

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE FLORESTAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**Efeito preservativo de produtos químicos naturais e do tratamento térmico na  
biodeterioração da madeira de *Pinus caribaea* Morelet**

**Juliana Grilo Teixeira  
2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**Efeito preservativo de produtos químicos naturais e do tratamento térmico na  
biodeterioração da madeira de *Pinus caribaea* Morelet**

**JULIANA GRILO TEIXEIRA**

*Sob a Orientação do Professor*  
**João Vicente de Figueiredo Latorraca**

*e Co-orientação do Professor*  
**Juarez Benigno Paes**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

**JULIANA GRILO TEIXEIRA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 29/02/2012

---

João Vicente de Figueiredo Latorraca. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Graziela Baptista Vidaurre. Prof. Dra. UFES

---

Alexandre Monteiro de Carvalho. Prof. Dr. UFRRJ

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Carlos Roberto de Oliveira Teixeira e Gely Grilo Teixeira e ao meu irmão Daniel Grilo Teixeira, por todo o amor e carinho e por serem a base de apoio que sempre me fortaleceu. Por terem me apoiado, sempre, desde 2004, quando passei no vestibular para a Rural. Por sempre terem confiado e acreditado que eu estava no caminho certo. Por terem me apoiado, quando a distância de casa me levava ao questionamento sobre a minha decisão, e por sempre me fazerem enxergar que com toda certeza, independente da distância, eles nunca me faltariam e de que SIM, eu deveria continuar. Hoje, chego nesse novo momento graças especialmente a eles, que me ensinaram a ser forte e acreditar nos meus sonhos e mais essa vitória dedico a vocês, família.

Ao meu namorado Gustavo Wyse Abaurre, por ter sido esse maravilhoso presente de Deus. Seu exemplo de esforço e dedicação àquilo que faz é simplesmente inspirador. Você é a prova de que se tivermos amor àquilo que fazemos não precisaremos trabalhar nunca! Agradeço pelo seu bom humor eterno, por estar sempre pensando positivo e me mostrando o lado bom de todas as pessoas e situações, e PRINCIPALMENTE por toda sua PACIÊNCIA e DOAÇÃO. A sua presença me faz cada dia mais forte!  
Te amo!

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Instituto de Florestas, pela oportunidade de realizar o curso na Área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Ao professor João Vicente de Figueiredo Latorraca, por sua valiosa orientação, pela compreensão e pelas sugestões.

À FURNAS, em especial ao Dr. Iraudi Machado da Silva Mendes, ao Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicação (CPqD), em especial a Dr<sup>a</sup>. Sirney Silveira e a MADEM, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto.

Ao Laboratório de Degradação da madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao professor Juarez Benigno Paes, pela sua incrível disposição para ajudar, pelas ideias e pelas críticas.

À empresa Citróleo – Indústria e Comércio de Óleos Essenciais Ltda., pela doação dos resíduos da candeia para realização da pesquisa.

## RESUMO

TEIXEIRA, Juliana Grilo. **Efeito preservativo de produtos químicos naturais e do tratamento térmico na biodeterioração da madeira de *Pinus caribaea* Morelet.** 20012. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2012.

A utilização de madeiras oriundas de reflorestamentos submetidas a um tratamento preservativo vem se tornando cada vez mais comum para a substituição das madeiras nativas com elevada durabilidade natural. Entretanto, o uso de produtos químicos, tradicionalmente utilizados na preservação da madeira, vem sofrendo severas restrições face às legislações ambientais cada vez mais restritivas. Dessa forma, torna-se extremamente necessário a busca de novos produtos e tratamentos preservativos que apresentem baixa toxicidade ao homem e baixo impacto ambiental. Esse trabalho teve como objetivo avaliar o tratamento químico e o tratamento térmico da madeira de *Pinus caribaea* Morelet a partir da utilização dos produtos naturais óleo de nim, terpenos de candeia e resina de bisabolol, além da combinação destes dois últimos na relação de 1:1. Os produtos foram utilizados nas concentrações de 5 e 50 %. A retificação térmica da madeira foi realizada numa câmara térmica utilizando-se as temperaturas de 150 e 170°C por um período de 2 e 3 horas. A durabilidade da madeira tratada foi avaliada frente à exposição destas ao ataque de fungos xilófagos de podridão branca (*Trametes versicolor*) e podridão parda (*Postia placenta*, *Neolentinus lepideus*). Para efeito de comparação, amostras de madeiras não tratadas e tratadas com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) e Borato de Cobre Cromatado (CCB) foram expostas aos mesmos tipos de fungos xilófagos. As amostras de madeiras utilizadas foram retiradas da região próxima à medula e próxima à casca, visando avaliar o efeito da variação radial da madeira nos tratamentos. A eficiência de cada tratamento foi determinada pelo cálculo da perda de massa ocorrida após o ensaio de biodeterioração. No tratamento térmico, a perda de massa, após o ataque dos fungos, decresce com o aumento da temperatura e do tempo de exposição. Apesar dessa melhora, o tratamento térmico não se mostrou eficiente na prevenção do ataque dos fungos chegando a atingir valores de perda de massa igual ou superior aquelas encontradas para a madeira não tratada. Para os tratamentos realizados com os produtos naturais houve melhoras estatisticamente significativas no que se refere à perda de massa. A concentração 50 % foi a que apresentou o melhor resultado para todos os produtos, especialmente quando se utilizou a madeira da região próxima a casca. De acordo com a ASTM D - 2017 (ASTM, 2005), todos os produtos naturais utilizados conferiram melhoria na durabilidade da madeira, a qual pôde ser classificada após o tratamento como resistente e altamente resistente. Tecnicamente, os produtos naturais estudados apresentam potencial para substituição dos produtos químicos tradicionalmente utilizados na preservação de madeira.

**Palavras chave:** Óleos naturais, termoretificação, fungos.

## ABSTRACT

TEIXEIRA, Juliana Grilo. **Preservative effect of natural chemicals and heat treatment on the biodegradation of the wood of *Pinus caribaea* Morelet**. 2012. 59 p. Dissertation (Master's Degree in Forestry and Environmental Science). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2012.

The use of wood originated reforestation undergo a preservative treatment is becoming increasingly common for the replacement of native woods with high natural durability. However, the use of chemicals traditionally used in wood preservatives, has suffered severe restrictions against more restrictive environmental laws. Thus, it becomes extremely necessary to seek new products and preservative treatments that have low toxicity to humans and low environmental impact. This study aimed to evaluate the chemical and thermal treatment of the wood of *Pinus caribaea* Morelet from the using of natural products from Nim Oil, candle terpenes and bisabolol resin, besides the combination of these last two to the ratio of 1:1. The products were used in concentrations of 5 and 50%. The temperature of the wood grinding was performed using a thermal camera of the temperatures 150 and 170 ° C for a period of 2 to 3 hours, the treated wood The durability was evaluated freight exposure of these to attack by wood decay fungi, white rot (*Trametes versicolor*) and brown rot (*Postia placenta*, *Neolentinus lepideus*). For comparison, samples of untreated wood and treated with CCA and CCB were exposed to the same types of wood decay fungi. The wood samples used were taken from the region near the bone and also near the bark, to evaluate the effect of radial variation of wood in chemical and thermal treatment. The effectiveness of each treatment was determined by calculating the weight loss occurring after the biodegradation test. The results showed that for the heat treatment, the weight loss after the attack of fungi, decreases with increasing temperature and exposure time. Despite the improvement in the thermal treatment was not efficient in preventing fungal attack coming reach values of mass loss equal to or higher than those found for untreated wood. For the treatments carried out with natural products were statistically significant improvements in relation to weight loss. The 50% concentration showed the best result for all products, especially when using the wood of the region near the shell. According to ASTM D - 2017 (2005), all natural products used gave improvement in durability of the wood, which may be classified after treatment as resistant and highly resistant. Technically, natural products studied have the potential to replace the chemicals traditionally used in wood preservatives used on spools.

**Keywords:** Natural oils, heat treatment, fungi.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estrutura química da azadiractina (Fonte: Silva, 2010).....	6
<b>Figura 2:</b> Estrutura química do $\alpha$ -Bisabolol. (Fonte: SILVA, 2009). .....	7
<b>Figura 3:</b> Desdobro das toras. (A). Tábuas com destaque para região central (amarela) e externa (sem cor), possibilitando identificar a região de procedência de cada uma delas (B). .....	14
<b>Figura 4:</b> Estufa de secagem convencional do Laboratório de Física e Secagem da Madeira. .....	14
<b>Figura 5:</b> Sarrafos com 2 cm de largura, 2 cm de espessura e 1m de comprimento com as marcações que especificam procedência quanto árvore e região do lenho (central ou externa). .....	15
<b>Figura 6:</b> Solução de resina de bisabolol na concentração de 60% (A) e 50% (B). .....	17
<b>Figura 7:</b> Dessecador adaptado com bomba de vácuo utilizado para realização do tratamento preservativo (A); detalhe para a válvula de liberação do vácuo e para o vacuômetro (B). .....	17
<b>Figura 8:</b> Ensaio de degradação acelerada em laboratório. Frascos de vidro de 500 ml de capacidade, no momento onde foram adicionados dois alimentadores de madeira de <i>Pinus</i> sp.(a). Culturas puras de fungos de podridão branca e podridão parda inoculadas sobre os alimentadores (b). Frascos com cultura de fungo desenvolvida no momento onde os corpos de prova foram adicionados (c). Frascos sendo mantidos em sala climatizada ( $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ de umidade relativa) (d). .....	19
<b>Figura 9:</b> Valores médios de perda de massa causada pelo ataque dos fungos xilófagos em relação ao fator posição.....	32
<b>Figura 10:</b> Valores médios de perda de massa causada pelo ataque dos fungos xilófagos em relação ao fator produto.....	34
<b>Figura 11:</b> Valores médios de perda de massa causada pelo ataque dos fungos xilófagos em relação ao fator concentração.....	35

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Formulações do Arseniato de Cobre Cromatado - CCA .....	12
<b>Tabela 2:</b> Composição do Borato de Cobre Cromatado expressa em ingredientes ativos .....	13
<b>Tabela 3:</b> Delineamento experimental.....	15
<b>Tabela 4:</b> Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos.....	20
<b>Tabela 5:</b> Valores médios de perda de massa causada pelo ataque de fungos xilófagos em madeiras de <i>Pinus caribaea</i> não tratadas .....	20
<b>Tabela 6:</b> Valores médios de perda de massa causada pelo ataque do fungo <i>Postia placenta</i> em madeiras tratadas termicamente.....	21
<b>Tabela 7:</b> Valores médios de perda de massa causada pelo ataque do fungo <i>Neolentinus lepideus</i> em madeiras tratadas termicamente .....	23
<b>Tabela 8:</b> Valores médios de perda de massa causada pelo ataque do fungo <i>Trametes versicolor</i> em madeiras tratadas termicamente .....	24
<b>Tabela 9:</b> Valores médios de perda de massa causada pelo ataque de fungos xilófagos em madeiras tratadas quimicamente com CCA e CCB.....	27
<b>Tabela 10:</b> Valores médios de Perda de massa causada pelo ataque do fungo <i>Postia placenta</i> para cada fator e suas interações.....	29
<b>Tabela 11:</b> Valores médios de Perda de Massa causada pelo ataque do fungo <i>Neolentinus lepideus</i> para cada fator e suas interações .....	31
<b>Tabela 12:</b> Valores médios de perda de massa causada pelo ataque do fungo <i>Trametes versicolor</i> para cada fator e suas interações. ....	33



## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
2.1 O Tratamento Preservativo da Madeira .....	2
2.2 Produtos Preservativos da Madeira.....	3
2.3 Novos Produtos Preservativos de Madeira .....	4
2.3.1 Nim ( <i>Azadirachta indica</i> A. Juss).....	5
2.3.2 Candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) Macleish.) .....	6
2.4 Agentes Degradadores da Madeira.....	7
2.5 Fungos Degradadores da Madeira.....	8
2.6 <i>Pinus caribaea</i> Morelet.....	9
2.7 Tratamento Térmico .....	10
2.8 Arseniato de Cobre Cromatado .....	12
2.9 Borato de Cobre Cromatado (CCB).....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Seleção das Árvores e Obtenção dos Corpos de Prova .....	13
3.2 Delineamento Experimental .....	15
3.3 Tratamento Térmico .....	16
3.4 Produtos e o Tratamento Preservativo.....	16
3.5 Ensaio de Degradação Acelerada em Laboratório.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
4.1 Durabilidade Natural da Madeira de <i>Pinus Caribaea</i> .....	19
4.2 Tratamento Térmico .....	20
4.2.1 Resistência da madeira <i>Pinus caribaea</i> tratada termicamente, ao fungo <i>Postia placenta</i> .....	20
4.2.2 Resistência da madeira de <i>Pinus caribaea</i> tratada termicamente, ao fungo <i>Neolentinus lepideus</i> .....	22
4.2.3 Resistência da madeira de <i>Pinus caribaea</i> tratada termicamente, ao fungo <i>Trametes versicolor</i> .....	23
4.2.4 Discussão sobre o tratamento térmico na resistência da madeira de <i>Pinus caribaea</i> .....	24
4.3 Tratamento Químico .....	25
4.3.1 Resistência da madeira de <i>Pinus caribaea</i> - tratamento químico com cca e ccb .....	26

<b>4.3.2 Resistência da madeira de <i>Pinus caribaea</i> tratada quimicamente, ao fungo <i>Postia placenta</i> .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.3 Resistência da madeira de <i>Pinus caribaea</i> tratada quimicamente, ao fungo <i>Neolentinus lepideus</i>.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3.4 Resistência da madeira de <i>Pinus caribaea</i> tratada quimicamente, ao fungo <i>Trametes versicolor</i>.....</b>	<b>32</b>
<b>4.3.5 Considerações sobre o tratamento químico .....</b>	<b>34</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>6 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma alternativa viável para minimizar o processo de exploração de florestas nativas é a utilização de madeiras provenientes de plantios florestais submetidas a um tratamento preservativo.

A preservação da madeira consiste na aplicação de tratamentos que ampliam seu tempo de vida. O objetivo principal se concentra na tentativa de proteger a madeira contra o ataque de agentes biológicos de deterioração como, por exemplo, fungos, insetos, e agentes marinhos, de modo a conseguir aumentar seu tempo de uso. A utilização dessa madeira que após tratada apresenta maior durabilidade faz com que as substituições sejam necessárias após um maior período de tempo, diminuindo assim os custos.

Confrontando com a necessidade de utilização de tratamentos preservativos, o uso de produtos químicos, tradicionalmente utilizados na preservação da madeira, vem sofrendo severas restrições face às legislações ambientais cada vez mais severas. Assim, o desenvolvimento de métodos que permitam uma avaliação mais rápida dos novos produtos químicos, para substituição dos testes de campo com grande período de tempo, e a obtenção de produtos que tenham baixa toxicidade para mamíferos, com baixo impacto ambiental, são alguns dos fatores fundamentais que devem ser considerados para o sucesso técnico, econômico e ambiental de novos produtos preservantes da madeira (STRATEGIS, 2004).

A experiência acumulada no Brasil com a preservação da madeira de *Eucalyptus* é grande, mas são poucos os estudos com madeira de *Pinus* (JANKOWSKY et al., 1993). Assim, devido à disponibilidade da madeira, suas limitações quanto à durabilidade, e a exigência cada vez maior pela busca de novos produtos preservativos que apresentem reduzido impacto ambiental e baixa toxicidade ao homem, amplia-se a necessidade do desenvolvimento de novas técnicas para consolidação do uso desta madeira pela indústria.

Desta forma, esta pesquisa teve os seguintes objetivos:

- Avaliar a eficiência de produtos alternativos, quando comparados aos produtos Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) e Borato de Cobre Cromatado (CCB) no que se refere à resistência da madeira da espécie *Pinus caribaea* Morelet ao ataque de fungos de podridão branca e podridão parda em condições de laboratório.
- Avaliar o efeito do tratamento térmico em relação à suscetibilidade da madeira a fungos xilófagos.
- Avaliar o efeito da variação radial da madeira no que se refere à durabilidade da madeira.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O Tratamento Preservativo da Madeira

Hoje, a maior parte das espécies de madeiras amazônicas consideradas tradicionais e mais conhecidas no mercado consumidor, tem tido sua ocorrência natural bastante reduzida e está 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).

No mesmo trabalho, os autores afirmam que obedecendo à lei da oferta e da procura, a escassez das madeiras nativas de alta durabilidade natural nas florestas de produção resulta na elevação do valor comercial no mercado consumidor. Atualmente, por exemplo, o preço de mourões e estacas de madeiras nativas está em níveis muito elevados, o que, economicamente, tem inviabilizado seu uso. Diante disso, a substituição dessas espécies por espécies plantadas de rápido crescimento devidamente tratadas, como o eucalipto, apresenta-se como uma excelente alternativa para o problema.

O tratamento de madeira no Brasil começou a ser propagado em 1909 quando foram feitas as primeiras tentativas de emprego de eucalipto como poste e que culminaram, em 1935, com sua utilização pela Companhia Telefônica Brasileira. De lá pra cá os estudos sobre tratamento de madeira evoluíram e hoje se tem uma grande quantidade de métodos e de produtos de preservação disponíveis para uso. Atualmente, já se consegue preservar por até 40 anos madeiras tidas como de fácil apodrecimento como, por exemplo, o eucalipto. Isso tem facilitado o uso de materiais oriundos de plantações florestais comerciais e aliviado a pressão sobre as florestas naturais (GALVÃO et al., 2004).

Segundo Cavalcante (1983), a preservação da madeira consiste em um conjunto de produtos, métodos, técnicas e pesquisas destinadas a alterar, medir ou estudar a durabilidade da madeira, podendo ser dividida em biológica, indireta, natural e química.

A preservação biológica é uma técnica que envolve o emprego de organismos vivos na prevenção ao ataque dos organismos xilófagos e a preservação indireta é o tratamento do meio em que a madeira está sendo utilizada com a finalidade de protegê-la (ABIMCI, 2004). Segundo Moraes (1996), a preservação natural consiste na utilização da madeira de forma a evitar a ação de agentes deteriorantes, protegendo-a do contato com o solo e das fontes de umidade; e o último método, a preservação química, é a mais conhecida e usada no campo da tecnologia da madeira, e direciona-se principalmente ao combate das ações dos agentes biodeterioradores.

Esta técnica de preservação pode ser entendida como sendo a incorporação de produtos químicos no interior de peças de madeira, com a finalidade de retardar ou prevenir o ataque de organismos xilófagos. Este tratamento serve como obstáculo tóxico à fonte de alimentos dos fungos, provocando o envenenamento dos nutrientes celulares e prevenindo a deterioração ou evitando que ela se alastre (MONTANA QUÍMICA, 1991).

A preservação química da madeira é provavelmente o método mais antigo (RICHARDSON, 1993) e, apesar dos possíveis riscos no manuseio e uso de biocidas, ainda é a forma mais usual na prevenção do ataque de xilófagos (BARILLARI, 2002).

Entre os processos de tratamento químico da madeira encontramos desde os mais simples como imersão, pincelamento, aspersão, substituição de seiva, banho quente – frio, até os mais sofisticados que utilizam vácuo e pressão (COCKROFT, 1971; DÉON, 1978).

A seleção adequada de um produto preservante é a primeira condição para conferir proteção a uma madeira de baixa durabilidade natural. Igualmente importante é a seleção do método empregado na aplicação (BARREIROS, 2011), onde essa definição deverá levar em consideração o tipo e a finalidade da madeira tratada (SANTINI, 1988).

A eficiência de um tratamento preservativo é determinada pela profundidade de penetração e pela distribuição e quantidade do produto retido pela madeira (HUNT e GARRATT, 1967). Lepage (1986), afirmou que a penetração e a retenção dos produtos na madeira são os parâmetros que fornecem o verdadeiro grau de proteção das peças, sendo ambos considerados de máxima importância no controle de qualidade do tratamento. No entanto, para Carvalho (1966) a eficácia do tratamento depende, além desses parâmetros, da toxidez do produto aos organismos xilófagos.

Considerando o controle de retenção e penetração do preservativo na madeira, a economia de tempo e conseqüentemente a garantia de uma melhor proteção, os tratamentos preservativos com pressão podem ser considerados os mais eficientes (MENDES, 1998). As madeiras tratadas por esses métodos podem ser utilizadas em qualquer situação, mesmo nas que apresentem alto índice de ataque por organismos xilófagos, como no caso de contato direto com o solo (ROCHA, 2001).

Os métodos sob pressão são os mais empregados no mundo atualmente e segundo Lepage et al. (1986), os processos convencionais de impregnação à vácuo/pressão são classificados em processos de célula cheia e de célula vazia. Essa definição se dá em função da maneira pela qual é feita a distribuição do preservativo na célula da madeira (MENDES, 1998; HUNT e GARRATT, 1953).

Algumas desvantagens desses métodos, quando comparados com os métodos sem pressão, estão relacionadas aos custos elevados de instalação, necessidade de mão de obra especializada e a necessidade do transporte da madeira até a usina (MENDES, 1998).

A principal característica dos processos de célula cheia é o uso de vácuo na fase inicial do processo de tratamento. Dessa forma, o ar presente no interior da madeira é retirado tanto quanto possível, fazendo com que o preservativo, ao ser liberado, seja sugado para o interior da madeira (RICHARDSON, 1993).

Os processos de célula vazia são aplicados quando o objetivo é alcançar profundidade de penetração com baixa retenção do produto químico (ROCHA, 2001), não ocorrendo a fase do vácuo inicial. A entrada do produto preservativo na madeira ocorre sem que aconteça a retirada do ar do interior da madeira, desta forma o ar comprimido dentro da madeira, após a liberação da pressão, se expande e expulsa parte do preservativo (MENDES, 1998). Com isso, é possível obter economia no consumo de preservativo com uma boa penetração.

## **2.2 Produtos Preservativos da Madeira**

Quando não é possível mudar as condições naturais que favorecem o desenvolvimento dos fungos, como por exemplo, diminuindo a umidade da madeira, é necessário que a mesma seja submetida a um processo de tratamento preservativo onde são aplicados produtos químicos visando torná-la inacessível aos organismos que a utilizariam como fonte de alimento. Preservativos ou preservadores de madeira são, portanto, produtos químicos introduzidos dentro da estrutura da madeira, visando torná-la tóxica aos fungos e insetos xilófagos (GALVÃO et al., 2004).

Toda substância química capaz de provocar o envenenamento dos nutrientes celulares da madeira, tornando-a, conseqüentemente, resistente ao ataque de fungos e insetos, é denominado preservativo de madeira (RICHARDSON, 1993).

Os preservantes são classificados de acordo com suas características químicas e físicas, e dessa forma podem ser divididos em dois grandes grupos, o dos preservantes oleossolúveis e oleosos e o dos preservantes hidrossolúveis (HUNT e GARRATT, 1953).

Conforme Oliveira et al. (2007), os compostos oleossolúveis são produtos que contêm misturas complexas de agentes fungicidas e inseticidas de natureza organometálica, os

oleosos são representados pelos derivados do alcatrão e os hidrossolúveis são aqueles produtos que contêm misturas de sais metálicos e não metálicos.

Para Wilkinson (1959), um bom produto preservativo deve apresentar determinadas características como, por exemplo, toxidez ao maior número possível de organismos xilófagos, deve ser resistente à lixiviação, apresentar baixa toxidez aos seres humanos e animais domésticos e não aumentar as características de combustibilidade e de inflamabilidade inerente à madeira. A solução preservativa também não deve ser corrosiva a metais e plásticos para que não existam riscos de poluição por vazamento.

Segundo Wilkinson (1959), citado por Lepage et al. (1986) a madeira preservada tem que apresentar competitividade com outros materiais. Além do baixo custo o produto também precisa ser facilmente encontrado no mercado.

### **2.3 Novos Produtos Preservativos de Madeira**

A demanda de produtos de madeira e a base de madeira vêm crescendo ano a ano sem que ocorra uma reposição nos mesmos níveis, gerando um aumento no déficit madeireiro (GERALDO, 2002). A escassez de espécies resistentes à degradação biológica obrigou o homem a utilizar outras menos duráveis, principalmente aquelas de rápido crescimento, provenientes de reflorestamentos. (PAES et al., 2005).

Porém, é sabido que em virtude da sua estrutura e constituição química, a madeira sofre o ataque de vários organismos deterioradores (HUNT e GARRATT, 1967; CAVALCANTE, 1982). A solução seria a utilização da madeira de rápido crescimento submetida a algum tratamento preservativo. Quando devidamente tratadas, essas madeiras podem apresentar vida útil em serviço igual ou superior às madeiras nobres e duras e que resistem naturalmente às intempéries e ao ataque de insetos e fungos. (GERALDO, 2002).

Em contrapartida, existe o fato de que a maioria dos produtos químicos utilizados como preservativos de madeira apresentam alta toxidez ao homem e risco ao meio ambiente o que vem provocando ao longo do tempo uma série de restrições de uso.

O arseniato de cobre cromatado (CCA), por exemplo, é o sal hidrossolúvel mais eficiente e mais usado desde 1930. Ultimamente o produto tem sofrido sérias restrições e está sendo proibido em diversos países, como Alemanha, França, Inglaterra e, recentemente, Estados Unidos (STUMP, 2006). Para Micklewright (1993), esses preservativos são os mais empregados pelas indústrias de preservação de madeira em função de sua fácil aplicação, baixo custo e da aparência clara da madeira depois de tratada.

Dessa forma, o desenvolvimento de métodos que permitam uma avaliação mais rápida dos novos produtos químicos e a obtenção de produtos que tenham baixa toxicidade para mamíferos, com baixo impacto ambiental, são alguns dos fatores fundamentais que devem ser considerados para o sucesso técnico, econômico e ambiental de novos produtos preservantes da madeira (STRATEGIS, 2004).

Uma real possibilidade mais aceitável e sustentável, do ponto de vista ecológico, é a utilização de biopesticidas naturais no tratamento preservativo da madeira. Encontrar moléculas de menor impacto ambiental é a meta perseguida pelas pesquisas nos dias atuais. Geralmente, as substâncias de origem natural são mais seguras que as sintéticas, não deixando resíduos no meio ambiente (THACKER et al., 2003) e ainda protegendo a saúde humana.

Butcher (1985) comenta que os produtos alternativos em substituição aos tradicionalmente utilizados, devem ser específicos em suas propriedades biocidas e apresentarem pouco ou nenhum impacto ambiental.

Em função das limitações impostas sobre o uso e a comercialização dos produtos preservantes tradicionalmente utilizados, e de modo a garantir a sustentabilidade do meio ambiente, a saúde humana e também de animais, têm-se observado um significativo aumento

das pesquisas com novos produtos alternativos visando diminuir a utilização de conservantes tradicionais à base de metais, como cobre, cromo, zinco, arsênio, boro e flúor, e de compostos como creosoto e aminas (COSTA, 1999; MACHADO et al., 2006).

Paes et al. (2010), estudando a eficiência do óleo de candeia na melhoria da resistência da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) a cupins, encontrou como resultado que nas retenções de 10,61 a 16,73 kg/m<sup>3</sup> (ensaio de alimentação forçada) e 38,35 a 58,22 kg/m<sup>3</sup> (ensaio de preferência alimentar), o produto foi eficiente para incrementar a resistência da madeira de sumaúma inibindo o ataque dos cupins. Nas retenções superiores a 16,73 kg/m<sup>3</sup> (ensaio de alimentação forçada) e a 58,22 kg/m<sup>3</sup> (ensaio de preferência alimentar), o óleo de candeia preveniu o ataque da madeira testada, inviabilizando o acesso dos cupins à fonte de alimento.

Ziglio (2010) avaliando o uso da oleoresina de capsaicina, extraída da pimenta Malagueta (*Capsicum frutescens*) e da pimenta Dedo-de-moça (*Capsicum baccatum*), como substância alternativa para preservação de madeiras contra o ataque do fungo *Paecilomyces variotti* (fungo de podridão mole) em madeira do gênero *Pinus* sp. e *Hymenae* sp. (Jatobá), observou que as amostras de madeira ao serem expostas aos tratamentos com os preservantes das oleoresinas de capsaicina tiveram um retardo no desenvolvimento do fungo.

De forma geral, o desenvolvimento de pesquisas sobre preservantes de madeira está em uma fase crucial, sendo necessário o seu direcionamento para a análise de produtos com menor potencial de danos ambientais e à saúde de outros organismos. Porém, apesar da eficiência comprovada de algumas alternativas ambientalmente corretas para o tratamento da madeira, as informações sobre sua viabilidade econômica ainda são difíceis de serem encontradas, ou ainda nem começaram a ser avaliadas (BRAND, 2006).

### **2.3.1 Nim (*Azadirachta indica* A. Juss)**

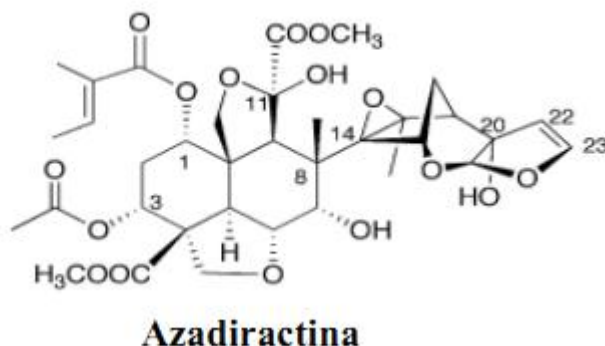
O nim pertence à família Meliaceae, que apresenta diversas espécies de árvores conhecidas pela madeira de grande utilidade, como o mogno, o cedro, a santa-bárbara, o cedrilho, a canjerana, a triquília, etc. É originário do Sudeste da Ásia e é cultivado em diversos países da Ásia, em todos os países da África, na Austrália, América do Sul e Central (MARTINEZ, 2008).

O porte da árvore pode variar de 15 a 20 m de altura, com tronco semirreto a reto, de 30 a 80 cm de diâmetro, relativamente curto e duro, com fissuras e escamas, de coloração marrom-avermelhada. O diâmetro da copa varia de 8 a 12m, podendo atingir 15 m em árvores isoladas (VERKERK e WRIGHT, 1993).

Alguns dos principais componentes biologicamente ativos do nim são azadiractina, meliantriol, limoneno, odoratone e outros triterpenóides, entre os mais de 100 compostos já isolados (SIDIQI et al., 2003). Dentre os mais de 40 terpenóides já identificados na planta que possuem ação contra insetos, a azadiractina é o composto mais eficiente (SCHMUTTERER, 1995).

A azadiractina é um complexo tetranortriterpenóide limonóide, encontrada principalmente nas sementes, e em menor quantidade na casca e nas folhas do nim, sendo o principal composto responsável pelos efeitos tóxicos aos insetos. Devido a complexidade da azadiractina, até o momento, não foi sintetizada e todos os produtos disponíveis no mercado são preparados pela extração de compostos a partir da planta (GRAINGE et al., 1985; MARTINEZ, 2002; NEVES et al., 2003). A meliantriol e a salanina (NARAGNAN et al., 1980), além da vilasinina (KRAUS et al., 1991), são também substâncias encontradas na planta de nim consideradas importantes para o controle de insetos.

A azadiractina (Figura 1) é altamente polar, sendo conseqüentemente solúvel em solvente orgânicos polares (etanol, metanol) e ligeiramente solúvel em água (MORGAN, 2009).



**Figura 1:** Estrutura química da azadiractina (Fonte: Silva, 2010).

A azadiractina atua na inibição da alimentação dos insetos, afeta o desenvolvimento das larvas e atrasa seu crescimento, reduz a fecundidade e fertilidade dos adultos, altera o comportamento, causa diversas anomalias nas células, na fisiologia dos insetos e causa mortalidade de ovos, larvas e adultos (MARTINEZ, 2002).

Além do efeito conhecido dos produtos a base de nim no controle de insetos, vale também comentar a influência que tem sobre outros organismos, como os nematóides, caramujos, crustáceos, viroses de plantas e fungos.

Segundo Mossini e Kimmelmeyer (2005), alguns autores já teriam confirmado a ação antifúngica dos extratos de nim, como por exemplo, Martinez (2002), Govindachari et al. (1999) e Neves et al. (2001) confirmando efeitos fungitóxicos *in vitro* e efeito fungistático sobre fungos fitopatogênicos dentre eles *Aspergillus flavus*, *Diaporthe phascolorum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Fusarium verticillioides* e *Sclerotinia sclerotiorum*.

Bhutta et al. (2001) ao avaliarem o efeito do nim no controle de fungos em sementes de girassol verificaram que uma solução a 1% obtida a partir de sementes de nim pôde reduzir em quase 100% a porcentagem de ocorrência de *A. alternata* nas duas cultivares estudadas, além de controlar outros fungos como *Fusarium spp.*

A azadiractina tem a vantagem de apresentar baixa toxicidade ao homem, rápida degradação no solo e nas plantas, e possuir certa seletividade para inimigos naturais (SCHMUTTERER, 1990).

A facilidade de extração das substâncias ativas do nim em água ou alcoóis, associada ao fato de não haver registros que indiquem possíveis riscos de toxicidade causados pelo nim à saúde humana, abrem amplos horizontes para sua utilização (HEDGE, 1993).

### **2.3.2 Candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish.)**

A candeia é da família Asteraceae e pertence ao grupo ecológico das pioneiras, sendo considerada precursora na invasão de campos. Ela se desenvolve rapidamente em campos abertos, formando povoamentos mais ou menos puros. Existem várias espécies de candeia, porém a *Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish e a *Eremanthus incanus* (Less.) Less são as de maior importância econômica.

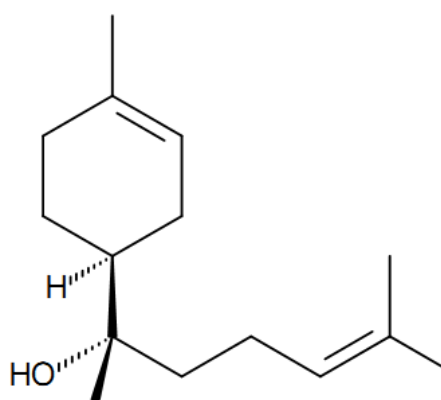
A *E. erythropappus* se desenvolve em sítios com solos pouco férteis, rasos e, predominantemente em áreas de campos de altitude, com esta variando entre 900 e 1.700 m (SCOLFARO et al., 2007). Seu crescimento é rápido em campos abertos, formando povoamentos mais ou menos puros.



Esta espécie também pode se estabelecer em floresta mesófila, após perturbações (PEDRALLI, 1997). Geralmente, os indivíduos de *E. erythropappus* encontrados dentro dessas florestas são maiores, devido à competição com as demais espécies por luz e, portanto, crescem mais que os indivíduos que formam os candeiais (SILVA, 2001).

A madeira da candeia possui múltiplos usos, porém é mais utilizada como moirão de cerca, pela sua durabilidade, e para a produção de óleo essencial, cujo principal componente, o alfabisabolol, possui propriedades antiflogísticas, antibacterianas, antimicóticas, dermatológicas e espasmódicas (SCOLFORO, 2007). A madeira da candeia é dura, resistente e apresenta odor de ácidos valerianos (TEIXEIRA et al., 1996).

Entre as candeias, a espécie mais rica em  $\alpha$ -bisabolol é a *Eremanthus erythropappus*. Quando o óleo essencial é extraído por arraste de vapor, o  $\alpha$ -bisabolol é separado dele por destilação direta e corresponde a cerca de 73% do total (GALDINO et al., 2006). A partir da Figura 2 pode-se visualizar a estrutura química do  $\alpha$ -Bisabolol.



**Figura 2:** Estrutura química do  $\alpha$ -Bisabolol. (Fonte: SILVA, 2009).

Ensaio de toxicidade realizados em ratos e camundongos mostraram que se trata de um composto atóxico para animais (CAVALIERI et al., 2004).

Segundo Paes et al. (2010), moirões de candeia são muito procurados pelos produtores rurais em função da boa resistência natural apresentada. Sua resistência natural pode estar associada ao teor de óleo existente na madeira, tendo as peças de maior diâmetro e idade um maior teor de óleos e, conseqüentemente, uma maior durabilidade natural.

Os mesmos autores, ao avaliarem a eficiência do óleo de candeia na melhoria da resistência da madeira de sumaúma a cupins concluíram que o óleo de candeia (*E. erythropappus*) nas retenções de 10,61 a 16,73 kg/m<sup>3</sup> (ensaio de alimentação forçada) e 38,35 a 58,22 kg/m<sup>3</sup> (ensaio de preferência alimentar), foi suficiente para incrementar a resistência da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) inibindo o ataque dos cupins. Nas retenções superiores a 16,73 kg/m<sup>3</sup> (ensaio de alimentação forçada) e a 58,22 kg/m<sup>3</sup> (ensaio de preferência alimentar), o óleo de candeia preveniu o ataque da madeira testada, inviabilizando o acesso dos cupins à fonte de alimento.

O óleo de candeia, em função do seu custo, é inviável para o tratamento de madeiras para o meio rural, mas poderia ser utilizado no tratamento de madeiras para fins mais nobres, como na construção civil, onde a utilização de um produto natural poderia ocorrer sem oferecer riscos ao homem e ao ambiente (PAES et al., 2010).

## 2.4 Agentes Degradadores da Madeira

A madeira apresenta uma gama de utilização nos meios rural e urbano, porém, em virtude da sua estrutura e constituição química, sofre o ataque de vários organismos deterioradores. Dentre os organismos, os fungos e os térmitas são os responsáveis pelos maiores danos causados a madeira (HUNT e GARRATT, 1967; CAVALCANTE, 1982).

Segundo Oliveira et al. (1986), a madeira é degradada biologicamente, porque alguns organismos utilizam os polímeros naturais da sua parede celular como fonte de alimento e possuem sistemas enzimáticos específicos, capazes de metabolizá-los em unidades digeríveis.

A madeira está sujeita a biodeterioração desde a árvore viva até aquela em condições de serviço podendo ser atacada por diferentes agentes biológicos e também por agentes abióticos como, umidade, temperatura, radiação e ventos (TREVISAN, 2007; ROCHA, 2006).

Os agentes biológicos podem ser divididos em três grupos sendo eles micro organismos, insetos e brocas marinhas. Tais agentes podem causar desde simples mudanças de cor até redução das características físico-mecânicas da madeira, podendo comprometer o desempenho arquitetônico e estrutural das peças (LEPAGE et al., 1986). Segundo Silva (2008) e Haygreen e Bowyer (1985), os agentes biológicos considerados de maior importância são os fungos, as bactérias, as brocas marinhas e os insetos, por serem os maiores degradadores de madeira.

Os agentes abióticos podem ser divididos em mecânicos, físicos e químicos. Segundo Benevente (1995), os agentes abióticos de origem natural capazes de deteriorar a madeira podem ser classificados como agentes climáticos, e como exemplo podemos citar a ação da umidade, dos ventos, da radiação solar e da temperatura. A ação conjunta de todos estes efeitos pode ser resumida por “WEATHERING” (LEPAGE et al., 1986).

Quando exposta ao tempo a madeira sofre deterioração fotoquímica como, por exemplo, àquela promovida pela radiação ultravioleta que atua principalmente sobre a lignina, causando alterações na coloração da madeira e na estrutura celulósica. O fenômeno é lento e é conhecido por intemperismo. Apesar de ser inerte à ação de muitos produtos químicos, as madeiras podem sofrer a ação destruidora de poluentes ao longo do tempo (LEPAGE, 1986).

A deterioração da madeira pela ação dos agentes mecânicos está diretamente relacionada à dureza da mesma. Como exemplo temos os efeitos da abrasão, combinados com os ataques de organismos xilófagos, principalmente os fungos apodrecedores (BENEVENTE, 1995).

Os fatores bióticos associados aos abióticos fecham o ciclo de degradação da madeira (MILANO, 1986).

## **2.5 Fungos Degradadores da Madeira**

Os fungos são organismos que necessitam de compostos orgânicos como fonte de alimento. Aqueles que utilizam os componentes químicos da madeira são conhecidos como fungos xilófagos (OLIVEIRA et al., 1986; LELIS et al., 2001).

Segundo Sgai (2000) a atuação dos fungos na degradação da madeira é intensa e a madeira atacada apresenta alteração nas propriedades físicas e químicas das paredes das células ou das cavidades celulares, afetando seriamente sua resistência e produzindo sua decomposição.

Além de alterar as propriedades físicas e químicas, a madeira sob ataque apresenta modificação da sua cor natural, redução da resistência mecânica, diminuição de massa, aumento da permeabilidade, redução da capacidade acústica, aumento da inflamabilidade, diminuição do poder calorífico e maior propensão ao ataque de insetos, comprometendo sua qualidade e inviabilizando sua utilização para fins tecnológicos (SANTOS, 1992).

Para Barillari (2002), os fungos são responsáveis pela destruição de uma grande variedade de produtos à base de madeira causando grandes prejuízos, porém, para Alexopoulos et al. (1996), esses mesmo fungos têm um importante papel ecológico na ciclagem de nutrientes para o solo, pois são os principais agentes decompositores dos componentes primários da madeira.

Os principais requisitos para o crescimento de fungos em madeira são, a presença de água livre na superfície dos lumens celulares, presença de oxigênio, uma faixa de pH favorável, uma faixa de temperatura favorável, vitaminas e elementos essenciais, a ausência de extrativos tóxicos que impeçam ou retardem a deterioração por fungos e um substrato de fácil digestão, que forneça energia e que sirva para a síntese de metabólitos (HIGHLEY et al. 1992; ZABEL e MORELL 1992).

No processo de degradação da madeira tratada, alguns fungos têm papel importante como organismos com capacidade de degradar substâncias utilizadas no processo de preservação de madeira, como o creosoto e o pentaclorofenol que já não são mais utilizados, e o CCA, amplamente utilizado no Brasil. Como exemplos existem os Basidiomycotas: *Phanerochaete chrysosporium*, *P. sordida*, *Peniophora cinerea*, *Trametes villosa*, *T. hirsuta*, *Psilocybe castanella*, *Phellinus badius*, *Lentinula edodes*, *Inonotus dryophilus*, *Ceriporiopsis subvermispora*, *Bjerkandera* sp. e *Picnoporus sanguineus* (BONONI, 1998).

Entre os fungos responsáveis pelo apodrecimento da madeira destaca-se a classe dos basidiomicetos, na qual se encontram os fungos responsáveis pela podridão-parda e pela podridão-branca que possuem características enzimáticas próprias, quanto à decomposição dos constituintes primários da madeira. Os primeiros decompõem os polissacarídeos da parede celular, e a madeira atacada apresenta uma coloração residual pardacenta. Os últimos atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina. Nesse caso, a madeira atacada adquire um aspecto mais claro (OLIVEIRA et al., 2005).

A podridão parda é um processo biológico resultante da ação enzimática do micélio dos fungos xilófagos sobre as paredes celulares. Estes fungos degradam a celulose e a hemicelulose, transformando-as em substâncias solúveis facilmente assimiladas e digeridas. A lignina, de coloração escura, fica praticamente intacta, conferindo à madeira um aspecto pardo-escuro. A destruição dos elementos estruturais que se encontram nas paredes celulares provoca uma rápida perda da resistência da madeira.

Os fungos de podridão branca, assim como os de podridão parda, atuam na superfície da parede celular. A ação restrita do sistema enzimático proporciona a formação de fendas ou orifícios nos quais os fungos se assentam. No decorrer do ataque, estas fendas vão se juntando, provocando uma vagarosa e total erosão da parede celular a partir do lume. Estes fungos decompõem, proporcionalmente, tanto a celulose e a hemicelulose quanto a lignina. Devido a maior porcentagem de holocelulose existente na madeira, esta, quando atacada adquire uma coloração esbranquiçada, apresentando progressiva perda de peso e das propriedades mecânicas (MENDES, 1988).

## **2.6 *Pinus caribaea* Morelet**

*Pinus caribaea* compreende três variedades naturais: *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis*. Em condições favoráveis ao rápido crescimento, as variedades *hondurensis* e *bahamensis* apresentam alta frequência de árvores com forma anormal, denominado “fox-tail” (crescimento apical anormal em *Pinus*, caracterizado por um longo eixo principal sem ramificações). A variedade *caribaea* se caracteriza por frequência baixa ou nula de fox-tail, ramificações finas, regulares e perpendiculares ao longo do fuste. Desta espécie, a variedade *hondurensis* é a mais plantada na região tropical brasileira (Regiões Amazônica, Centro-Oeste, Central, Leste e Sudeste), abrangendo uma área de aproximadamente 700.000 ha

destinada à produção de madeira para processamento mecânico (EMBRAPA FLORESTAS, 2005).

Conhecido popularmente como pinheiro do caribe, o *Pinus caribaea* é o único pinheiro tropical que cresce naturalmente em baixas altitudes. É uma árvore majestosa e alta que apresenta um rápido crescimento e produz uma madeira resinosa ótima para produção de madeira e produtos de papel (FRANCIS, 1992).

Segundo Ballarin e Palma (2003), foram encontradas densidades de 0,36 g/cm<sup>3</sup> para o lenho juvenil de *Pinus caribaea* e 0,68 g/cm<sup>3</sup> para o lenho adulto dessa mesma espécie.

## 2.7 Tratamento Térmico

Diferentes técnicas têm sido estudadas ou usadas com vistas à modificação de algumas propriedades da madeira, sendo o tratamento térmico conhecido como um dos mais antigos, fácil e barato, oferecendo melhoras no que se refere à capacidade de repelência à água, estabilidade dimensional e resistência biológica da madeira (MOHEBBY e SANAEI, 2005).

Para aumentar a durabilidade biológica da madeira normalmente são impregnados produtos tóxicos em seu interior. A emissão de ingredientes ativos é muito baixa durante a fixação de produtos preservativos na madeira, mas, em geral, esta técnica é vista de forma pouco amigável. Então, o aumento da durabilidade da madeira conferida por sua modificação térmica é mais aceitável (HOMAN et al., 2000).

Segundo Pincelli et al. (2002), no Brasil, provavelmente, Brito (1993) foi uma das primeiras referências sobre a termorretificação, quando avaliou a influência da temperatura na redução da massa, modificação na densidade, composição química e capacidade de retração volumétrica da madeira de *Eucalyptus saligna*.

A termorretificação é um processo em que o calor é aplicado à madeira em temperaturas inferiores às que provocam o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses que são, dentre eles, os mais sensíveis à ação do calor (BRITO, 2006). Conforme Guedira (1998) e Vovelle e Mellottee (1982), citados nesse mesmo trabalho, tais temperaturas estariam entre 100 e 250 °C. O resultado é a obtenção de um produto sólido apresentando características diferenciadas, comparativamente à sua madeira original.

Já para Pessoa et al. (2006), o processo de retificação térmica ou termorretificação, é aquele conduzido nas temperaturas inferiores às usadas na torrefação (na faixa de temperatura entre 200 e 280°C).

São encontradas muitas discussões na literatura sobre a influência da quantidade de água no processo de degradação da madeira. Segundo Mitchell (1988), o tratamento térmico das amostras em atmosferas úmidas favorece a formação de ácidos orgânicos os quais são responsáveis por acelerar a degradação da hidrólise da celulose amorfa e da hemicelulose. Além disso, as reações de hidrólise são mais lentas em baixas temperaturas. Por esse motivo, o tratamento térmico das amostras deve ser feito preferencialmente em temperaturas superiores a 150°C, porém limitada a aproximadamente 230°C. Trabalhando nessa faixa de temperatura, consegue-se obter uma madeira termorretificada com as qualidades desejadas, tais como estabilidade dimensional, redução da higroscopicidade, e incremento na resistência biológica.

A maioria dos métodos de tratamento térmico baseia-se na redução da acessibilidade dos grupos hidroxil que se encontram, sobretudo, na celulose e hemiceluloses e que são os principais responsáveis pela higroscopicidade da madeira. Ao bloquear estes grupos, essencialmente os presentes nas hemiceluloses e que se encontram mais acessíveis, a madeira diminui a sua capacidade de absorver água, o que terá impacto em várias propriedades da madeira tratada (ESTEVEZ e PEREIRA, 2009).

Segundo Rousset et al. (2004) e Wikberg e Maunu (2004) a madeira termorretificada apresenta uma diminuição da sua higroscopicidade e melhoras na estabilidade dimensional devido à degradação das hemiceluloses, à ruptura dos grupos hidroxílicos livres da região amorfa da celulose e à reticulação dos polímeros que compõem a madeira, durante o seu tratamento.

Considerando as inúmeras vantagens que o tratamento térmico traz às propriedades físico-mecânicas da madeira, a termorretificação já é um processo utilizado em escala industrial em vários países europeus com destaque para Finlândia, França, Alemanha e Holanda, onde são denominados respectivamente: Finnish Thermowood, French Retification e Bois Perdure, Oil Heat Treatment e Dutch Plato Wood (RODRIGUES, 2009).

O tratamento térmico altera a composição química da madeira de modo a promover a indisponibilidade de alimentos (hemiceluloses) aos fungos, reduz o teor de umidade de equilíbrio, promove a criação de novas moléculas livres que atuam como fungicidas, além de reticular a rede de lignina dificultando o reconhecimento do substrato pelos fungos (WEILAND e GUYONNET, 2003).

Segundo Militz e Tjeerdsma (2001), citado por Calonego (2009), madeiras de *Pinus radiata*, *Pinus sylvestris*, *Pseudotsuga menziesii* e *Picea abies* quando expostas aos fungos *Coriolus versicolor* e *Coniophora puteana* apresentaram, respectivamente, perda de massa na ordem de 9% e 26%, de 4% e 12%, de 1% e 9%, e de 12% e 19%. Quando termorretificadas e expostas aos mesmos agentes xilófagos apresentaram perda de massa sempre inferior a 4%. Segundo o mesmo autor, Rapp e Sailer (2001) verificaram que as madeiras de *Pinus sylvestris* e de *Picea abies* depois de expostas ao fungo *Coniophora puteana* apresentaram, respectivamente, perda de massa de 48,0% e 40,0%. Madeiras das mesmas espécies quando aquecidas com temperaturas entre 180°C e 220°C, durante 4,5 horas, e, ao serem expostas aos mesmos agentes xilófagos apresentaram perdas de massa de 11,0% e 5,5%. Para Korkut et al. (2009), madeiras termorretificadas podem oferecer inúmeras oportunidades de utilização, uma vez que o tratamento aumenta a durabilidade da madeira contra o ataque de fungos sem que se faça necessária a aplicação de produtos químicos. Essa madeira pode ser usada para uma variedade de aplicações interiores e exteriores, como em jardins, móveis para saunas e cozinha, revestimentos para construções de madeiras, materiais para pisos e instrumentos musicais.

Diversos autores têm sugerido possíveis razões para o efeito de melhoramento na durabilidade da madeira tratada pelo calor contra a degradação por fungos, como por exemplo:

1. Degradação das hemiceluloses em polímeros furfural que são menos higroscópicos para a água (Stamm, 1964);
2. Transformações químicas dos componentes da madeira menores (por exemplo, minerais e vitaminas) que são essenciais para o metabolismo dos fungos, alterações de componentes da madeira, como os carboidratos de baixo peso molecular, que possam ser necessários para o ataque inicial dos fungos (Baechler, 1959);
3. Modificação de carboidratos e a formação de compostos tóxicos (Highley, 1970);
4. Aumento na rede de ligações cruzadas dentro do complexo lignina-carboidrato, com a conseqüente melhoria da higroscopicidade; modificação dos componentes poliméricos da madeira estrutural; transformação seletiva das hemiceluloses, o componente da madeira mais hidrofílico e de mais fácil digestão, sendo transformados em uma rede hidrofóbica (Tjeerdsma et al, 1998).; e
5. Diminuição de alguns componentes da madeira, especialmente hemicelulose, modificações da lignina e a formação de novas ligações éter; redução da higroscopicidade da madeira (Weiland e Guyonnet 1997, 2003).

Para Silva et al. (2008), a melhor durabilidade contra o ataque de fungos da madeira tratada termicamente explicada-se por quatro razões:

1. Geração de novos extrativos, durante o tratamento térmico que pode atuar como fungicida;
2. Modificação química dos polissacarídeos e lignina da madeira, que leva a uma inibição das enzimas digestivas dos fungos, decorrente da perda de capacidade dessas enzimas em reconhecer o seu substrato;
3. Significante degradação das hemiceluloses que constituem uma das principais fontes de nutrientes para os fungos e,
4. Um aumento na característica hidrofóbica da madeira, que reduz a absorção de água, o que não favorece o desenvolvimento de certos fungos.

Segundo Gohar e Guyonnet (1998), citado por Pincelli (2002), o estágio de desenvolvimento dos estudos sobre retificação térmica indica que o processo é atualmente operacional em escala industrial. Os custos têm se mostrado compatíveis com as possibilidades de mercado, além de estarem sendo propostas inúmeras aplicações para o produto obtido.

## 2.8 Arseniato de Cobre Cromatado (CCA)

O CCA é um preservativo hidrossolúvel que apresenta boa fixação na madeira e resistência à lixiviação. Trata-se de um dos mais eficientes tratamentos para proteção contra fungos, insetos e brocas marinhas. A madeira tratada com este produto e exposta a situações de alto risco permanecem intactas por 30 anos ou mais (ABIMCI, 2004).

Os ingredientes ativos do CCA são o  $\text{CrO}_3$  (cromo),  $\text{CuO}$  (cobre) e  $\text{As}_2\text{O}_5$  (Arsênio). Ao longo dos anos as porcentagens desses ingredientes foram sendo alteradas, resultando na existência de três formulações básicas (tipo A, tipo B e tipo C) atualmente normatizadas e disponíveis no mercado (LEPAGE, 1986). As diferentes proporções de cada elemento nos diferentes tipos de CCA são definidas em termos de sistemas óxido ativo equivalente (RICHARDSON, 1978).

**Tabela 1:** Formulações do Arseniato de Cobre Cromatado - CCA

Ingredientes Ativos	Tipos de CCA		
	A	B	C
$\text{CrO}_3$	65,5 %	35,3 %	47,5 %
$\text{CuO}$	18,1 %	19,6 %	18,5 %
$\text{As}_2\text{O}_5$	16,4 %	45,1 %	34,0 %

Fonte: MENDES (1998).

O cromo é considerado o principal responsável pela fixação do arsênio e do cobre. O arsênio e o cobre desempenham o papel de inseticida e fungicida, aderindo à parede celular da madeira após as reações de fixação. As reações de fixação são rápidas e em condições ambiente levam de 3 a 15 dias, acelerando com a temperatura (GALVÃO, 2004).

De acordo com Hunt & Garratt (1962) o cromo não apresenta eficiência como preservante de madeira quando empregado de forma isolada. Porém, ele funciona como um agente fixador dos compostos cobre e arsênio, fato esse que torna esses compostos resistentes a lixiviação. O cobre atua como fungicida, através da precipitação de proteínas e também causando interferências no metabolismo do fungo. O arsênio apresenta elevada toxicidade a muitos insetos e fungos. Um inconveniente do arsênio está no fato de apresentar alta toxicidade ao homem.

## 2.9 Borato de Cobre Cromatado (CCB)

Devido à suspeitas de existir demasiada valorização do arsênio em determinados tipos de ambiente em que a madeira é utilizada, surgiram preocupações sobre a exposição do usuário da madeira tratada com o produto CCA. Ao passo que muitas pesquisas comprovem não haver riscos de contaminação de solo por lixiviação deste elemento químico, a sua valorização ainda é encarada com preocupação, particularmente em ambientes fechados que necessitam calefação por tempo prolongado. Supõe-se que em tais ambientes, além da volatilização do arsênio ser promovida por efeito do aquecimento artificial, não ocorre adequada renovação do ar (o que o deixa com alto teor deste contaminante), pela necessidade de manter a temperatura conseguida pelo sistema de aquecimento. Pelas hipóteses acima, iniciaram-se pesquisas objetivando a substituição do arsênio do produto CCA, as quais deram origem ao produto conhecido como Borato de Cobre Cromatado - CCB, que começou a ser comercializado na Alemanha no início dos anos 60 (MORESCHI, 2011).

Preservativo hidrossolúvel a base de cobre, cromo e boro, o preservativo CCB tem seu uso mais pronunciado no Brasil e na Europa, não tendo muita penetração no mercado norte americano (GALVÃO, 2004).

**Tabela 2:** Composição do Borato de Cobre Cromatado expressa em ingredientes ativos

Composição	Proporção de ingredientes ativos (%)
CuO	26,0
B	10,5
CrO <sub>3</sub>	63,5

Fonte: ABNT (1986).

Sua formulação comercial mais comum tem como base uma mistura contendo 35,8% de CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O; 22,4 % de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> e 38,5 % de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, mais aditivos (LEPAGE, 1986).

Segundo Cavalcante (1982), compostos a base de boro apresentam propriedades fúngicas, inseticidas e ignífuga. No Brasil o produto é utilizado no tratamento de postes com retenção mínima 9,6 Kg/m<sup>3</sup>, porém existem dúvidas em relação a sua resistência a lixiviação e eficiência, em longo prazo, no combate de insetos.

Moreschi (2011) afirma que com o uso do CCB há uma sensível perda na resistência da lixiviação e na eficiência da proteção da madeira à insetos, especialmente para madeira instaladas por longos prazos. O efeito da lixiviação que sofre o produto CCB (LEPAGE, 1986) provavelmente ocorre devido à mobilidade do boro (PAES, 1991).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Seleção das Árvores e Obtenção dos Corpos de Prova

O material utilizado neste trabalho foi proveniente de três árvores da espécie *Pinus caribaea* Morelet de um povoamento com idade de 24 anos, localizado no Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Estado do Rio de Janeiro.

Depois de abatidas, foram retirados quatro toretes com 1m de comprimento de cada árvore e logo em seguida foram levados para o Laboratório de Processamento da Madeira (LPM) para o seu desdobro. Após a retirada de duas costaneiras, demarcou-se a região central e externa do lenho para que fosse possível identificar de qual região pertencia cada corpo de

prova. Em seguida, os toretes foram desdobrados em pranchões com aproximadamente 2 cm de espessura (Figura 3, A e B).



**Figura 3:** Desdobro das toras. (A). Tábuas com destaque para região central (amarela) e externa (sem cor), possibilitando identificar a região de procedência de cada uma delas (B).

As pranchas obtidas do desdobro foram numeradas, entabicadas e conduzidas para a estufa de secagem do Laboratório de Física e Secagem da Madeira a uma temperatura de 70°C obtendo-se uma umidade média final de  $\pm 12\%$  (Figura 4).



**Figura 4:** Estufa de secagem convencional do Laboratório de Física e Secagem da Madeira.

Após a secagem, as pranchas foram reduzidas à sarrafos que tinham 1m de comprimento e 2 cm de largura e espessura (Figura 5).





**Figura 5:** Sarrafos com 2 cm de largura, 2 cm de espessura e 1m de comprimento com as marcações que especificam procedência quanto árvore e região do lenho (central ou externa).

Os sarrafos foram então reduzidos a corpos de prova com dimensões de 2 x 2 x 2 cm que foram utilizados no tratamento térmico e no tratamento preservativo por impregnação. Cada corpo de prova levou uma marcação que tinha como objetivo indicar sua origem quanto à árvore e posição no lenho (central ou externa).

Depois de cortados, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climática sob condições de umidade e temperatura controlada ( $20^{\circ}\text{C} \pm 1$  e  $65\% \pm 5$  de umidade relativa), até atingirem o teor de umidade de equilíbrio.

Amostras de acículas e cones foram coletadas em cada árvore selecionada e levadas ao Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira do Departamento de Produtos Florestais da UFRRJ para montagem das exsicatas que foram utilizadas para o devido registro e identificação da espécie.

### 3.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi estruturado separadamente para cada tipo de tratamento, ou seja, térmico e químico. O delineamento empregado foi inteiramente casualizado num esquema fatorial conforme apresentado na tabela 3.

**Tabela 3:** Delineamento experimental

Tratamento	Fatorial 2x2x2		
	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tempo (h)	Posição
	Térmico	150 170	2 3
Tratamento	Fatorial 4x2x2		
	Produto	Concentração (%)	Posição
	Químico	Nim Resina de bisabolol Resina de bisabolol + terpenos de Candeia Terpenos de candeia	5 50

O arranjo experimental do tratamento térmico resultou em oito (8) tratamentos que foram submetidos ao ataque de três diferentes tipos de fungos, quais sejam: um de podridão branca (*Trametes versicolor*) e dois de podridão parda (*Postia placenta*, *Neolentinus lepideus*).

O arranjo do tratamento químico resultou em doze (12) tratamentos que foram submetidos ao ataque dos mesmos tipos de fungos acima citados.

### 3.3 Tratamento Térmico

O tratamento térmico da madeira foi realizado, a partir da utilização de uma câmara térmica (mufla) equipada com um sistema de controle de temperatura e tempo.

Para cada tratamento foram utilizadas 2 repetições, ou seja, 2 corpos de prova por árvore (3 árvores) para cada fungo (3 fungos) chegando a um total de 144 corpos de prova. Corpos de prova de madeira não tratada termicamente foram mantidos para que fosse possível estabelecer um padrão de comparação.

### 3.4 Produtos e o Tratamento Preservativo

Os produtos utilizados para o tratamento preservativo foram:

- Nim
- Resina de bisabolol (RB)
- Resina de bisabolol + Terpenos de candeia (RB + TC)
- Terpeno de candeia (TC)
- CCA (Testemunha)
- CCB (Testemunha)

Os produtos resina de bisabolol e terpenos de candeia são subprodutos da produção do  $\alpha$  – Bisabolol e foram cedidos pela empresa Citróleo – Indústria e Comércio de Óleos Essenciais Ltda., situada no município de Torrinha – SP. Alfa Bisabolol é um sesquiterpeno presente em uma variedade de plantas, arbustos e árvores. Com propriedades antiinflamatórias, antimicóticas e antibacteriana, o Alfa Bisabolol é muito utilizado pelas indústrias de cosméticos e de fármacos.

A matéria prima, óleo de candeia, foi extraída da madeira de candeia da espécie *E. erythropappus*, por processo de arraste de vapor de água, sem adição de qualquer tipo de solvente.

Trata-se de uma destilação fracionada, em pressão negativa (vácuo), do óleo essencial de candeia com duração de 40 horas ininterruptas. Os terpenos são obtidos no início da destilação e a resina quando o processo chega ao final. Esses produtos não são comercializados e estão estocados em tanques e tambores na Citróleo. Os produtos óleo de Nim, CCA e CCB foram adquiridos no mercado.

Para cada produto natural (óleo de nim, terpeno de candeia e resina de bisabolol) foram utilizadas duas diferentes concentrações, sendo elas 5% e 50%. O percentual de 5% foi utilizado, uma vez que esse valor é muito citado na literatura. Enquanto que o valor de 50% foi utilizado considerando uma viscosidade possível de se trabalhar num processo de imersão a vácuo das amostras. Para definição do percentual de 50% foi utilizado um viscosímetro onde se obteve os valores de viscosidade do produto mais denso (Resina de bisabolol) em concentrações variando entre de 5 e 95% de concentração. Nas concentrações acima de 50% a solução encontrada apresentava características de viscosidade que foram consideradas de difícil trabalhabilidade, considerando o uso do dessecador com sistema de vácuo empregado para o tratamento preservativo da madeira (Figura 6).



**Figura 6:** Solução de resina de bisabolol na concentração de 60% (A) e 50% (B).

Cada tratamento corresponde a uma associação de produto/concentração (5% e 50%) / posição (central ou externa). Sendo assim, chegou-se a um total de 14 tratamentos, considerando dois como testemunhas (CCA e CCB). Para cada um deles foi utilizado uma repetição de 2 corpos de prova por árvore (3 árvores) para cada fungo (3 fungos), chegando a um total de 252 corpos de prova. Amostras que não receberam nenhum tratamento preservativo foram submetidas às mesmas condições de exposição a fungos xilófagos.

Os corpos de prova foram submetidos à impregnação com os produtos preservativos com o auxílio de um dessecador (Figura 7), que foi desenvolvido especialmente para realização do trabalho. O equipamento é dotado de uma bomba de vácuo com capacidade de aplicar um vácuo de até 650 mm Hg.



**Figura 7:** Dessecador adaptado com bomba de vácuo utilizado para realização do tratamento preservativo (A); detalhe para a válvula de liberação do vácuo e para o vacuômetro (B).

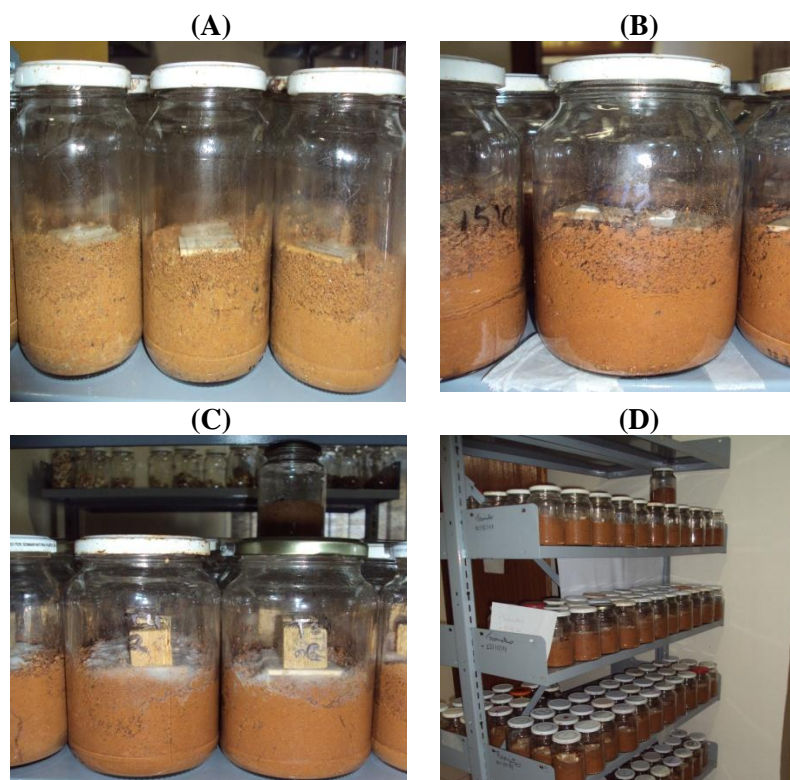
Baseada em literaturas referentes ao tratamento preservativo de madeira com o óleo de candeia (FÔNSECA, 2008) e com óleo de nim (PAES et al., 2010) definiu-se que a retenção desejada para todos os tratamentos seria de no mínimo 16 Kg/m<sup>3</sup>. Testes preliminares foram realizados onde se concluiu que para atingir os valores de retenção desejados não seria necessário manter os corpos de prova imersos na solução preservativa por um tempo superior a um (1) minuto.

Desta forma, os corpos de prova colocados dentro do dessecador sofreram um vácuo inicial de 650 mm de Hg durante 30 minutos com o objetivo de retirar o ar presente no interior da madeira. Decorrido esse tempo, o produto preservativo foi liberado e então sugado para o interior do dessecador impregnando a madeira. Após completa imersão a válvula foi aberta e o vácuo foi liberado. Logo após, os corpos de prova foram imediatamente retirados da solução, colocados sob papel toalha, secos e pesados.

### **3.5 Ensaio de Degradação Acelerada em Laboratório**

O ensaio de degradação acelerada foi realizado no Laboratório de Degradação da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, localizado no Município de Jerônimo Monteiro. Os corpos de prova tratados pela técnica de termorretificação e por impregnação com os produtos químicos e com os óleos naturais foram expostos a fungos de podridão branca e podridão parda durante 12 semanas em condições de laboratório.

O ensaio foi executado conforme a norma ASTM D -1413 (ASTM, 2005), sendo utilizados corpos-de-prova de 2,0 x 2,0 x 2,0 cm. O ensaio foi montado em frascos de vidro de 500 mL de capacidade, preenchidos com 300 g de solo. O solo foi umedecido com água destilada e foram adicionados dois alimentadores de madeira de *Pinus* sp. Os frascos foram esterilizados a  $121 \pm 2$  °C, por 60 min em uma autoclave vertical (Figura 8, A). Após o resfriamento, fragmentos obtidos de culturas puras de fungos de podridão branca (*Trametes versicolor*) e podridão parda (*Postia placenta* e *Neolentinus lepideus*) foram inoculados sobre os alimentadores (Figura 8, A e B).



**Figura 8:** Ensaio de degradação acelerada em laboratório. Frascos de vidro de 500 ml de capacidade, no momento onde foram adicionados dois alimentadores de madeira de *Pinus* sp.(a). Culturas puras de fungos de podridão branca e podridão parda inoculadas sobre os alimentadores (b). Frascos com cultura de fungo desenvolvida no momento onde os corpos de prova foram adicionados (c). Frascos sendo mantidos em sala climatizada ( $27 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $70 \pm 5\%$  de umidade relativa) (d).

Após o desenvolvimento e colonização do solo pelo fungo, foram então adicionados os corpos-de-prova, previamente esterilizados sob as mesmas condições descritas acima, à razão de duas amostras por frasco (Figura 8, C). Os frascos foram mantidos em sala climatizada ( $27 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $70 \pm 5\%$  de umidade relativa) por 12 semanas (Figura 8, D).

Paralelos ao ensaio foram mantidos frascos com corpos-de-prova tratados, sem a inoculação pelo fungo, para avaliação da perda de massa operacional. Dessa maneira, pode-se garantir que as perdas observadas possam, de fato, ser atribuídas ao ataque do fungo xilófago e não a outros fatores operacionais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Durabilidade Natural da Madeira de *Pinus Caribaea*

A Tabela 4 apresenta o percentual médio de perda de massa causado pelo ataque dos fungos xilófagos à madeira de *P. caribaea*. Para avaliar a qualidade da resistência a deterioração da madeira foi empregada a ASTM D-2017 (2005).

**Tabela 4:** Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos.

Classes de Resistência	Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)
Altamente resistente	0 - 10	90 – 100
Resistente	11 - 24	76- 89
Moderadamente Resistente	25 - 44	56 – 75
Não resistente ou Perecível	> 45	> 55

Fonte: ASTM D-2017 (2005)

De acordo com a ASTM, a madeira de *P.caribaea* se enquadrou na faixa de moderadamente resistente a altamente resistente, contradizendo os resultados encontrados por diversos autores que classificam a madeira da espécie como sendo de baixa resistência ao ataque de xilófagos (BARILLARI et al. 2002; TREVISAN, 2007; CARLOS, 1995).

**Tabela 5:** Valores médios de perda de massa causada pelo ataque de fungos xilófagos em madeiras de *Pinus caribaea* não tratadas.

FUNGO	TRATAMENTO	PERDA DE MASSA (%)
<i>Postia placenta</i>	Testemunha	42,05
<i>Neolentinus lepideus</i>	Testemunha	27,81
<i>Trametes versicolor</i>	Testemunha	8,77

As maiores perdas de massa foram causadas pelos fungos de podridão parda *Postia placenta* e *Neolentinus lepideus*. O fungo de podridão branca *Trametes versicolor*, provocou valores bem reduzidos de perda de massa enquadrando a durabilidade natural da madeira na classe de altamente resistente. Tal fato pode ser explicado pela afirmativa de que fungos de podridão parda degradam preferencialmente a madeira de coníferas e os de podridão branca às folhosas (ZABEL e MORREL, 1992; MARTÍNEZ et al., 2005).

## 4.2 Tratamento Térmico

### 4.2.1 Resistência da madeira *Pinus caribaea* tratada termicamente, ao fungo *Postia placenta*

A análise fatorial de variância para a variável perda de massa apresentada no anexo 1, mostrou que o fator temperatura e as interações BxC (tempo x posição) e AxBxC (temperatura x tempo x posição) foram significativas a um nível de 95% de probabilidade.

Como pode ser observado na tabela 6, a temperatura de 170 °C foi a que proporcionou uma perda de massa significativamente menor na madeira de *P. Caribaea*, quando atacada pelo fungo de podridão parda *Postia placenta*. Isso demonstra que a elevação da temperatura no tratamento térmico para essa espécie proporciona uma melhora na sua durabilidade biológica, a enquadrando em uma classe de resistência mais elevada.

A interação BxC (tempo x posição) causou um efeito significativo na variável perda de massa, sendo que a diferença estatística ocorreu entre os tratamentos com o tempo de 2 e 3 horas quando se utilizou a madeira próxima a casca (externa).

De uma maneira geral, nota-se que o tempo foi o fator que apresentou maior influência, visto que a menor média relativa de perda de massa foi alcançada quando se utilizou um tempo de exposição de 3 horas.

Como pode observado na Tabela 6, houve também um efeito significativo da interação tripla (temperatura x tempo x posição). A variação média mais discrepante, causada pela maior (53,36%) e menor (32,97%) média relativa, ocorreu quando foram utilizados os três fatores principais de forma distinta, ou seja, houve uma variação da temperatura, do tempo e da posição. Apesar disso, dada as igualdades estatísticas, não se observa de maneira clara uma influência preponderante de um determinado fator isoladamente. Contudo, observa-se que de forma geral, quando se utilizou a temperatura de 170°C e a madeira da posição central, houve uma melhora dos resultados de perda de massa, o que pode estar demonstrando a influência destes fatores nos resultados.

**Tabela 6:** Valores médios de perda de massa causada pelo ataque do fungo *Postia placenta* em madeiras tratadas termicamente.

Fonte de variação	Nível do Fator			Perda de Massa (%)	
	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Posição	Média	DP
<b>EFEITOS PRINCIPAIS</b>					
A - Temperatura*	150			44,18 <sup>A</sup>	11,97
	170			35,94 <sup>B</sup>	6,98
B – Tempo		2		42,56	9,20
		3		37,56	11,39
C – Posição			C	39,20	9,48
			E	40,92	11,65
<b>INTERAÇÃO</b>					
A x B	150	2		48,40	8,54
	150	3		39,96	13,70
	170	2		36,72	5,43
	170	3		35,17	8,42
A x C	150		C	44,74	6,87
	150		E	43,62	15,86
	170		C	33,66	8,60
	170		E	38,23	4,06
B x C*		2	C	38,90 <sup>AB</sup>	8,81
		2	E	46,23 <sup>A</sup>	8,37
		3	C	39,50 <sup>AB</sup>	10,51
		3	E	35,62 <sup>B</sup>	12,35
A x B x C*	150	2	C	43,45 <sup>AB</sup>	8,78
	150	2	E	53,36 <sup>A</sup>	4,95
	150	3	C	46,04 <sup>AB</sup>	4,75
	150	3	E	33,88 <sup>B</sup>	17,37
	170	2	C	34,35 <sup>B</sup>	6,61
	170	2	E	39,10 <sup>AB</sup>	2,78
	170	3	C	32,97 <sup>B</sup>	10,85
	170	3	E	37,36 <sup>AB</sup>	5,17

DP = Desvio Padrão; C = Central; E = Externa; \* = Fator ou Interação significativo; Média com letras iguais denotam igualdade estatística ao nível de 95% de probabilidade dentro de cada fator ou interação.

#### 4.2.2 Resistência da madeira de *Pinus caribaea* tratada termicamente, ao fungo *Neolentinus lepideus*

A análise fatorial de variância para a variável perda de massa causada pelo fungo *Neolentinus lepideus*, apresentada no anexo 2, mostrou que o fator temperatura e as interações AxB (temperatura x tempo) e BxC (tempo x posição) foram significativas a um nível de 95% de probabilidade.

Como pode ser observado na tabela 7, novamente a temperatura de 170 °C foi a que proporcionou uma perda de massa, significativamente menor, quando as amostras foram submetidas ao ataque do fungo de podridão parda *Neolentinus lepideus*, a exemplo do ocorrido com o fungo *Postia placenta*.

Em ambas as situações, a elevação da temperatura resultou no enquadramento da madeira em uma classe de resistência mais elevada, contudo, o efeito dessa alteração mostrou-se mais eficiente para o fungo *Neolentinus lepideus*, uma vez que, após o tratamento a madeira obteve uma perda de massa média de 23,86% elevando sua classificação segundo a ASTM para resistente. Enquanto que para o fungo *Postia placenta*, a classe de resistência alcançada foi de moderada.

A interação AxB (temperatura x tempo) ocasionou um efeito significativo na variável perda de massa, sendo que a diferença estatística ocorreu principalmente em função da variação da temperatura. Observa-se na Tabela 7 que a temperatura de 170 °C proporcionou as menores médias de perda de massa, mesmo quando se variou o tempo. Assim, pode-se afirmar que a elevação da temperatura resulta em uma significativa melhora nos resultados de durabilidade para a espécie avaliada.

Houve também um efeito significativo da interação BxC (tempo x posição), a exemplo do ocorrido com o fungo *Postia placenta*. Como pode ser observado, há um efeito significativo do tempo quando se utiliza amostras extraídas da posição externa do raio da madeira, ou seja, o tempo de três horas e a posição externa foram preponderantes para obtenção de melhores resultados de resistência ao apodrecimento.

O tratamento térmico para estes dois fungos mostrou-se eficiente uma vez que houve uma redução significativa nos valores médios de perda de massa das amostras tratadas termicamente, quando estes são comparados aos resultados encontrados para a madeira não tratada.



**Tabela 7:** Valores médios de perda de massa causada pelo ataque do fungo *Neolentinus lepideus* em madeiras tratadas termicamente.

Fonte de variação	Nível do fator			Perda de massa (%)	
	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Posição	Média	DP
<b>EFEITOS PRINCIPAIS</b>					
A - Temperatura*	150			30,47 <sup>A</sup>	7,40
	170			23,86 <sup>B</sup>	8,03
B – Tempo		2		28,00	7,24
		3		26,33	9,39
C – Posição			C	27,70	7,77
			E	26,63	9,01
<b>INTERAÇÃO</b>					
A x B*	150	2		29,01 <sup>A</sup>	8,57
	150	3		31,94 <sup>A</sup>	6,04
	170	2		26,99 <sup>AB</sup>	5,83
	170	3		20,73 <sup>B</sup>	8,91
A x C	150		C	30,49	8,89
	150		E	30,45	5,97
	170		C	24,91	5,51
	170		E	22,80	10,10
B x C*		2	C	25,61 <sup>A</sup>	8,11
		2	E	30,38 <sup>A</sup>	5,61
		3	C	29,79 <sup>A</sup>	7,14
		3	E	22,87 <sup>B</sup>	10,36
A x B x C	150	2	C	25,93	9,12
	150	2	E	32,09	7,44
	150	3	C	35,06	6,36
	150	3	E	28,82	4,06
	170	2	C	25,30	7,82
	170	2	E	28,67	2,60
	170	3	C	24,52	2,28
	170	3	E	16,93	11,62

DP = Desvio Padrão; C = Central; E = Externa; \* = Fator ou Interação significativo; Média com letras iguais denotam igualdade estatística ao nível de 95% de probabilidade dentro de cada fator ou interação.

#### 4.2.3 Resistência da madeira de *Pinus caribaea* tratada termicamente, ao fungo *Trametes versicolor*

A análise fatorial de variância para a variável perda de massa causada pelo fungo *Trametes versicolor*, apresentada no anexo 2, mostrou que somente o fator temperatura foi significativo a um nível de 95% de probabilidade. Como pode ser observado na Tabela 8, novamente a temperatura de 170 °C foi a que proporcionou a menor perda de massa na madeira quando atacada pelo fungo de podridão branca *Trametes versicolor*.

**Tabela 8:** Valores médios de perda de massa causada pelo ataque do fungo *Trametes versicolor* em madeiras tratadas termicamente.

Fonte de variação	Nível do fator			Perda de massa (%)	
	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Posição	Média	DP
<b>EFEITOS PRINCIPAIS</b>					
A - Temperatura*	150			8,05 <sup>A</sup>	4,52
	170			5,64 <sup>B</sup>	2,63
B – Tempo		2		6,58	3,57
		3		7,11	4,18
C – Posição			C	6,88	4,59
			E	6,81	3,05
<b>INTERAÇÃO</b>					
A x B	150	2		8,06	3,71
	150	3		8,05	5,37
	170	2		5,10	2,84
	170	3		6,18	2,41
A x C	150		C	8,65	5,45
	150		E	7,46	3,50
	170		C	5,12	2,75
	170		E	6,16	2,51
B x C		2	C	6,10	3,65
		2	E	7,06	3,57
		3	C	7,67	5,41
		3	E	6,56	2,57
A x B x C	150	2	C	7,58	3,69
	150	2	E	8,54	4,02
	150	3	C	9,72	6,99
	150	3	E	6,38	2,82
	170	2	C	4,62	3,24
	170	2	E	5,59	2,58
	170	3	C	5,62	2,35
	170	3	E	6,74	2,54

DP = Desvio Padrão; C = Central; E = Externa; \* = Fator ou Interação significativo; Média com letras iguais denotam igualdade estatística ao nível de 95% de probabilidade dentro de cada fator ou interação.

Para o fungo de podridão branca *Trametes versicolor* a interação entre os fatores principais não ocasionou efeitos significativos, o que demonstra que o fator temperatura, isoladamente, responde por toda variação resultante dos tratamentos aplicados.

#### 4.2.4 Discussão sobre o tratamento térmico na resistência da madeira de *Pinus caribaea*

O tratamento térmico aplicado se mostrou eficiente, uma vez que, para todos os fungos estudados, ocasionou uma redução significativa da perda de massa da madeira quando esta é comparada a madeira não tratada. Pode-se observar que para todos os fungos avaliados a temperatura de 170 °C associada à um tempo de tratamento de 3h resultou nas menores médias de perda de massa.

O resultado encontrado é coerente com a afirmação de que o tratamento térmico tem como um dos objetivos aumentar a resistência biológica da madeira à ação de organismos

xilófagos (HOMAN et al., 2000; RAPP, 2001; MILITZ e TJEERDSMA, 2001; KORKUT et al., 2009), assim como de que quanto maior o tempo de exposição e a temperatura do tratamento, melhor será resistência do produto final ao fungo deteriorador (MOMOYARA et al., 2003; WEILAND e GUYONNET, 2003).

Para os fungos de podridão parda, a redução de perda de massa foi de até 21,59% para o fungo *Postia placenta* e 39,12% para o fungo *Neolentinus lepideus*, ou seja, o efeito do tratamento térmico foi diferenciado. Contudo, essa diferença não foi suficiente para que a madeira de pinus após o tratamento se tornasse altamente resistente ao apodrecimento, o que a tornaria indicada para uso em ambientes externos.

Para o fungo de podridão branca (*Trametes versicolor*), a redução da perda de massa foi de 47,32%. Contudo, essa redução percentual não alterou a classe de resistência da madeira de pinus ao ataque deste fungo, uma vez que o resultado encontrado para a madeira não tratada termicamente já a classificava como altamente resistente. Tal resultado pode ser explicado pelo fato de que fungos de podridão branca se desenvolvem melhor em folhosas (MARTÍNEZ et al., 2005).

Segundo Weiland e Guyonnet (2003), a eficiência do tratamento térmico na prevenção do ataque de fungos xilófagos se deve ao fato da ocorrência de alterações na composição química da madeira de modo a promover a indisponibilidade de alimentos (hemiceluloses) aos fungos, a redução do teor de umidade de equilíbrio, a criação de novas moléculas livres que atuam como fungicidas, além de reticular a rede de lignina dificultando o reconhecimento do substrato pelos fungos.

Diversos outros autores têm sugerido possíveis razões para o efeito do tratamento térmico na melhoria da durabilidade da madeira contra a degradação por fungos, como por exemplo, a degradação das hemiceluloses em polímeros furfural que são menos higroscópicos para a água (STAMM, 1964); a ocorrência de transformações químicas dos componentes da madeira menores (por exemplo, minerais e vitaminas) que são essenciais para o metabolismo dos fungos, alterações de componentes da madeira, como os carboidratos de baixo peso molecular, que possam ser necessários para o ataque inicial dos fungos (BAECHLER, 1959); a modificação de carboidratos e a formação de compostos tóxicos (HIGHLEY, 1970); o aumento na rede de ligações cruzadas dentro do complexo lignina-carboidrato, com a conseqüente melhoria da higroscopicidade; modificação dos componentes poliméricos da madeira estrutural; transformação seletiva das hemiceluloses, o componente da madeira mais hidrofílico e de mais fácil digestão, sendo transformados em uma rede hidrofóbica (TJEERDSMA et al., 1998); e a diminuição de alguns componentes da madeira, especialmente hemicelulose, modificações da lignina e a formação de novas ligações éter e a redução da higroscopicidade da madeira (WEILAND e GUYONNET, 1997; 2003).

Para Silva et al. (2008), a melhor durabilidade contra o ataque de fungos da madeira tratada termicamente explicada-se por quatro razões sendo elas, a geração de novos extrativos durante o tratamento térmico que pode atuar como fungicida; a modificação química dos polissacarídeos e lignina da madeira que leva a uma inibição das enzimas digestivas dos fungos, decorrente da perda de capacidade dessas enzimas em reconhecer o seu substrato; a ocorrência de significativa degradação das hemiceluloses que constituem uma das principais fontes de nutrientes para os fungos e um aumento na característica hidrofóbica da madeira, que reduz a absorção de água e estabelece uma condição que não favorece o desenvolvimento de certos fungos.

### **4.3 Tratamento Químico**

#### **4.3.1 Resistência da madeira de *Pinus caribaea* - tratamento químico com CCA e CCB**

A análise fatorial de variância para a variável perda de massa causada pelos fungos xilófagos de podridão parda (*Postia placenta* e *Neolentinus lepideus*) e branca (*Trametes versicolor*) às amostras tratadas com os produtos químicos CCA e CCB, apresentadas nos anexos 4, 5 e 6, mostrou que somente para o fungo *Neolentinus lepideus* ocorreram efeitos significativos a um nível de 95% de probabilidade.

Como pode ser observado na Tabela 9, somente o fator principal posição radial ocasionou diferenças estatísticas entre as médias resultantes dos tratamentos realizados com o CCA e o CCB. A posição externa, para este fungo, resultou numa menor perda de massa.

De uma maneira geral, a madeira de pinus tratada com os produtos CCA e CCB foi classificada após o ensaio de degradação acelerada como altamente resistente, confirmando o resultado encontrado por diversos autores quanto a eficiência de ambos na preservação da madeira (HEDLEY et al., 2000; PAES et al., 2008; LOPES et al., 2004).

Cabe ressaltar que não houve diferenças significativas entre os dois produtos quanto à eficiência na prevenção ao ataque de xilófagos, assim como foi encontrado por Lopes et al. (1984), mas há de se considerar outras propriedades que conferem diferenças entre eles, tal como a taxa de lixiviação.

Os resultados encontrados com os produtos CCA e CCB neste trabalho serão utilizados como referência para avaliação da eficiência dos produtos naturais apresentados e discutidos a seguir.

**Tabela 9:** Valores médios de perda de massa causada pelo ataque de fungos xilófagos em madeiras tratadas quimicamente com CCA e CCB.

		Fonte de variação	Nível do Fator		Perda de Massa (%)			
			Produto	Posição	Média	DP		
<b>FUNGOS XILÓFAGOS</b>	<i>Postia placenta</i>	<b>FATORES</b>						
		A – Produto	CCA		1,46	3,05		
			CCB		2,94	6,22		
		B – Posição		C	3,83	6,47		
				E	0,58	1,25		
		<b>INTERAÇÃO</b>						
		Produto x Posição	CCA	C	2,32	4,13		
			CCA	E	0,60	1,29		
			CCB	C	5,34	8,34		
			CCB	E	0,55	1,33		
	<i>Trametes versicolor</i>	<b>FATORES</b>						
		A – Produto	CCA		1,29	3,69		
			CCB		3,25	5,30		
		B – Posição*		C	4,16 <sup>A</sup>	5,91		
				E	0,39 <sup>B</sup>	1,05		
		<b>INTERAÇÃO</b>						
		Produto x Posição	CCA	C	2,57	5,10		
			CCA	E	0,01	0,00		
			CCB	C	5,74	6,70		
			CCB	E	0,76	1,44		
	<i>Neolentinus lepideus</i>	<b>FATORES</b>						
		A – Produto	CCA		1,01	3,23		
			CCB		0,93	2,62		
		B – Posição		C	1,87	3,94		
			E	0,08	0,23			
<b>INTERAÇÃO</b>								
Produto x Posição		CCA	C	1,89	4,59			
		CCA	E	0,14	0,32			
		CCB	C	1,85	3,62			
		CCB	E	0,01	0,00			

DP = Desvio Padrão; C = Central; E = Externa; \* = Fator ou Interação significativo; Média com letras iguais denotam igualdade estatística ao nível de 95% de probabilidade dentro de cada fator ou interação.

#### 4.3.2 Resistência da madeira de *Pinus caribaea* tratada quimicamente, ao fungo *Postia placenta*

A análise fatorial de variância para a variável perda de massa ocasionada pelo ataque do fungo *Postia placenta*, apresentada no anexo 7, mostrou que todos os fatores (com exceção da posição radial) e suas interações foram significativos a um nível de 95% de probabilidade.

Como pode ser observado na tabela 10, o produto Nim foi aquele que diferiu significativamente dos demais, apresentando a maior média de perda de massa. Apesar disso, o produto também se mostrou eficiente tendo em vista que as amostras com ele tratadas apresentaram uma média de perda de massa 16,94%, ocorrendo uma diminuição na degradação de 59,72 %.

Outro fator que isoladamente afetou de forma significativa foi a concentração dos produtos utilizados. Nota-se que a concentração de 50% proporcionou resultados bem mais

satisfatórios, com uma diminuição de 87,14 % na degradação, quando comparada a madeira não tratada. Tal resultado foi suficiente para conferir à madeira uma classe de alta resistência.

O fator posição radial, não afetou, isoladamente, os resultados.

Todas as interações proporcionaram efeitos significativos nos resultados encontrados. Para a interação AxB (produto x concentração), observa-se que as menores perdas de massa foram encontradas na concentração de 50% em todos os produtos, a exceção do Nim. Esses resultados confirmam o efeito significativo dos fatores produto e concentração, verificados anteriormente. De uma forma geral, o produto Nim e a concentração de 5% obtiveram o pior desempenho dentre os produtos e concentração estudados.

A interação AxC (produto x posição) também causou efeito significativo nos resultados. Observa-se na tabela 10 que os produtos RB, RB+TC e TC, para as duas posições radiais, obtiveram as menores perdas de massa frente ao ataque do fungo *Postia placenta*. Contudo, cabe ressaltar que o produto Nim, obteve uma igualdade estatística quando foi utilizado na madeira da região externa.

A interação entre os fatores concentração e posição (BxC) também ocasionou efeitos significativos nas médias, mas, observa-se a forte influência do fator concentração nos resultados, visto que as melhores médias foram obtidas na concentração de 50% enquanto que as piores na concentração de 5%.

A interação tripla (AxBxC), observada na tabela 10, mostra que os melhores resultados foram alcançados quando se utilizou o produto TC isoladamente ou combinado com o RB, à uma concentração de 50%, independente da posição radial. O resultado de maior perda de massa foi sempre mais pronunciado quando se utilizou o produto Nim, exceto quando este foi combinado com uma concentração de 50% com a madeira da região externa.

**Tabela 10:** Valores médios de Perda de massa causada pelo ataque do fungo *Postia placenta* para cada fator e suas interações.

	Fonte de variação	Nível do fator			Perda de massa (%)	
		Produto	Concentração (%)	Posição	Média	DP
<b>FATORES</b>	A – Produto*	Nim			16,94 <sup>A</sup>	7,93
		RB			9,66 <sup>B</sup>	9,17
		RB+TC			11,53 <sup>B</sup>	11,78
		TC			9,86 <sup>B</sup>	9,80
	B – Concentração*		5		18,58 <sup>A</sup>	8,90
			50		5,41 <sup>B</sup>	6,07
	C – Posição			C	11,71	10,45
				E	12,28	9,76
	<b>INTERAÇÕES</b>	A x B*	Nim	5		19,86 <sup>AB</sup>
50					14,02 <sup>B</sup>	4,41
RB			5		14,95 <sup>AB</sup>	10,24
			50		4,36 <sup>C</sup>	3,14
RB+TC			5		21,51 <sup>A</sup>	8,19
			50		1,55 <sup>C</sup>	2,40
TC			5		18,01 <sup>AB</sup>	6,85
			50		1,71 <sup>C</sup>	3,00
A x C*		Nim		C	20,19 <sup>A</sup>	8,66
				E	13,69 <sup>AB</sup>	5,79
		RB		C	6,65 <sup>B</sup>	5,83
				E	12,66 <sup>B</sup>	11,06
		RB+TC		C	11,16 <sup>B</sup>	13,03
				E	11,90 <sup>B</sup>	10,96
		TC		C	8,84 <sup>B</sup>	8,49
				E	10,88 <sup>B</sup>	11,24
B x C*			5	C	16,95 <sup>A</sup>	11,22
			5	E	20,22 <sup>A</sup>	5,50
			50	C	6,48 <sup>B</sup>	6,33
			50	E	4,34 <sup>B</sup>	5,73
A x B x C*		Nim	5	C	25,29 <sup>A</sup>	9,27
		Nim	5	E	14,43 <sup>ABCD</sup>	7,00
		Nim	50	C	15,09 <sup>ABC</sup>	4,07
		Nim	50	E	12,95 <sup>BCDE</sup>	4,84
	RB	5	C	7,04 <sup>CDEF</sup>	8,03	
	RB	5	E	22,87 <sup>AB</sup>	4,00	
	RB	50	C	6,26 <sup>CDEF</sup>	3,15	
	RB	50	E	2,46 <sup>EF</sup>	1,75	
	RB+TC	5	C	21,03 <sup>AB</sup>	11,40	
	RB+TC	5	E	22,00 <sup>AB</sup>	4,14	
	RB+TC	50	C	1,30 <sup>F</sup>	3,16	
	RB+TC	50	E	1,81 <sup>EF</sup>	1,60	
	TC	5	C	14,43 <sup>ABCD</sup>	8,36	
	TC	5	E	21,60 <sup>AB</sup>	1,54	
	TC	50	C	3,26 <sup>DEF</sup>	3,74	
	TC	50	E	0,16 <sup>F</sup>	0,32	

DP = Desvio Padrão; C = Central; E = Externa; \* = Fator ou Interação significativo; Média com letras iguais denotam igualdade estatística ao nível de 95% de probabilidade dentro de cada fator ou interação.

De uma maneira geral, observa-se uma tendência clara de redução da perda de massa quando se utilizou todos os produtos, com exceção do Nim, a uma concentração de 50%. Os valores médios encontrados para esses tratamentos classificam a madeira como sendo de alta resistência ao ataque de fungos xilófagos, de acordo com a ASTM D - 2017 (ASTM, 2005).

#### **4.3.3 Resistência da madeira de *Pinus caribaea* tratada quimicamente, ao fungo *Neolentinus lepideus***

A análise fatorial de variância para a variável perda de massa ocasionada pelo ataque do fungo *Neolentinus lepideus*, apresentada no anexo 8, mostrou que os fatores produto e concentração isoladamente, e as interações AxB (produto x concentração) e BxC (concentração x posição) foram significativas a um nível de 95% de probabilidade.

Como pode ser observado na tabela 11, a exemplo do que ocorreu com o fungo *Postia placenta*, o produto Nim foi aquele que diferiu significativamente dos demais apresentando a maior média de perda de massa (13,91%).

Novamente observa-se que o efeito significativo da concentração do produto proporcionou resultados satisfatórios. Nota-se uma redução acima de 50% nos valores de perda de massa com o aumento da concentração de 5 para 50%. Esse aumento da concentração causou uma alteração positiva na classificação da resistência da madeira, ou seja, a mesma passou de resistente para altamente resistente, conforme classificação da ASTM D - 2017 (ASTM, 2005).

A exceção da interação tripla (AxBxC), todas as outras foram consideradas significativas. Para a interação AxB (produto x concentração) observa-se que os menores valores de perda de massa foram encontrados na concentração de 50% em todos os produtos, a exceção do Nim. Como ocorrido com o fungo *Postia placenta*, os resultados aqui observados confirmam a diferença significativa entre o Nim e os demais produtos e entre as concentrações de 50% e 5%. De uma forma geral, para os fungos de podridão parda, o produto Nim nas duas concentrações (5 e 50%) resulta em médias superiores de perda de massa quando comparado aos demais tratamentos.

A interação BxC (concentração x posição) também causou efeito significativo nos resultados. Observa-se na tabela 11 que a presença de uma concentração de 50% proporciona os melhores resultados, independente da posição, ratificando o efeito positivo dessa concentração.



**Tabela 11** - Valores médios de Perda de Massa causada pelo ataque do fungo *Neolentinus lepideus* para cada fator e suas interações.

	Fonte de variação	Nível do fator			Perda de massa (%)	
		Produto	Concentração (%)	Posição	Média	DP
<b>FATORES</b>	A – Produto*	Nim			13,91 <sup>A</sup>	5,35
		RB			4,32 <sup>B</sup>	4,70
		RB+TC			5,98 <sup>B</sup>	7,61
		TC			6,81 <sup>B</sup>	8,49
	B – Concentração*		5		10,55 <sup>A</sup>	7,80
			50		4,96 <sup>B</sup>	6,24
	C – Posição			C	7,37	8,41
			E	8,14	6,70	
<b>INTERAÇÕES</b>	A x B*	Nim	5		13,54 <sup>A</sup>	6,57
			50		14,27 <sup>A</sup>	4,03
		RB	5		5,91 <sup>BC</sup>	6,00
			50		2,73 <sup>C</sup>	2,17
		RB+TC	5		11,11 <sup>AB</sup>	7,63
			50		0,86 <sup>C</sup>	2,32
		TC	5		11,66 <sup>AB</sup>	9,36
			50		1,96 <sup>C</sup>	3,42
	A x C	Nim		C	15,38	7,14
				E	12,43	2,00
		RB		C	3,44	4,48
				E	5,20	4,95
		RB+TC		C	3,88	6,95
				E	8,08	7,95
		TC		C	6,78	9,06
				E	6,84	8,28
	B x C*		5	C	8,72 <sup>AB</sup>	9,42
			5	E	12,39 <sup>A</sup>	5,36
			50	C	6,02 <sup>BC</sup>	7,20
			50	E	3,89 <sup>C</sup>	5,03
	A x B x C	Nim	5	C	13,86	9,59
		Nim	5	E	13,22	1,70
		Nim	50	C	16,90	3,83
		Nim	50	E	11,64	2,11
		RB	5	C	3,21	6,30
		RB	5	E	8,60	4,71
		RB	50	C	3,67	2,08
		RB	50	E	1,79	1,98
RB+TC		5	C	7,60	8,54	
RB+TC		5	E	14,63	5,06	
RB+TC		50	C	0,17	0,40	
RB+TC		50	E	1,54	3,26	
TC		5	C	10,23	11,45	
TC		5	E	13,08	7,54	
TC		50	C	3,33	4,57	
TC		50	E	0,60	0,61	

DP = Desvio Padrão; C = Central; E = Externa; \* = Fator ou Interação significativo; Média com letras iguais denotam igualdade estatística ao nível de 95% de probabilidade dentro de cada fator ou interação.

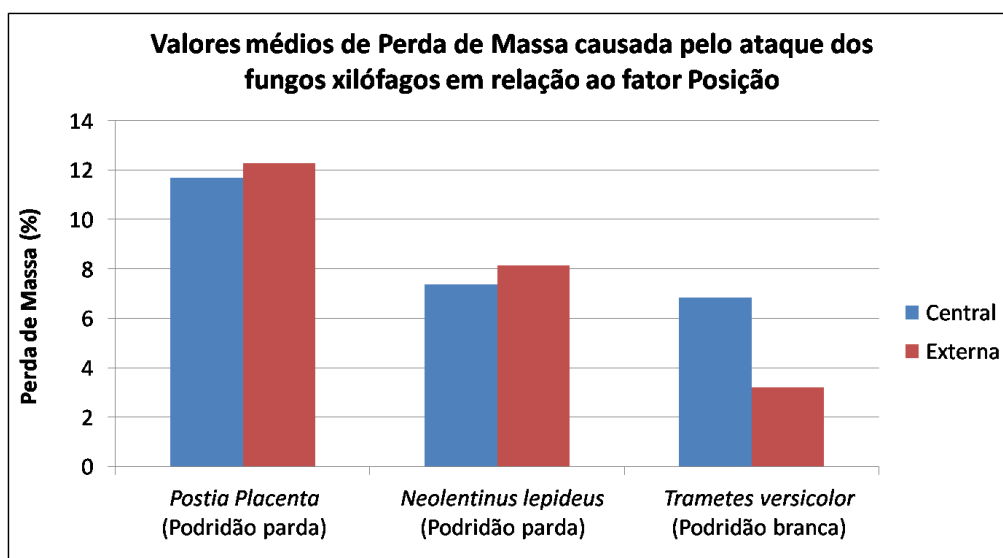
#### 4.3.4 Resistência da madeira de *Pinus caribaea* tratada quimicamente, ao fungo *Trametes versicolor*

A análise fatorial de variância para a variável perda de massa ocasionada pelo ataque do fungo *Trametes versicolor*, apresentada no anexo 9, mostrou que os fatores produto e posição, e as interações AxB (produto x concentração) e AxC (produto x posição) foram significativos a um nível de 95% de probabilidade.

Como pode ser observado na tabela 12, a exemplo do que ocorreu com os fungos de podridão parda (*Postia placenta* e *Neolentinus lepideus*), o produto Nim foi aquele que diferiu significativamente dos demais, apresentando a maior média de perda de massa (10,71%).

Esse resultado demonstra o efeito positivo do uso dos produtos naturais RB e TC, assim como a sua combinação na relação 1:1, em massa. Ambos os produtos assim como sua combinação se mostraram eficiente na prevenção do ataque, tanto de fungos de podridão parda como de podridão branca. As médias de perda de massa obtidas foram equivalentes à classe de altamente resistente ao apodrecimento.

O fungo de podridão branca *Trametes versicolor* mostrou-se sensível em relação a posição radial da amostra de madeira. Isoladamente, esse fator causou efeito significativo nos resultados. A madeira da região externa apresentou média inferior de perda de massa quando comparada com a madeira da região central. Segundo Botelho et al. (2000), a resistência a deterioração pode variar entre espécies e dentro de uma mesma árvore. Para quase todas as espécies, a madeira proveniente da porção interna, o cerne, é mais resistente que a da porção externa, o alburno (SANTINI, 1988; MENDES e ALVES, 1988). Para o fungo *Trametes versicolor* resultado diferente foi encontrado e tal fato pode ser explicado possivelmente pela afirmação de Burger & Richter (1991), de que o cerne, em relação ao alburno, é menos permeável, possuindo maiores dificuldades na secagem e na absorção de produtos preservativos.



**Figura 9:** Valores médios de perda de massa causada pelo ataque dos fungos xilófagos em relação ao fator posição.

**Tabela 12:** Valores médios de perda de massa causada pelo ataque do fungo *Trametes versicolor* para cada fator e suas interações.

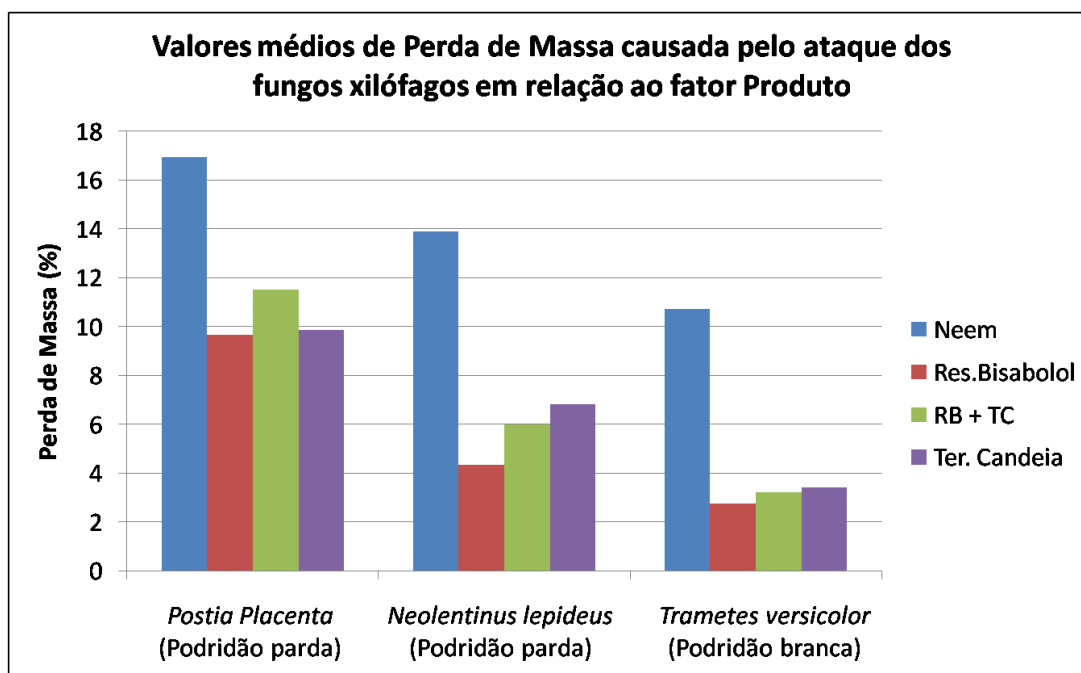
	Fonte de variação	Nível do Fator			Perda de Massa (%)	
		Produto	Concentração (%)	Posição	Média	DP
<b>FATORES</b>	A – Produto*	Nim			10,71 <sup>A</sup>	10,64
		RB			2,75 <sup>B</sup>	3,61
		RB+TC			3,2 <sup>B</sup>	5,19
		TC			3,4 <sup>B</sup>	6,02
	B – Concentração		5		6,02	6,69
			50		4,07	8,25
	C – Posição*			C	6,85 <sup>A</sup>	9,37
				E	3,23 <sup>B</sup>	4,51
	<b>INTERAÇÕES</b>	A x B*	Nim	5		8,40 <sup>AB</sup>
50					13,02 <sup>A</sup>	12,71
RB			5		3,36 <sup>BC</sup>	4,64
			50		2,15 <sup>BC</sup>	2,22
RB+TC			5		5,96 <sup>BC</sup>	6,19
			50		0,53 <sup>C</sup>	1,40
TC			5		6,34 <sup>BC</sup>	7,33
			50		0,59 <sup>C</sup>	2,01
A x C*		Nim		C	19,03 <sup>A</sup>	9,03
				E	2,38 <sup>B</sup>	2,04
		RB		C	2,05 <sup>B</sup>	3,74
				E	3,46 <sup>B</sup>	3,50
		RB+TC		C	3,59 <sup>B</sup>	5,78
				E	2,90 <sup>B</sup>	4,77
		TC		C	2,74 <sup>B</sup>	5,38
				E	4,19 <sup>B</sup>	6,77
B x C			5	C	6,86	7,68
			5	E	5,17	5,57
			50	C	6,85	10,97
			50	E	1,29	1,63
A x B x C		Nim	5	C	14,77	5,98
		Nim	5	E	2,03	2,59
		Nim	50	C	23,29	10,00
		Nim	50	E	2,74	1,46
	RB	5	C	1,97	4,80	
	RB	5	E	4,75	4,45	
	RB	50	C	2,14	2,78	
	RB	50	E	2,16	1,77	
	RB+TC	5	C	6,39	7,14	
	RB+TC	5	E	5,53	5,74	
	RB+TC	50	C	0,80	1,93	
	RB+TC	50	E	0,26	0,62	
	TC	5	C	4,31	7,04	
	TC	5	E	8,37	7,67	
	TC	50	C	1,17	2,84	
	TC	50	E	0,01	0,00	

DP = Desvio Padrão; C = Central; E = Externa; \* = Fator ou Interação significativo; Média com letras iguais denotam igualdade estatística ao nível de 95% de probabilidade dentro de cada fator ou interação.

As interações duplas AxB (produto x concentração) e AxC (produto x posição) também proporcionaram efeitos significativos nos resultados. Para a interação AxB (produto x concentração), observa-se que as médias obtidas nos tratamentos onde o Nim foi utilizado resultaram em uma maior perda de massa. A interação AxC (produto x posição) também causou efeito significativo nos resultados para o fungo *Trametes versicolor*. Nota-se (Tabela 12) uma igualdade estatística entre praticamente todas as combinações, exceto quando foi utilizado o produto Nim com a madeira da região central.

#### 4.3.5 Considerações sobre o tratamento químico

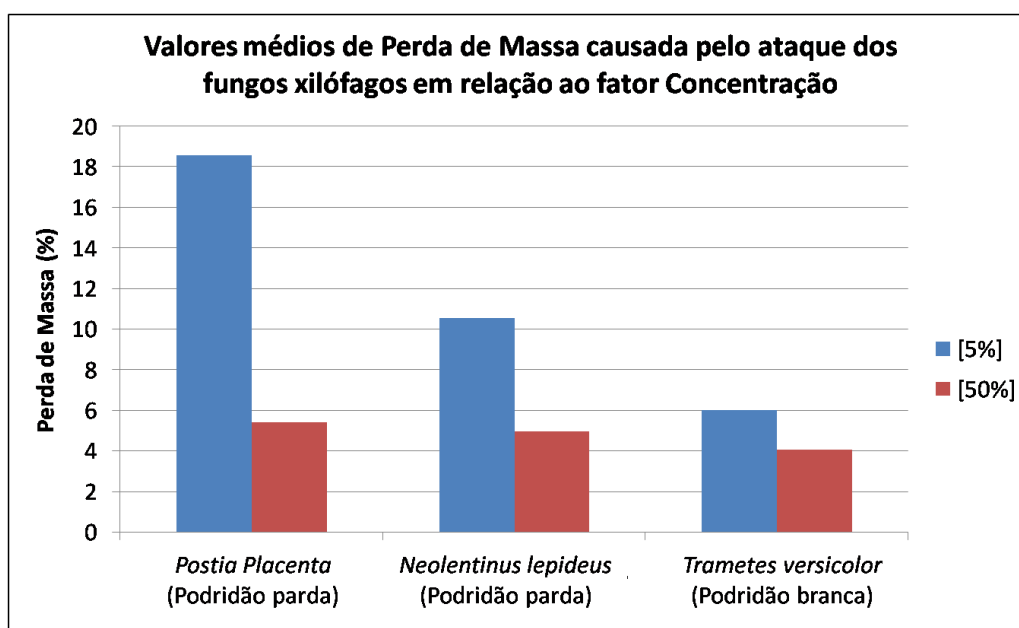
O tratamento químico realizado com os produtos naturais RB (Resina de bisabolol) e TC (Terpeno de candeia), bem como a sua combinação na relação de 1:1, mostrou-se eficiente, uma vez que, para todos os fungos estudados ocasionou uma redução significativa da perda de massa, quando comparada aos resultados obtidos a partir da madeira não tratada. Mesmo para o produto Nim, que apresentou menor eficiência dentre os produtos naturais estudados, os resultados foram considerados satisfatórios, exceto para o fungo de podridão branca.



**Figura 10:** Valores médios de perda de massa causada pelo ataque dos fungos xilófagos em relação ao fator produto.

O uso dos produtos naturais RB e TC, a 50% de concentração, ocasionaram uma redução significativa dos valores de perda de massa. Esses tratamentos proporcionaram a classificação da madeira tratada como altamente resistente, comparando-se aos tratamentos realizados com os produtos químicos CCA e CCB.

De uma maneira geral, observa-se uma significativa redução da perda de massa para os três fungos apresentados, quando a concentração dos produtos foi elevada de 5% para 50% (Figura 11).



**Figura 11:** Valores médios de perda de massa causada pelo ataque dos fungos xilófagos em relação ao fator concentração.

Apesar da alta concentração (50%) utilizada para esses produtos naturais, frente à baixa concentração (2%) utilizada no tratamento com o CCA e o CCB, é importante ressaltar que os mesmos se apresentam de forma alternativa, visto que são produtos naturais e que possivelmente oferecem um baixo impacto ao homem e ao meio ambiente. Assim, este trabalho abre demanda de aprofundamento nas pesquisas visando o emprego desses produtos naturais na preservação da madeira em escala industrial.

O fato dos produtos RB e TC serem provenientes do processo de destilação para a produção do Alfa Bisabolol, os caracterizam como sendo resíduos de um processo industrial, onde, medidas que visam dar a eles um melhor aproveitamento devem ser valorizadas e mais aprofundadamente pesquisadas. Desta forma, este estudo contribui para demonstrar a existência da possibilidade de emprego dos mesmos.

## 5 CONCLUSÕES

- A madeira de *Pinus caribaea* apresentou baixa resistência natural ao ataque de fungos de podridão parda (*Postia placenta* e *Neolentinus lepideus*);
- O fungo *Postia placenta* apresentou-se como responsável pelos maiores valores de perda de massa;
- O tratamento térmico melhorou a resistência biológica da madeira, quando exposta ao ataque de fungos de podridão parda, contudo, foi insuficiente para qualificá-la como resistente;
- A elevação da temperatura no tratamento térmico causou redução na perda de massa da madeira de *Pinus caribaea* quando submetida ao ataque de fungos de podridão parda (*Postia placenta* e *Neolentinus lepideus*) e branca (*Trametes versicolor*);
- O aumento do tempo do tratamento térmico e a variação da posição radial da madeira não contribuíram significativamente para melhoria da resistência ao apodrecimento causado por fungos de podridão parda e branca;
- O produto Nim, independente da concentração utilizada, não conferiu a madeira uma resistência elevada ao ataque de fungos apodrecedores mas, contribuiu para a redução da perda de massa causada por estes;
- A concentração de 50% proporcionou a todos os produtos naturais o melhor desempenho frente ao ataque dos fungos apodrecedores;
- O uso na preservação da madeira dos produtos RB e TC, bem como a sua combinação na relação 1:1, na concentração de 50%, conferiram a madeira uma classe considerada altamente resistente ao ataque de fungos apodrecedores por apresentar perda de massa média inferior a 10%.

## 6 BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Preservação de madeira**. Curitiba, 2004. 4 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1413. Standard test method for wood preservatives by laboratory soilblock cultures. **Annual Book of ASTM Standards**, v. 0410, p. 119-121, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-2017. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. **Annual Book of ASTM Standards**, v. 0410, p. 324-328, 2005.

ALEXOPOULOS, C. J.; MINS, C. W.; BLACKWELL, M. **Introductory mycology**. 4. ed. New York: John Wiley, 1986. 868 p.

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.

BAECHLER, R.H. Improving wood's durability through chemical modification. **Forest Products Journal**, v. 9, p.166–171, 1959.

BALLARIN, A. W; PALMA, H. A. L. Propriedades da resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v.27, n. 23, p. 371-380, 2003.

BARILLARI, C.T. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: Avaliação em campo e apodrecimento**. 2002. 79 f. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz – USP. Piracicaba.

BARREIROS, R. M. **Preservação de Madeira**. Itapeva: Universidade Estadual Paulista, 1998. 3 p.

BENEVENTE, V.A. **Durabilidade em construções de madeira.Uma questão de projeto. 1995. 231 f.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BONONI, V. L. R. *Zigomicetos, Basidiomicetos e Deuteromicetos*. São Paulo: Instituto de Botânica, Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 1998. 184 p.

BRITO, J.O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: Congresso Florestal Brasileiro, 7, Anais... Curitiba: SBS/SBEF, 1993. 774 p.

BRITO, J.O.; GARCIA, J.N.; BORTOLETTO JR, G. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termoretificação. **Revista Cerne**, v.12, n.2, p.182-188, 2006.

BURGER, M. L. & RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel. 1991. 154p.

BHUTTA, A. R.; BHATTI, M. H. R.; IFTIKHAR, A. Effect of seed diffusates on fungal population and germination of sunflower seeds. **Hélia**, v. 24 n. 34, p.77-81, 2001.

BRAND, M. A.; ANZALDO, J.; MORESCHI, J. C. Novos produtos para o tratamento preservante da Madeira. “perspectivas da pesquisa e utilização”. **Revista Floresta**, v. 36, n. 1, 2006.

BUTCHER, J. A. Some recente trends in Wood preservation new chemicals and improved treatment processes. **Mokuzai Hozon (Wood Preservation)**, v.11, n.2, 1985.

CALONEGO, F. W. **Efeito da termorreificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden.** 2009, 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

CARBALLEIRA LOPEZ, G.A.; MILANO, S. Avaliação da durabilidade da madeira e de produtos usados na sua proteção. In:LEPAGE, E.S.,(Coord.) **Manual de preservação de madeiras.** São Paulo: IPT, 1986. v. 2. p. 473 – 521.

CARLOS, V. J. Resistência a insetos xilófagos. **Preservação**, v.21, n.11, p.25, 1996.

CARPINELLA, M.C.; GIORDA, L.M.; FERRAYOLI, C.G.; PALACIO, S S.M. Antifungal effects of different organic extracts from *Melia azedarach* L. on phytopathogenic fungi and their isolated active components. **J. Agric. Food Chem.**, v. 51, n.9: p. 2506-2511, 2003.

CARVALHO, A. **Impregnação de madeira para construções rurais.** Lisboa: Direção Geral dos serviços Florestais e Agrícolas, 1966. 98p. (estudos e Informação, 227).

CAVALCANTE, M. S. Implantação e desenvolvimento da preservação de madeiras no Brasil. **Pesquisa & Desenvolvimento**, v.14, p. 1-57, 1983.

CAVALCANTE, M.S. 1982. **Deterioração biológica e preservação de madeira.** São Paulo: IPT, 1982. 40 p.

CAVALIERI, E.; MARIOTTO, S.; FABRIZI, C.; PRATI, A. C.; GOTTARDO, R.; LEONE, S.; BERRA, L. V.; LAURO, G. M.; CIAMPA, A. R.; SUZUKI, H.  $\alpha$  - Bisabolol, a nontoxic natural compound strongly induces apoptosis uin glioma cells. **Biochemistry and Biophysics Research Comunications**, v.315, n.3, p. 589-594, 2004.

COCKROFT, R. Timber preservatives and methods of treatment. **Timberland papers Princes Risborough Laboratory**, v.46, p. 1-6, .1971

COSTA, R. B. da. **Métodos de seleção, interação genótipo x ambiente e ganho genético para o melhoramento de seringueira no Estado de São Paulo.** 1999. 145 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DÉON, G. **Manuel de préservation de bois en climat tropicaux.** Centre Technique Forestier Tropical. Nogent-Sur-Marne France: CTFT 1978. 111p.



ESTEVEES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.

FARIAS SOBRINHNO, D.W. **Viabilidade técnica e econômica do tratamento preservativo da madeira de algaroba ( *Prosopis juliflorea* (Sw) D.C.) pelo método de substituição da seiva**. 2003. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - , Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

FINDLAY, W. P. K. The nature and durability of wood. In: FINDLAY, W. P. K. **Preservation of timber in the tropics**. Dordrecht: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, 1985. p. 1-13.

FONSÊCA, C. M. B. **Eficiência do óleo de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) na melhoria da resistência da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn) ao cupim xilófago *Nasutitermes corniger* Motsch**. 2008. 22 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos.

FRANCIS, J. K. ***Pinus caribaea* Morelet. Caribbean pine**. New Orleans: Department of agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 1992. 10 p.

GALDINO, A. P. P.; BRITO, J. O.; GARCIA, R. F.; SCOLFORO, J. R. Estudo sobre o rendimento e qualidade do óleo de candeia (*Eremanthus* spp) e a influência das diferentes origens comerciais da sua madeira. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 8, n. 4, p. 44-46, 2006.

GALVÃO, A.P.M. **Características da distribuição de alguns preservativos hidrossolúveis em moirões de *Eucalyptus alba* Reinw. tratados pelo processo de absorção por transpiração radial**. 1968. 115f. Tese (Doutorado em Agronomia) – escola de Agricultura Luiz de Queirós, Piracicaba.

GALVÃO, A.P.M.; MAGALHÃES, W.L.E.; MATTOS, P.P. **Processos práticos para preservar madeira**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Floresta.Colombo, Paraná.49 p.

GERALDO, F.C. Aspectos tecnológicos e econômicos da preservação de madeiras. In: II CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2002. Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2002.

GIBSON, G. L. A review of provenance testing of commercially important tropical pines. In: SIMPOSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ESPÉCIES FORESTALES, 1987, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: CIEF, 1987. p. 29-61.

GOHAR, P.; GUYONET, R. Development of wood retification process at the industrial stage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD PRESERVATION, 4., cannes, 1998. **Proceedings**, cannes: IRG, 1998. p. 173 – 178.

GOVINDACHARI T.R., SURESH G.; MASILAMANI S. Antifungal activity of *Azadirachta indica* leaf hexane extract. **Fitoterapia**, v. 70, n.4, p.417-420, 1999.

GRAINGE, M. et al. Plant species reportedly possessing pest control properties – a database (Document No. RM 84-1). **Resource Systems Institute**, East-west Center, Honolulu, 1985.

GUEDIRA, F. **Pyrolise lente de la biomasse: comportement compare des tourteux d olives, de la bagasse de canne a sucre et la sciure de bois (Pin maritime)**. 1988. 122 f. Thèse (Docteur) - Université Mohamed, Maroc.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science: an introduction**. Ames: Iowa Sate University, 1982. 459 p.

HEDGE, N.G. Improving the productivity of neem trees. **Indian Journal of Entomology**, v. 50, p. 147-150, 1996.

HEDLEY, M.; PAGE, D.; PATTERSON, B. Long term performance of CCA preservatives in ground contact. In: ANNUAL MEETING, 31. 2000, Kona. **Resumos...** Kona: The International Research Group on Wood Preservation, 2000. p. 15.

HIGHLEY, T. L. Decay resistance of four woods treated to destroy thiamine. **Phytopathology**, v. 60, n. 11, p. 1660–1661, 1970.

HOMAN, W. et al. Structural and other properties of modified wood. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 5., 2000, Switzerland. **Anais eletrônicos...** Switzerland: CIB-W18 Meeting 33, 2000. Disponível em: < <http://oregonstate.edu/conferences/wcte2006/>. Acesso em: 23 dez. 20011.

HUNT, G. M.; GARRAT, G. A. **Wood preservation**. 3. ed. New York: Mac Graw - Hill, 1953. 417p.

HUNT, G.M. ; GARRAT, G. A. **Wood preservation**. 3. ed. New York: Mc Graw – Hill, 1967. 433p.

JANKOWSKY, I. P. Melhorando a qualidade e a durabilidade das madeiras através do tratamento preservativo. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., Curitiba.. **Anais...** Curitiba: SBS; SBEF, 1993. v.3, p. 304-306.

KRAUS, W. Natural products as pesticides. In: INTERNATIONAL PLANT PROTECTION CONGRESS, 12., 1991, Rio de Janeiro. **Resumos...** Brasília: MARA, 1991.

LELIS, A. T. de; BRAZOLIN, S.; FERNANDES, J. L. G.; LOPEZ, G. A. C.; MONTEIRO, M. B. B.; ZENID, G. J. **Biodeterioração de madeiras em edificações**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). São Paulo. 2001. 54 p.

LEPAGE, E.S. Preservativos e sistemas preservativos. In: LEPAGE, E.S. (Coord.). **Manual de preservação de Madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 1. p.279 – 342.

LOPES, G. A. C.; LEPAGE, E. S.; NETO, O. B. **Effectiveness of Wood Preservatives by IUFRO's Method**. ed. Stockholm: IRG Secretariat, 1984.42 p.

MARTINEZ, S.S. **O Nim - Azadirachta indica Natureza, usos múltiplos, produção**. ed. Londrina: IAPAR, 2002. 142 p.

MARTÍNEZ, Á. T. et al. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. **International Microbiology**, v. 8, p. 195 – 204, 2005.

MENDES, A. J.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**, ed. Brasília: IBDF/DPQ - LPF, 1998. 57 p.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **Curso sobre a degradação da madeira e sua preservação**. ed. Brasília: IBDF, 1986. 51 p.

MICKLEWRIGHT, J. T. **Wood preservation statistics 1991: a report to the wood preserving industry in the USA**. American Wood-preserved's Assoc. Woodstock. 11 p.

MILITZ, H.; TJEERDSMA, B. **Heat treatment of wood by the plato - process**. In: RAPP, A.O. Review on heat treatments of wood. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. p. 27-38.

MITCHELL, P. Irreversible property changes of small Loblolly Pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen. **Wood Fiber Science**, v. 20, n. 3, p. 320-333, 1988.

MOHEBBY, B.; SANAEI, I. Influences of the hydro-thermal treatment on physical properties of beech Wood (*Fagus orientalis*). In: ANNUAL MEETING BANGALORE, 36., 2005, India. **Anais eletrônicos...** India: Tarbiat Modarress University, 2005. Disponível em: < <http://www.modares.ac.ir/file/IRG05-78Mohebbby.pdf?p=UxFL0lSRzA1LU1vaGViYnkucGRmLjI1NDY4MV9QQVRI&n=SVJMDUuTW9oZWJieS5wZGY->> Acesso em: 17 fev.. 2011.

MONTANA QUÍMICA S.A. São Paulo: **Biodeterioração e preservação de madeiras**, 1991. 75 p.

MORAES, M. A. F. D.; BACHA, C.J.C. Indústria de madeira preservada. **Preços agrícolas**, v.10, n. 115, p.2 – 5,1996.

MORESCHI, J.C. **Produtos Preservantes de Madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. Disponível em: < <http://www.madeira.ufpr.br>> Acesso em 23/03/2011.

MORGAN, E.D. Azadirachtin, a scientific gold mine. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 17, p. 4096-4105, 2009.

NARAGNAN, C. R.; SING, R. P.; SAWAINAP, D. D. Phagodeterreny of various fractions of neem oil against *Schistocerca gregaria* Forsk. **Indian Journal of Entomology**, v. 43, n. 3, p. 469-72, 1980.

NEVES, B. P. das.; OLIVEIRA, I. P. de.; NOGUEIRA, J. C. M. **Cultivo e utilização do nim indiano**. EMBRAPA/CNPAP, 2003. 12p.

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

OLIVEIRA, J. T. da S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema, 2007. 420 p.

OLIVEIRA, J.T.; TOMASELLO, M.; SILVA, J.C. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 993-998, 2005.

PAES, J. B. et al. Resistência natural de nove madeira do semi-árido brasileiro a cupins subterrâneos, em ensaios de laboratório. **Revista Cerne**, v.9, n.1, p.36-47, 2003.

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

PAES, J. B.; SOUZA, A. D. de; LIMA, C. R. de; MEDEIROS NETO, P. N. de. Eficiência dos óleos de nim e mamona contra cupins xilófagos em ensaio de alimentação forçada. **Revista Cerne**, v. 16, n. 1, p. 105-113, 2010.

PAES, J.B. **Viabilidade do tratamento preservativo de moirões de bracatinga (*Mimosa Scabrella* Benth.), por meio de métodos simples, e comparações de sua tratabilidade com a do *Eucalyptus viminalis* Lab.** 1991. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PAES, J.B., J.C. MORESCHI e J.G. LELLES. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* Lab.e de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) pelo método de substituição de seiva. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, p 75 – 86, 2005.

PEDRALLI, G. Estrutura diamétrica, vertical e análise do crescimento da ‘candeia’ (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip) na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto – MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 301-306, 1997.

PESSOA, A. M. C.; FILHO, E. B.; BRITO, J. O. Avaliação da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* submetida ao ataque de cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis*. **Scientia Forestalis**, v. 1, n. 72, p. 11–16, 2006.

PINCELLI, A. L. P. S. M.; BRITO, J. O.; CORRENTE, J. E. Avaliação da termorretificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, v. 61, p. 122-132, 2002.

RAPP, A. O.; SAILER, M. Oil heat treatment of wood in Germany: state of the art. In: RAPP, A. O. Review on heat treatments of wood. Antibes, France. 2001. p.47-64.

RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. London: Construction Press, 1978. 238 p.

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

ROCHA, M.P. **Biodegradação e Preservação de madeiras**. Apostila didática- Universidade Federal do Paraná. Curitiba, FUPEF, 2001.94 p.

ROCHA, MP, TRUGILHO, P.F. Qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e teor de umidade. **Revista Cerne**, v. 12, n. 4, p. 314-321,2006.

RODRIGUES, T., O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília.

ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIRARD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by thermal treatment at high temperature. **Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin**, v. 62, n. 2, p. 113-119, 2004.

SANTINI, E. J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988.125 p.

SANTOS, Z. M. **Avaliação da durabilidade natural da madeira de Eucalyptus grandis W. Hill: Maiden em ensaios de laboratório**. 1992. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SCHMUTTERER, H. **The neem tree Azadirachta indica A. Juss. and other meliaceous plants**. Weinheim: VCH, 1995. 696 p.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; DAVIDE, A. C.; MELLO, J. M.; ACERBI JUNIOR, F. W. **Manejo sustentável da candeia *Eremanthus erythropappus* e *Eremanthus incanus***. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007. Relatório técnico científico.

SGAI, D. R. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras. 2000**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SIDIQUI B.S. et al. Tetracyclic triterpenoids from the leaves of *Azadirachta indica* and their insecticidal activities. **Chem. Pharm. Bull**, v. 51, n.4, p. 415-417, 2003.

SILVA, E. F. **Caracterização edifica e fitossociologia e, áreas de ocorrência natural de candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip)**. 2001. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, J. P. A. G. **Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira**. 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

SILVA, M. R. da; MACHADO, G. de, O.; JUNIOR, C. C. Efeito do tratamento térmico nas propriedades mecânicas de *Pinus elliotti*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., Londrina. **Anais...** Londrina: UEL -EBRAMEM, 2008.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press, 1964. 549 p.

STUMPP, E.; RECH, V. ; SATTLE, M. A. ; BARROS, N. ; ABITANTE, A. L. . Avaliação de sustentabilidade e eficácia de tratamentos preservantes naturais de madeiras de florestas plantadas no RS para o controle do cupim. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 2, p. 21-31, 2006.

TEIXEIRA, M.C.B.; NUNES, Y.R.F.; MAIA, K.M.P. ; RIBEIRO, R.N. Influência da luz na germinação de sementes de candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Schult. Bit). In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS, 18. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 1996. p.23-24.

THACKER, J. R. M. et al. Field and laboratory studies on the effects of neem (*Azadirachta Indica*) oil on the feeding activity of the large pine weevil (*Hylobius Abietis* L.) and implications for pest control in commercial conifer plantations. **Crop Protection**, v. 22, n. 5, p. 753 - 760, 2003.

TJEERDSMA B. F. , BOONSTRA M. ; PIZZI A. ; TEKELY, P. ; MILITZ, H. Characterization of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. **Holz Roh Werkst**, v. 56, p.149–153,1998.

TREVISAN, H.; CARVALHO, A, G.; TIEPPO, F, M, M.; LELIS, R. C. C. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 93 – 101, 2007.

VERKERK, R. H. J.; WRIGHT, D. J. Biological activity of neem seed kernel extracts and synthetic azadirachtin against larvae of *Plutella xylostella* L. **Pestic. Sci.**, v.37, p. 83-91, 1993.

VOVELLE, C.; MELLOOTTE, H. Modelisation de la pyrolyse oxydante ou noxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants. In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Eds.). **Energy from biomass**. 2. ed. London: Applied Sciences, 1982. p. 925-929.

WEILAND, J.; GUYONNET, R. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. **Holz Roh werkst**, v. 61, p. 216-220, 2003.

WIKBERG, H.; MAUNU, S. Characterisation of thermally modified hard and softwoods by <sup>13</sup>C CP/MAS NMR. **Carbohydr Polym**, v. 58, p. 461-466, 2004.

WILKINSON, J.G. **Industrial timber preservation**. London: Associated Business Press, 1959. 532 p.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. Natural decay resistance. In: ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology: decay and its prevention**. San Diego: Academic, 1992. p. 399-411.

ZIGLIO, A. C. **Uso da capsaicina como preservante de madeiras ao ataque de fungo apodrecedor**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

## **ANEXOS**

**Anexo 1** - Análise de variância para a variável perda de massa causada pelo ataque do fungo *Postia placenta* em madeiras tratadas termicamente.

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
<b>EFEITO</b>					
A – Temperatura	814,11	1	814,11	10,48	0,0024*
B - Tempo	300,1	1	300,1	3,85	0,0564
C - Posição	35,5595		35,5595	0,45	0,5026
<b>INTERAÇÃO</b>					
AxB	142,347	1	142,347	1,83	0,1835
AxC	97,355	1	97,356	1,25	0,2697
BxC	377,104	1	377,104	4,85	0,0334*
AxBxC	353,493	1	352,493	4,55	0,0391*
<b>ERRO</b>	43108,43	40	77,109		
<b>TOTAL</b>	5228,52	47			

\* = Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

**Anexo 2** - Análise de variância para a variável perda de massa causada pelo ataque do fungo *Neolentinus lepideus* em madeiras tratadas termicamente.

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
<b>EFEITO</b>					
A – Temperatura	525,297	1	525,297	10,41	0,0025*
B - Tempo	33,4501	1	33,4501	0,55	0,4303
C - Posição	13,7709	1	13,7709	0,27	0,5042
<b>INTERAÇÃO</b>					
AxB	253,139	1	253,139	5,02	0,0307*
AxC	12,8444	1	12,8444	0,25	0,5157
BxC	409,442	1	409,442	8,11	0,0059*
AxBxC	1,5588	1	1,5588	0,03	0,8514
<b>ERRO</b>	2018,29	40	50,4573		
<b>TOTAL</b>	3257,79	47			

\* = Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

**Anexo 3** - Análise de variância para a variável perda de massa causada pelo ataque do fungo *Trametes versicolor* em madeiras tratadas termicamente.

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
<b>EFEITO</b>					
A – Temperatura	59,9857	1	59,9857	4,84	0,0337*
B - Tempo	3,40258	1	3,40258	0,24	0,5303
C - Posição	0,05445333	1	0,05445333	0,00	0,9471
<b>INTERAÇÃO</b>					
AxB	3,53	1	3,53	0,24	0,5239
AxC	14,96	1	14,96	1,03	0,3152
BxC	12,95	1	12,95	0,90	0,3495
AxBxC	14,85	1	14,85	1,03	0,3170
<b>ERRO</b>	578,45	40	14,4513		
<b>TOTAL</b>	698,21	47			

\* = Significativo ao nível de 95% de probabilidade.



**Anexo 4** – Análise de variância para a variável perda de massa causada pelo ataque do fungo *postia placenta* em madeiras tratadas quimicamente com cca e ccb.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
<b>EFEITO</b>					
A – Produto	13,2462	1	13,2462	0,59	0,4518
B – Posição	63,4725	1	63,4725	2,82	0,1086
<b>INTERAÇÃO</b>					
AxB	14,0913	1	14,0913	0,63	0,4380
<b>ERRO</b>	449,941	20	22,497		
<b>TOTAL</b>	540,751	23			

\* = Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

**Anexo 5** - Análise de variância para a variável perda de massa causada pelo ataque do fungo *Postia placenta*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
<b>EFEITO</b>					
A – Produto	832,536	3	277,512	8,63	0,0000*
B – Concentração	4166,07	1	4166,07	129,58	0,0000*
C – Posição	7,87188	1	7,87188	0,24	0,6221
<b>INTERAÇÃO</b>					
AxB	697,703	3	232,568	7,23	0,0002*
AxC	491,324	3	163,775	5,09	0,0028*
BxC	175,527	1	175,527	5,46	0,0220*
AxBxC	674,478	3	224,826	6,99	0,0003*
<b>ERRO</b>	2571,95	80	32,1493		
<b>TOTAL</b>	9617,45	95			

\* = Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

**Anexo 6** - Análise de variância para a variável perda de massa causada pelo ataque do fungo *Neolentinus lepideus*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
<b>EFEITO</b>					
A – Produto	1288,01	3	429,337	13,67	0,0000*
B – Concentração	752,304	1	752,304	23,95	0,0000*
C - Posição	14,1681	1	14,1681	0,45	0,5038
<b>INTERAÇÃO</b>					
AxB	506,394	3	168,798	5,37	0,0020*
AxC	162,339	3	54,1129	1,72	0,1690
BxC	200,971	1	200,971	6,40	0,0134*
AxBxC	5,43132	3	1,81044	0,06	0,9817
<b>ERRO</b>	2513,16	80	31,4145		
<b>TOTAL</b>	5442,78	95			

\* = Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

**Anexo 7 - Análise de variância para a variável perda de massa causada pelo ataque do fungo *Trametes versicolor***

<b>FONTE DE VARIACÃO</b>	<b>SOMA DE QUADRADOS</b>	<b>G.L.</b>	<b>QUADRADO MÉDIO</b>	<b>F</b>	<b>PROBABILIDADE</b>
<b>EFEITO</b>					
A – Produto	1033,42	3	344,475	13,69	0,0000*
B – Concentração	90,6954	1	90,6954	3,60	0,0612
C - Posição	314,976	1	314,976	12,52	0,0007*
<b>INTERAÇÃO</b>					
AxB	421,233	3	140,411	5,58	0,0016*
AxC	1375,38	3	458,461	18,22	0,0000*
BxC	89,6487	1	89,6487	3,56	0,0627
AxBxC	54,355	3	18,1183	0,72	0,5430
<b>ERRO</b>	2013,21	80	25,1652		
<b>TOTAL</b>	5392,93	95			

\* = Significativo ao nível de 95% de probabilidade.