidade de consórcios com cultivos agrícolas, sendo ideal na recuperação ambiental, por ser uma pioneira de vida curta, que cobre rapidamente o solo. Ainda de suas árvores, além da madeira, é possível fazer o uso da casca para fins industriais. Devido a todas as características citadas é considerada uma espécie multifuncional, de relevância.

A madeira é um material biológico, por isso, é facilmente degradado por bactérias, fungos e cupins (WALKER, 1993; SCHULTZ; NICHOLAS, 2002). No

entanto, algumas espécies são resistentes a estes agentes degradantes, enquanto outros são muito suscetíveis a deterioração (KITTYO; PLUMPTRE, 1997). A preservação da madeira é um processo de redução e prevenção de ataque de organismos decompositores, aumentando a vida útil da madeira (BARNES, 1992).

Um empecilho encontrado quando se trata de acácia é a carência quanto a informações técnicas referentes à qualidade de sua madeira. As referências sobre sua durabilidade natural, o emprego correto e as vantagens do tratamento preservativo são relativamente escasso na literatura. Devido a esta falta de dados, que gera certo receio no produtor na hora de optar pela espécie a produzir, em muitas situações acabam escolhendo o pinus ou eucalipto, por serem as espécies mais difundidas.

A resistência a biodeterioração de algumas espécies está associada principalmente à acumulação de extrativos no cerne, alguns dos quais retardam o apodrecimento (KITTYO; PLUMPTRE, 1997). São essas substâncias que tornam o cerne pouco atrativo para os organismos deterioradores da madeira. Hinterstoisser et al. (2000) observou que o teor de extrativos desempenha um papel essencial na predição da durabilidade da madeira, além de que a sua concentração varia entre espécies, dentro da mesma espécie e até mesmo em uma única árvore.

Existem várias vantagens da utilização de extrativos de madeira como conservantes para aumentar a vida útil em serviço deste material. Estes extratos naturais têm sido relatados como mais seguros quando comparados aos conservantes sintéticos e ainda são eficazes contra patógenos de plantas (ARANGO et al., 2005).

Barnes (1992) observou que extrativos são conservantes orgânicos produzidos a partir de elementos presentes na natureza, tornando-se vantajosos pela baixa toxidez a mamíferos e ao meio em que é utilizado, facilitando o descarte do material tratado sem que ocorram danos ambientais.

Os taninos vegetais têm como principal utilização o curtimento de peles, porém também são empregado na indústria de petróleo como dispersor para controlar a viscosidade de argilas na perfuração de poços, no tratamento de água, na fabricação de tintas e adesivos (PAES et al., 2007) e, devido suas propriedades antifúngicas, vêm sendo testados contra organismos xilófagos como alternativas aos imunizantes para madeira.

O extrato tânico é um composto natural que pode ser encontrados em todas as partes da planta: cerne, casca, frutos e sementes. Algumas pesquisas buscam relacionar eficácia dos taninos isolados (ONUORAH, 2000; VITAL et al., 2001; COSTA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2005; BARBOSA et al., 2007) combinados com minerais (BERNARDIS; POPOFF, 2009) e ainda com outros produtos químicos com eficácia antifúngica consagrada (SEN et al., 2009).

Já existem relatos do potencial preservativo do extrativo tanino, um composto produzido pela própria espécie, que até então vem sendo utilizado principalmente em curtumes, e caso este se confirme o potencial é um ganho industrial, ambiental e social, devido à carência encontrada no mercado quando se procura produtos com baixa toxidez. Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar efeito preservante do extrato tânico na biodeterioração da madeira de *Acacia mearnsii*.

6.2 Material e métodos

6.2.1 Ensaio acelerado

6.2.1.1 Preparação do material e confecção dos corpos de prova

O material utilizado como matéria prima foi adquirido de plantios homogêneos de *Acacia mearnsii*, da empresa SETA. A seleção das árvores baseou-se no diâmetro (15 cm), retilinidade e aparência saudável do seu fuste. Após a realização de um levantamento no povoamento selecionado, foram abatidas cinco árvores do plantio.

Após o abate, as árvores foram seccionadas em toras de 2,0 m de comprimento, sendo selecionadas para o estudo as duas primeiras toras imediatamente após a base da árvore. Posteriormente, foram retirados três discos ao longo do comprimento das peças, destinados à confecção dos corpos de prova, conforme metodologia mostrada na Figura 1.

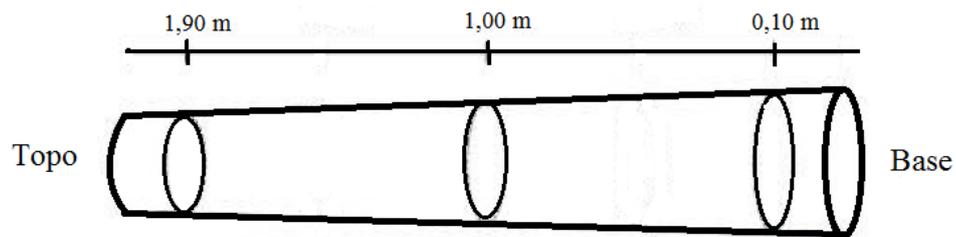


Figura 1 - Amostragem da peça através de discos cortados da tora.
Fonte: Paes et al. (2008).

Os discos foram transportados para uma serraria, onde ocorreu a confecção dos corpos de prova. A amostragem dos mesmos é apresentada na Figura 2 e os corpos de prova foram dimensionados em conformidade com a norma ASTM 2017 (1994).

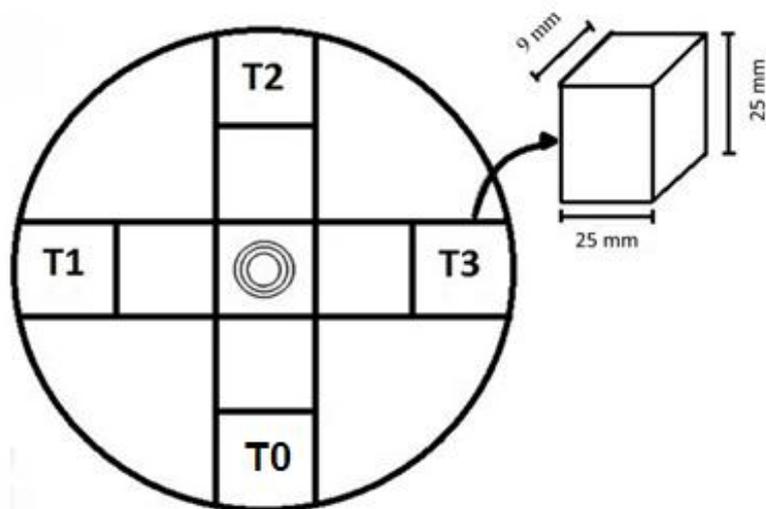


Figura 2 - Metodologia para obtenção dos corpos de prova utilizados no estudo. T0 = sem tratamento; T1 = tratamento com tanino 5%; T2 = tratamento tanino 10%; T3 = tratamento mistura CCB.
Fonte: Paes et al. (2008).

De um total de 10 toras foram originados a 30 discos. Destes, foram confeccionados 120 corpos de prova, sendo 20 destinados ao tratamento

preservativo com tanino (nas concentrações 5 e 10%), 10 para o tratamento com a mistura de cobre, cromo e boro e 10 para a posterior avaliação da resistência natural da madeira (sem nenhum tratamento). Do restante, foram selecionadas 30 amostras para a avaliação dos componentes químicos da madeira (celulose, hemicelulose e lignina), chamadas de amostra controle (Testemunha superior), que não passaram pela exposição ao fungo, e os outros 50 permaneceram condicionados para se houvesse necessidade de reposição.

Após serem lixados, selecionados e climatizados, os corpos de prova (Figura 3) destinados aos tratamentos T1 (solução de tanino em concentração de 5%), T2 (tanino em concentração de 10%) e T3 (mistura CCB a 2,5%), passaram individualmente por tratamento preservativo pelo método de pressão de célula cheia (ou seja, vácuo associado à pressão) em autoclave, efetuando-se inicialmente a um período de vácuo de 15 minutos e posteriormente pressão durante 60 minutos. No T0 (Testemunha inferior) e nas amostras controle, não houve a realização de tratamento preservativo, pois, no primeiro busca-se saber a resistência natural da madeira e no segundo as propriedades da madeira não exposta ao apodrecimento.



Figura 3 - Preparo e seleção dos corpos de prova (A) disposição do material na autoclave (B) adição do produto: tanino (C) mistura CCB (D) período de pressão (E) corpos de prova após tratamento.

6.2.1.2 Ensaio de laboratório

O ensaio de laboratório foi composto de 4 tratamentos (T0, T1, T2 e T3), utilizando 40 vidros com capacidade de 500 mL com 100 g de solo. Os frascos foram preenchidos com 350 g de solo com capacidade de retenção de água conforme recomendado pela ASTM D - 2017 (1994). Após, foi adicionado 105 mL de água destilada e uma placa alimentadora de *Pinus* sp., para que servisse como substrato para o estabelecimento inicial da colônia fúngica. Logo, os mesmos passaram por esterilização à temperatura de 120 ± 1 °C durante 1 hora e, depois de obterem temperatura ambiente, foi colocado um disco de aproximadamente 6 mm da colônia do fungo *Pycnoporus sanguineus* no centro da placa (Figura 4).



Figura 4 - Preparação do solo (A) vidros esterilizados juntamente com a placa colonizadora (B) confecção (C) e transferência do disco micelial (D).

Os vidros foram armazenados em caixas que permaneceram no laboratório por 30 dias, momento em que a placa encontrava-se completamente coberta pelo fungo. Os corpos de prova, de acordo com cada tratamento foram então adicionados

aos frascos onde permaneceram por 14 semanas, onde após as amostras foram secas, pesadas e a perda de massa foi avaliada (Figura 5).



Figura 5 - Material pronto para o ensaio (A) placa colonizadora completa (B) transferência corpos de prova (C) vidros embalados para armazenamento (D).

Para avaliação da resistência (natural e tratada) das espécies ao ataque dos fungos, foi comparada a perda de massa sofrida pela madeira com os valores apresentados pela ASTM D-2017 (1994), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos (ASTM, 1994).

CLASSES DE RESISTÊNCIA	PERDA DE MASSA (%)	MASSA RESIDUAL (%)
Muito Resistente	0 – 10	90 – 100
Resistente	11 – 24	76 – 89
Resistência Moderada	25 – 44	56 – 75
Não-Resistente	≥ 45	≤ 55

6.2.1.3 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e 10 repetições. Os dados foram analisados pelo pacote estatístico Statistical Analysis System – SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 1999). As médias foram comparadas por contrastes ortogonais com nível de significância de 5%.

6.2.2 Análise dos componentes químicos da madeira

Primeiramente foram analisadas as 30 amostras que não passaram pelo ensaio de laboratório, verificando os extrativos totais e os teores de lignina, celulose e hemicelulose das amostras. Estes valores, posteriormente serviram como base de comparação com os resultados obtidos das amostras atacadas pelo fungo da podridão branca.

De acordo com a Norma TAPPI 257, foram utilizadas amostras de serragem classificadas em 40 mesh, cuja umidade foi determinada de acordo com a Norma TAPPI 264 om-88, em triplicata.

6.2.2.1 Extrativos totais

De acordo com a norma TAPPI 204 om-88 (1996), foi utilizado aproximadamente $2,0 \pm 0,1$ g da amostra livre de umidade, que foram colocadas em cartucho de celulose, e posteriormente inseridas no extrator Soxlet. A extração foi feita com uma mistura etanol-tolueno. As amostras uma vez livres de extrativos foram colocadas em estufa a $105,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ até obterem massa constante, para então serem pesadas e o valor subtraído peso da amostra inicial seca (Figura 6).

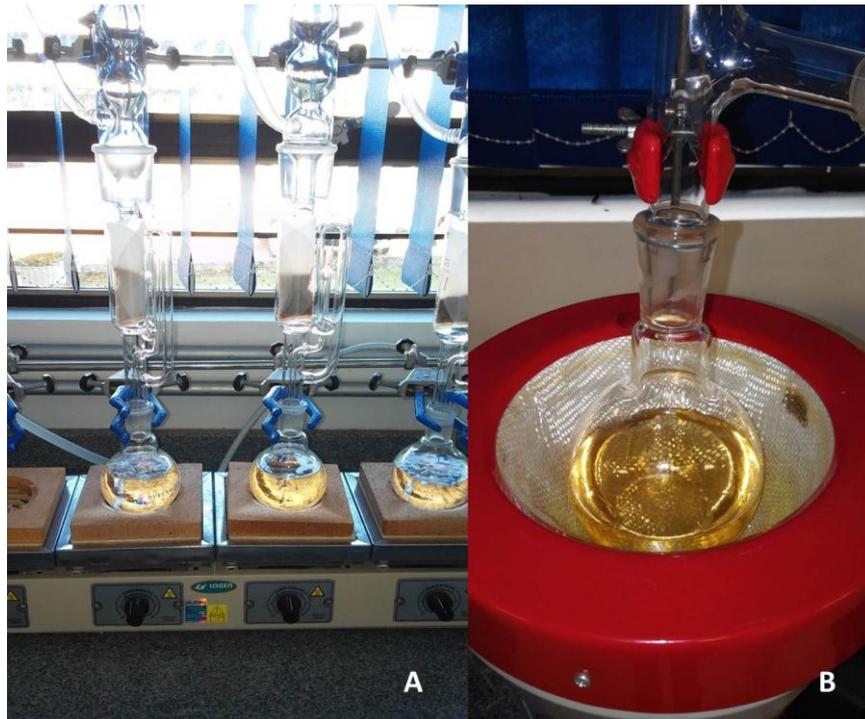


Figura 6 - Extração de carboidratos através do Soxhlet (A) evaporação dos solventes (B).

6.2.2.2 Lignina Klason

Com as amostras já transformadas em serragem, pesou-se aproximadamente 1 grama de madeira. Para determinar a lignina, foi preciso hidrolisar os carboidratos da amostra por ácido sulfúrico a 72% (v/v), e filtrar a lignina, onde posteriormente foi seca e pesada (Figura 7).



Figura 7 - Lignina retida no papel filtro.

Para o cálculo do teor de lignina (%) é utilizado-se a Equação 1:

$$TL = [(Pac - Pc)/Pas] * 100(1)$$

Onde:

TL - Teor de lignina (%);

Pac - Peso do cadinho + amostra (g);

Pc - Peso do cadinho (g);

Pas - Peso da amostra seca (g).

Este teste foi baseado na norma TAPPI T 222 om-02 (2002).

6.2.2.3 Celulose

Pesou-se aproximadamente 1 grama de madeira na forma de serragem. Na amostra, foi adicionado uma alíquota de 25 mL da solução de ácido nítrico - ácido acético glacial, preparada com 90 mL de ácido nítrico e 732 mL de ácido acético glacial, completando a 1,0 litro com água (178 mL de água destilada). A mistura passou por um sistema de refluxo (sistema de destilação) por 25 minutos em temperatura de 120 °C controlada por um aquecedor, para depois condensar. Logo, realizou-se a lavagem do material retido sobre o papel filtro, para a posterior estabilização do peso do material em estufa.



Figura 8 - Celulose retida no papel filtro.

O conteúdo de celulose como percentagem a partir do material de partida é calculado com a Equação 2:

$$TC = [(Pac - Pc) / Pas] * 100 \quad (2)$$

Onde:

TC – Teor de celulose (%);

Pac - Peso do béquer + papel filtro + amostra seca (g);

Pc - Peso do béquer + papel filtro (g);

Pas - Peso da amostra seca (g).

O teor de celulose foi determinado pela norma TAPPI T 203 cm-99 (2009).

6.2.2.4 Hemicelulose

Primeiramente calculou-se o teor de holocelulose (celulose + hemicelulose) para após subtrair deste, o teor de celulose. Com amostras já transformadas em serragem, pesou-se 5 gramas de madeira e nestas foram adicionados 100 mL de água destilada, 0,5 mL de ácido acético glacial e 0,75 gramas de clorito de sódio, levando-se ao banho Maria com temperatura de 70 °C. Após 1 h de espera para que a reação completasse, adicionou-se 0,5 mL de ácido acético glacial e 0,75 gramas de clorito de sódio. Repetiu-se 4 vezes este procedimento.

A mistura passou pela filtração à vácuo para posterior lavagem da amostra com água destilada. Os resíduos que permanecem sobre o papel filtro foram lavados com uma porção de 50 mL de acetona e posteriormente recolhidas e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65/70 °C durante 24 horas (Figura 9).



Figura 9 - Holocelulose retida no papel filtro.

O cálculo do teor de holocelulose (Z) foi realizado conforme a Equação 3:

$$Z = (M1 / M2) * 100 \quad (3)$$

Onde:

Z - Teor de holocelulose (%);

M1 - Massa de amostra resultante do teste (g);

M2 - Massa inicial da amostra (g).

Obteve-se o teor de hemicelulose pelo cálculo da diferença entre os valores de celulose e holocelulose. Para determinação da holocelulose, baseou-se no trabalho realizado por Leão (2008).

Para as análises químicas o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e 10 repetições. Os dados foram analisados pelo pacote estatístico Statistical Analysis System – SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 1999). As médias foram comparadas por contrastes ortogonais com nível de significância de 5%.

6.2.3 Dureza Rockwell

Para a caracterização mecânica das amostras deterioradas utilizou-se o equipamento medidor de dureza Rockwell, dotado de penetrador esférico de 1/4 de polegada. A carga de ensaio foi aplicada, na seção transversal (2,5 x 2,5 cm), em duas etapas distintas. Primeiro, aplicou-se uma pré-carga de 10kgf e após, aplicou-se a carga final de teste, de 60kgf. Realizaram-se, em pontos distintos, três leituras da dureza Rockwell para cada corpo de prova, sendo o resultado obtido diretamente no mostrador analógico (Figura 10).



Figura 10 - Equipamento medidor de dureza Rockwell.

Para avaliação de dureza o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e 10 repetições. Os dados foram analisados pelo pacote estatístico Statistical Analysis System – SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 1999). As médias foram comparadas por contrastes ortogonais com nível de significância de 5%.

6.3 Resultados e discussões

6.3.1 Perda de massa

A análise da variância, descrita na Tabela 2, indica que houve diferença estatística entre a perda de massa nos tratamentos estudados.

Tabela 2 - Análise de variação (ANOVA) para Perda de Massa.

Fator de variação	GL	SQ	QM	Fc	P>F
Tratamento	3	4182,65	1394,21	173,75	<0,0001
Erro	36	288,86	8,02		
Total	39	4471,52			
Média	19,5				
CV	26,99				
R ²	0,93				

Para avaliação mais detalhada da relação das testemunhas inferior (resistência natural) e superior (tratamento com mistura CCB) com os tratamentos contendo tanino, fez-se uso de contrastes ortogonais para comparação das médias, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Médias de perda de massa.

Contraste	Média x Média	Incremento
Testemunha inferior x T1*	28,07 x 5,97	22,1
Testemunha inferior x T2*	28,07 x 5,24	22,83
T. inferior x T. superior*	28,07 x 2,67	25,4
Testemunha superior x T1*	2,67 x 5,97	-3,3
Testemunha superior x T2*	2,67 x 5,24	-2,57

T1 – tratamento com tanino 5%; T2 – tratamento com tanino 10%; Testemunha inferior – madeira sem preservante; Testemunha superior – madeira tratada com CCB; * Significativo pelo teste T à 5%.

A madeira de *Acacia mearnsii* sem nenhum tipo de preservativo (testemunha inferior) apresentou perda de massa de 28,07%, possuindo desta forma moderada resistência natural ao ataque do fungo *Pycnoporus sanguineus*. Com relação às concentrações de tanino, T1 e T2, estas mostraram desempenho próximo, mantendo as médias da perda de massa entre 5,24 e 5,97%, considerada segundo a classificação ASTM D-2017 como muito resistente. Mesma categoria de classificação do tratamento no qual a madeira foi tratada com mistura CCB (testemunha superior), produto reconhecido no mercado, que apresentou a perda de 2,67% do peso inicial.

Scalbert (1991) também encontrou poder inibitório semelhante em outros extratos naturais de plantas. Bernardis e Popof (2009) também relataram que sais minerais combinados com extrativos geram reduções significativas em perdas de massa contra *Pycnoporus sanguineus*.

Os incrementos apresentados indicam uma diferença da perda de massa dos tratamentos estudados com as testemunhas. A testemunha inferior perdeu quase 22,0% a mais de massa do que o tratamento onde a madeira foi tratada com tanino, sendo uma diferença expressamente significativa, próxima até da diferença obtida entre as testemunhas superior e inferior, onde a segunda perdeu mais de 25% de massa em relação a superior. Ao comparar as doses de tanino com a testemunha superior, nota-se que mesmo sendo estatisticamente diferentes, os tratamentos apresentaram comportamento muito semelhante, deixando evidente a capacidade preservante do tanino.

Roux et al. (1980) e Roux (1992), após avaliarem a alta atividade antifúngica de extrativos da espécie Quebracho vermelho, concluíram que a mesma está relacionada com o alto teor de tanino presente em sua constituição, este que representa 33% da sua casca.

De acordo com Kollmann (1959), é preciso enfatizar que, apesar da relação entre o teor (quantidade) de extrativos com o potencial de resistência natural de algumas espécies, conforme descrito por Carneiro et al. (2009), este não é o único fator determinante. As classes químicas (qualidade) dos extrativos são tão importantes quanto a quantidade (PAES et al., 2007; ARCHER; LEBOW, 2006). De acordo com Walker (2006), a durabilidade natural da madeira está relacionada, principalmente, com a concentração de extrativos fenólicos (taninos, fenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas e polifenóis).

Apesar de a acácia negra ser conhecida pela produção de tanino, o extrato está presente em grande maioria na sua casca e em baixas porcentagens no cerne, tornando interessante o fato do tratamento da madeira ter sido tratada com o próprio extrativo, e este ter elevado sua classificação de moderada resistência para muito resistente quando exposta ao ataque do fungo causador de podridão branca.

6.3.2 Composição química

Os contrastes com as médias referentes à constituição química da madeira de *Acacia mearnsii*, antes e depois do apodrecimento, estão dispostos na Tabela 4. Os tratamentos foram contrastados com as testemunhas inferior e superior, que se refere, respectivamente, ao material exposto ao fungo sem nenhum tratamento e a madeira sem ter sido submetida ao ensaio de apodrecimento acelerado.

Tabela 4 - Contrastes das médias dos constituintes químicos.

Contrastes	Média x Média	Incremento
(continua)		
Extrativos		
Testemunha Inferior x T1	3,96 x 6,12	-2,16
Testemunha Inferior x T2	3,96 x 6,54	-2,58
Testemunha Inferior x T3	3,96 x 4,62	-0,66
T. Inferior x T. Superior	3,96 x 4,38	-0,42
Testemunha Superior x T1	4,38 x 6,12	-1,74
Testemunha Superior x T2	4,38 x 6,54	-2,16
Testemunha Superior x T3	4,38 x 4,62	0,23
Lignina		
Testemunha Inferior x T1	22,86 x 26,94	-4,08
Testemunha Inferior x T2*	22,86 x 27,50	-4,64
Testemunha Inferior x T3*	22,86 x 27,55	-4,69
T. Inferior x T. Superior*	22,86 x 28,21	-5,35
Testemunha Superior x T1	28,21 x 26,94	1,27
Testemunha Superior x T2	28,21 x 27,50	0,71
Testemunha Superior x T3	28,21 x 27,55	0,66
Holocelulose		
Testemunha Inferior x T1*	60,11 x 69,7	-9,57
Testemunha Inferior x T2*	60,11 x 70,36	-10,25

Tabela 4 - Contrastes das médias dos constituintes químicos.

Contrastes	Média x Média	(conclusão)
		Incremento
Holocelulose		
Testemunha Inferior x T3*	60,11 x 73,37	-13,26
T. Inferior x T. Superior*	60,11 x 73,01	-12,9
Testemunha Superior x T1*	73,01 x 69,7	3,31
Testemunha Superior x T2*	73,01 x 70,36	2,65
Testemunha Superior x T3	73,01 x 72,37	0,64
Hemicelulose		
Testemunha Inferior x T1*	26,84 x 28,28	-1,44
Testemunha Inferior x T2*	26,84 x 28,67	-1,83
Testemunha Inferior x T3*	26,84 x 28,87	2,03
T. Inferior x T. Superior*	26,84 x 29,23	2,39
Testemunha Superior x T1	29,23 x 28,28	0,95
Testemunha Superior x T2	29,23 x 28,67	0,56
Testemunha Superior x T3	29,23 x 28,87	0,36
Celulose		
Testemunha Inferior x T1*	33,26 x 41,41	-8,15
Testemunha Inferior x T2*	33,26 x 41,68	-8,42
Testemunha Inferior x T3*	33,26 x 43,49	-10,23
T. Inferior x T. Superior*	33,26 x 43,77	-10,51
Testemunha Superior x T1*	43,77 x 41,41	2,36
Testemunha Superior x T2*	43,77 x 41,68	2,09
Testemunha Superior x T3	43,77 x 43,49	0,28

T1 – tratamento com tanino 5%; T2 – tratamento com tanino 10%; T3 – tratamento com mistura CCB; Testemunha inferior – madeira sem preservante; Testemunha superior – amostra controle, sem tratamento e sem exposição; * Significativo pelo teste T à 5%.

Segura (2010) descreve os valores dos principais constituintes da madeira de *Acacia mearnsii*, com as seguintes porcentagens: Holocelulose 72,26%, Lignina 23,48% e extrativos 4,25%, resultados estes semelhantes com as médias encontradas nas amostras controle (testemunha superior).

O teor de extrativos não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, sendo possível observar maiores porcentagens nos tratamentos T1 e T2, resultado que pode ser explicado pelo fato da madeira ter sido tratada pelo extrato tânico, este que é produzido pela própria espécie.

A lignina apresentou variações nos resultados, onde o T1 não diferiu com a testemunha inferior, mesmo tendo apresentado um incremento de mais de 4% sobre

a mesma. Os tratamentos utilizando tanino 5% de concentração e mistura CCB se mostraram diferentes estatisticamente da testemunha inferior e todos os tratamentos avaliados mostraram eficiência em preservar a lignina, pois não diferiram das amostras controle (testemunha superior).

Quanto aos teores de holocelulose, com exceção da comparação entre a Testemunha superior x T3, todos os contrastes foram significativos, indicando a superioridade dos tratamentos T1 e T2 com relação a Testemunha inferior. Porém, os tratamentos com o extrativo apresentaram-se abaixo do T3, evidenciando uma ligeira superioridade do preservante químico perante o produto natural.

No entanto, quando analisado a parte o constituinte hemicelulose, percebe-se que os tratamentos não diferiram estatisticamente em relação a testemunha superior, além de reduzirem significativamente a perda deste teor em relação a testemunha inferior. Quando analisados as médias da celulose, observa-se também que todos os tratamentos com o extrato tânico diminuíram significativamente a decomposição desse constituinte. Mesmo não sendo significativamente iguais ao tratamento químico quando comparados à testemunha superior, os tratamentos naturais se mostraram numericamente próximos.

Em nível microscópico, podem-se diferenciar dois modos distintos de decomposição da célula vegetal pelos fungos de podridão branca. O primeiro, é classificado como seletiva, sendo as hemiceluloses e lignina preferencialmente deterioradas, em especial nos estágios iniciais. O outro, mais comum, é denominado de deterioração simultânea, onde os carboidratos e lignina são atacados de modo igual (WORRALL et al, 1997; ARANTES; MILAGRES, 2009). Com base nos dados apresentados e de acordo com os autores foi identificada a decomposição simultânea dos componentes da madeira, ocorrendo as maiores reduções nos teores de lignina e celulose.

Os valores referentes ao teor de extrativo não apresentaram redução expressiva nos seus teores após os 3 meses de ensaio, enquanto os teores de lignina e holocelulose chegaram a perder de 5 a 10%, respectivamente, do seu teor inicial. Segundo Schmidt (2006), a complexidade da parede celular, a sua composição química, assim como os diferentes mecanismos enzimáticos dos fungos apodrecedores, está diretamente associada com a decomposição da madeira.

De acordo Eaton e Hale (1993), a degradação da celulose na parede secundária é a principal responsável pela perda de resistência mecânica da madeira

atacada por fungos. De fato, em razão da sua estrutura, a celulose é caracterizada como sendo o constituinte químico responsável pela resistência mecânica da madeira (KLOCK et al., 2005). Essa conceituação pode ser corroborada no presente estudo ao considerar o decréscimo acentuado na intensidade com a exposição ao fungo *Pycnoporus sanguineus*.

6.3.3 Dureza Rockwell

Na Tabela 5 está apresentada a análise da variância das médias do teste da Dureza de Rockwell da madeira de *Acacia mearnsii* tratada com o preservativo natural tanino em duas concentrações, com a mistura CCB e testemunha inferior e superior: a primeira sem nenhum tipo de tratamento e exposta ao fungo (resistência natural) e a segunda sem exposição ao fungo (controle).

Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) para o teste de Dureza de Rockwell.

Fator de variação	GL	SQ	QM	Fc	P>F
Tratamento	4	553,04	138,26	21,6	<0,0001
Erro	45	288,1	6,4		
Total	49	841,15			
Média	24,5				
CV	2,79				
R ²	0,95				

Os tratamentos apresentaram significância na variância, devido a isso as médias foram comparadas por contrastes ortogonais. Baseado na Tabela 6, todos os contrastes foram significativos de acordo com teste T à 5% de significância.

Tabela 6 - Contrastes ortogonais para o teste de Dureza de Rockwell.

Contraste	Média x Média	Incremento
Testemunha Inferior x T1*	84,47 x 90,67	-6,2
Testemunha Inferior x T2*	84,47 x 91,61	-7,14
Testemunha Inferior x T3*	84,47 x 92,04	-7,57
T. Inferior x T. Superior*	84,47 x 94,43	-9,96
Testemunha Superior x T1*	94,43 x 90,67	3,76
Testemunha Superior x T2*	94,43 x 91,61	2,82
Testemunha Superior x T3*	94,43 x 92,04	2,39

T1 – tratamento com tanino 5%; T2 – tratamento com tanino 10%; T3 – tratamento com mistura CCB; Testemunha inferior – madeira sem preservante; Testemunha superior – amostra controle, sem tratamento e sem exposição; * Significativo pelo teste T à 5%.

As amostras controle (testemunha superior) apresentaram em média grau de dureza de 94,43 até deformação do material, enquanto que a testemunha inferior o valor médio decresceu para 84,47. Os tratamentos apresentaram-se numericamente próximos, ao passo que o incremento do preservativo químico apresentou grau de dureza 7,57 a mais que a testemunha inferior, seguidos pelo T2 e T1 com 7,14 e 6,2 respectivamente. Quando comparada a testemunha superior aos tratamentos utilizando o tanino, continua-se obtendo bons resultados quando relacionados ao CCB. O T1 foi o tratamento que apresentou maior redução da propriedade dureza, com uma diminuição de 3,76, enquanto os tratamentos T2 e T3 apresentaram reduções próximas entre 2,4 e 2,8, respectivamente. É importante salientar que mistura química é comercializada com a finalidade de preservação da madeira e a proximidade nos resultados da mesma com o tanino norteia a possibilidade da introdução de um produto natural com eficiência muito semelhante.

Segundo Eaton e Hale (1993) a alta concentração de extrativos, em especial os de caráter fenólico, como é o caso do tanino, está diretamente relacionado com elevada durabilidade natural de algumas madeiras. Razão que pode explicar maior resistência no ensaio de dureza, após período de exposição ao fungo do material tratado com extrato tânico.

É interessante destacar que os fungos da classe dos Basidiomicetos apresentam como uma de suas principais características a capacidade das hifas ramificarem-se através da estrutura tridimensional da madeira, de modo a provocar a formação de pequenas cavidades nas paredes celulares. Esse processo é acompanhado pela produção de enzimas extracelulares capazes de decompor as

paredes celulares, utilizando-as como fonte de nutrição (ARCHER; LEBOW, 2006). Desta forma, o desenvolvimento inicial do fungo leva a perdas consideráveis nas propriedades de resistência mecânica, estas que ocorrem antes mesmo da madeira começar a perder massa pela ação efetiva dos organismos, situação essa que torna os ensaios de resistência mecânica os mais indicados para avaliação da resistência (MACHEK et al. 2001).

6.4 Conclusões

Com base nos resultados expostos e discutidos acerca do efeito preservativo do extrato tânico na biodeterioração da madeira de *Acacia mearnsii* submetida a ação do fungo apodrecedor *Pycnoporus sanguineus*, pode-se concluir que:

A resistência natural da madeira é classificada como moderada.

Os tratamentos utilizando tanino 5 e 10% apresentaram resultados semelhantes ao tratamento com CCB, elevando a resistência biológica da madeira para a classificação muito resistente

Em relação à análise química, a decomposição não exerceu influência significativa no teor de extrativos. Com relação ao teor de holocelulose e lignina, os tratamentos naturais se mostraram satisfatórios para preservar estes componentes, ao passo que apresentaram pequena variação em relação ao tratamento químico.

Assim como as demais avaliações, o teste de dureza foi útil para evidenciar o potencial do extrato tânico na resistência biológica da madeira de acácia.

De modo geral, através dos resultados apresentados pode-se considerar o tanino um preservativo natural em potencial, sendo recomendada a realização de novas avaliações considerando outras espécies, bem como com outros organismos e avaliações sobre sua fixação na madeira.

6.5 Referências bibliográficas

AGOSTINI, B. M. **Determinação das propriedades mecânicas da madeira.** Laboratório de Resistência dos Materiais. 20 p. 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D. 2017: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v. 410, p. 313 – 317, 1994.

ARANGO, A. R. et al. Natural Durability of Tropical and Native Woods against Termite damage by *Reticulitermes Flavipes*. USDA. Forest service. **International Biodeterioration and Biodegradation** 57: 146-150. 2005.

ARANTES V.; MILAGRES, A. M. F. Relevância de compostos de baixa massa molar produzidos por fungos e envolvidos na biodegradação da madeira. **Química Nova**. 32(6): 1586-1595. 2009.

ARAÚJO, H. J. B.; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. de. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 1, p. 49 – 58. 2012.

ARCHER, K.; LEBOW, S. Wood preservation. In: WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: principles and practice**. Dordrecht: Springer. p.297-338. 2006.

BARBOSA, A. P.; NASCIMENTO, C. S.; MORAIS, J. W. Estudos de propriedades antitermíticas de extratos brutos de madeira e casca de espécies florestais da Amazônia central, Brasil. **Acta Amazonica**, v.37, n.2, p. 213-218, 2007.

BARNES, H. M. **Wood Protecting Chemicals from the 21st century**. International Research Group on wood preservation, 24th Annual Conference Meeting at Orlando, Florida, USA, 16-20 May 1992, IRG/WP 93-30018.29 p. 1992.

BERNARDIS, A. C., POPOFF, O. Durability of *Pinus elliottii* wood impregnated with quebracho Colorado (*Schinopsis balansae*) bio-protectives extracts and CCA. **Maderas - Ciencia y tecnologia**, v.11, n.2, p. 107-115, 2009.

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

COSTA, A. F.; SILVA, G. F.; ESCUDEIRO, M. C. Estudo comparativo entre produtos químicos preservantes e licores pirolenhosos na inibição de fungos emboloradores. **Brasil Florestal**, n. 75, jan. 2003.

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

HINTERSTOISSER, B.; STEFKE, B.; SCHWANNINGER, M. Wood: Raw material-material-Source of Energy for the future. **Lignovisionen** 2: 29-36. 2000.

KITYO, P. W.; PLUMPTRE, R. A. **The Uganda Timbers users Handbook**. A guide to better timber use. Common Wealth Secretariat. London. 31p. 1997.

KLOCK, U. et al. **Manual didático – química da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 85p. 2005.

KOLLMANN, F. **Tecnologia de la madeira y sus aplicaciones**. Madrid: Gráficas Reunidas S.A. 674p. 1959.

LEÃO, M. A. **Fibras de Licuri: um reforço alternativo de compósitos poliméricos**. Dissertação de mestrado. 2008.

MACHEK, L.; MILITZ, H.; SIERRA-ALVAREZ, R. The use of an acoustic technique to assess wood decay in laboratory soil-bed tests. **Wood Science and Technology**, v.34, p.467-472, 2001.

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.

ONUORAH, E. O. The Wood preservative potentials of heartwood extracts of *Milícia excelsa* and *Erythrophleum suaveolens*. **Bioresource Technology**, n. 75, p. 171-173, 2000.

PAES, J. B.; MELO, R. R.; LIMA, C. R. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. **Cerne**, v.13, n.2 p.160-169, 2007.

PAES, J. B. et al. Eficiência do tratamento preservativo na resistência da madeira de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) a organismos xilófagos. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 52, n. 1, p. 85-91, 2008

ROUX, D. G.; FERREIRA, D.; BOTHA, J. J. Structural considerations in predicting the utilization of tannins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 28, 216-222. 1980.

ROUX, D. G. Reflections on the chemistry and affinities of the major commercial condensed tannins in the context of their industrial use. In: Hemingway, R.W., Laks, P.E. (Eds.), **Plant Polyphenols**. Plenum Press, New York, USA, pp. 7e39. 1992.

SAS INSTITUTE – **Statistical Analysis System**. SAS/STAT User's Guide 8.0. North Caroline, NC: SAS Institute Inc., 3365p. 1999.

SCALBERT, A. **Antimicrobial properties of tanin**. *Phytochem* 30, 3875 - 3883. 1991.

SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi**. Springer; Berlin. p. 119-133. 2006.

SCHULTZ, T. P.; NICHOLAS, D. D. Development of Environmentally-benign Wood Preservatives based on the Combination of Organic Biocides with Antioxidants and Metal chelators. **Phytochemistry** 61: 555-560, 2002.

SEN, S.; TASCIOGLU, C.; TIRAK, K. Fixation, leachability, and decay resistance of wood treated with some commercial extracts and wood preservative salts. **International Biodeterioration & Biodegradation**, n. 63, p.135-141, 2009.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **TAPPI Test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1, 1992.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1. 1996.

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

TAPPI T 222 om-02. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. 2002. Disponível em: < <http://cnr.ncsu.edu/wpsanalytical/documents/T222.PDF>>. Acesso em: 01 agosto de 2013.

TAPPI T 203 cm-99. **Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp** (Reaffirmation of T 203 cm-99). 2009. Disponível em: <<http://www.tappi.org/content/tag/sarg/t203.pdf>>. Acesso em: 01 de agosto 2013.

VITAL, B. R.; SHIMADA, A. N.; VALENTE, O. F.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. dos S. Avaliação dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden como preservativo de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n.2, p. 245-256, 2001.

WALKER, J. C. F. **Primary Wood Processing. Principles and Practice**. 1st Edition. Chapman and Hall. 285pp. 1993.

WALKER C. F. J. **Primary Wood Processing**. Dordrecht, Springer: 602 p. 2006.

WORRALL, J. W.; ANAGNOST, S. E.; ZABEL, R. A. Comparison of wood decay among diverse lignicolous fungi. **Mycologia**. 89:199–219. 1997.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O extrativo tanino, extraído da espécie Acácia negra contém poder tóxico ao fungo apodrecedor *Pycnoporus sanguineus*, causador de podridão branca em madeiras. Quando o produto é impregnado na própria acácia é capaz de elevar sua classificação de resistência. Quando comparado com a mistura CCB, produto químico já comercializado com finalidade de preservação mostra igual desempenho.

Portanto, é preciso expandir esta pesquisa, avaliando outras espécies, inibição a outros organismos decompositores, avaliar as demais propriedades da madeira, assim como tratar madeiras roliças e de maiores dimensões para avaliar a melhor maneira de fixar o produto.

Por se tratar de um produto natural, caso confirme-se os resultados expostos nesse trabalho, será um valioso ganho ambiental e social.