

Qualidade e eficiência do tanino e de aditivos na preservação da madeira de *Pinus taeda* contra o apodrecimento

Magnos Alan Vivian^{1*} Milena Menegussi¹ Cristian Soldi¹ Karina Soares Modes¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Rod. Ulysses Gaboardi, km 3, CEP 89.520-000, Curitibaanos, SC, Brasil

Original Article

*Corresponding author:
magnos.alan@ufsc.br

Keywords:

Treated wood

Rotting field

Natural products

Palavras-chave:

Madeira tratada

Campo de apodrecimento

Produtos naturais

Received in

2021/12/15

Accepted on

2022/06/01

Published in

2022/06/30



DOI:

<http://dx.doi.org/10.34062/af.s.v9i2.13255>



RESUMO: A madeira de *Pinus* é amplamente utilizada no Brasil, para diversas finalidades, entretanto apresenta baixa durabilidade natural, assim necessita de tratamento preservativo quando o intuito é utiliza-la em ambientes adversos. Desta forma, o presente estudo objetivou avaliar a qualidade e eficiência do tanino e aditivos na preservação da madeira de *Pinus taeda* contra agentes deterioradores em ensaio de apodrecimento. Para tal, amostras de madeira foram submetidas ao tratamento preservante por imersão, com tanino, tanino+boro e tanino+cobre. Aplicaram-se as concentrações de 5% de tanino, e 1% de aditivos (boro ou cobre). Determinaram-se os parâmetros de qualidade (penetração e retenção) e eficiência (perda de massa e índice de deterioração) dos tratamentos. Na avaliação da eficiência, a madeira foi exposta ao ensaio de campo, em ambiente aberto, em contato direto com o solo, com avaliações a cada 45 dias, até o total de 315 dias. Todos os tratamentos apresentaram penetração total na seção transversal externa, e parcial periférica na seção transversal interna. Quanto a retenção, os tratamentos tanino e tanino+boro apresentaram médias de 7,47 e 7,42 kg/m³, respectivamente, enquanto que o tratamento tanino+cobre obteve resultado de 10,99 kg/m³. Em relação a eficiência, a testemunha teve a maior perda de massa ao final das avaliações, seguida das madeiras tratadas com tanino, tanino+boro e tanino+cobre. O tratamento tanino+cobre apresentou os melhores resultados em todas as avaliações, indicando que o cobre é o aditivo mais recomendado para ser utilizado em conjunto com o tanino.

Quality and efficiency of tannin and additives in the preservation of *Pinus taeda* wood against decay

ABSTRACT: *Pinus* wood is widely used in Brazil, for various finality, however it has low natural durability, so it needs a preservative treatment, when the intention is to use it in adverse conditions. Thus, the present study aimed to evaluate the quality and efficiency of tannin and additives in the preservation of *Pinus taeda* wood against deteriorating agents in a decay test. For this, wood samples were subjected to preservative treatment by immersion, with tannin, tannin+boron and tannin+copper. Concentrations of 5% of tannin and 1% of additives (boron or copper) were applied. The quality parameters (penetration and retention) and efficiency (mass loss and deterioration index) of the treatments were determined. In the efficiency evaluation, the wood was exposed to field testing, in an open environment, in direct contact with the soil, with evaluations every 45 days, up to a total of 315 days. All treatments showed full penetration in the external cross-section, and partial peripheral penetration in the internal cross-section. For retention, the tannin and tannin+boron treatments showed averages of 7.47 and 7.42 kg/m³, respectively, while the tannin+copper treatment obtained a result of 10.99 kg/m³. Regarding efficiency, the control had the greatest loss of mass at the end of the evaluations, followed by the woods treated with tannin, tannin+boron and tannin+copper. The tannin+copper treatment showed the best results in all evaluations, indicating that copper is the most recommended additive to be used together with tannin.

Introdução

Existe atualmente uma gama de produtos registrados no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) cuja finalidade é atuar na preservação da madeira como fungicida e/ou inseticida. No entanto, alguns destes compostos possuem restrições ao seu uso devido à presença de componentes tóxicos, que geram preocupações ambientais.

Devido a crescente preocupação com a qualidade e eficiência dos produtos preservativos de madeira, aliado à preocupação ambiental, tem-se a necessidade de novas formulações que atendam a essas expectativas. Assim, requisitos básicos de qualidade, segurança, custo e durabilidade servem como base para investimentos em pesquisas voltadas à descoberta de substâncias preservantes de baixa toxicidade, ou ainda, atóxicas. Com isso, espera-se apresentar ao mercado madeireiro alternativas eficientes, em dosagens corretas, para o auxílio do tratamento da madeira, principalmente quando a mesma se encontra em condições adversas e de vulnerabilidade.

Assim, alguns compostos naturais mostram-se promissores na preservação da madeira, como o tanino, óleo de nim e *tall oil* (Vivian et al. 2020a). Os mesmos autores citam ainda que uma alternativa para melhorar a eficácia dos produtos naturais como preservativos de madeira é o uso de aditivos, com o objetivo de aumentar a sua fixação na mesma. Entre os aditivos que podem potencializar a ação biocida do tanino, tem-se os sais de boro e cobre, que atuam contra agentes deteriorantes do material lenhoso (Jorge et al. 2001; Bossardi 2014).

Desta forma espera-se obter novas formulações de produtos preservantes que apresentem eficiência contra xilófagos deterioradores da madeira e que causem o menor impacto possível ao meio ambiente. Ainda, deve-se levar em consideração, como cita Rocha (2001), a situação de uso da madeira, visto a dificuldade de atender a todas as exigências de custo, toxicidade, aquisição, permanência, inalteração das características físicas e mecânicas da madeira, não ser corrosivo, nem inflamável, em um só produto.

Em relação a avaliação da eficiência dos tratamentos, tem-se os ensaios de campo, que visam expor a madeira a situações reais de uso, considerando o ataque de xilófagos (microrganismos, como bactérias e fungos, além de insetos) e condições ambientais do local de instalação do experimento. Assim são pertinentes para avaliar a durabilidade natural de madeiras, bem como para testar preservativos naturais ou químicos que visam aumentar a durabilidade e vida útil de madeiras providas de florestas plantadas.

Desta forma o presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade e a eficiência do tanino e de aditivos na preservação da madeira de *Pinus*

taeda contra agentes deterioradores em ensaio de apodrecimento a campo.

Material e Métodos

A madeira de *Pinus taeda* utilizada no estudo foi adquirida em uma serraria localizada no município de Curitiba/SC, na forma de tábuas de 1,5 m de comprimento, 20,0 cm de largura e 2,0 cm de espessura, já aplainadas e secas. O material foi desdobrado no Laboratório de Recursos Florestais (LRF), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em corpos de prova com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm (sendo a última dimensão no sentido longitudinal), conforme a norma COPANT 30:1 – 006 (1972).

Selecionaram-se amostras livres de defeitos, que foram dispostas em estufa de secagem com circulação forçada de ar a 60°C, por aproximadamente uma semana, para que a umidade das peças fosse estabilizada (pesagens periódicas até estabilização da massa). Na sequência cada corpo de prova foi pesado para determinação de sua massa (utilizada no cálculo de retenção, considerada antes do tratamento preservativo) e teve suas dimensões medidas.

Para realizar os tratamentos preservativos utilizou-se o tanino, ácido bórico e sulfato de cobre, conforme as concentrações dispostas na Tabela 1. No tratamento testemunha (T0) foi utilizado apenas água destilada.

Tabela 1. Tratamentos preservativos e concentrações dos compostos utilizados.

Trat.	Preservativo	Concentração Tanino + Aditivo (%)
T0	Testemunha	-
T1	Tanino	5%
T2	Tanino+Boro	5% + 1%
T3	Tanino+Cobre	5% + 1%

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre.

O tratamento preservativo foi realizado pelo método de imersão a frio (temperatura ambiente) por 72 horas (3 dias). Para isso os corpos de prova foram dispostos em caixas plásticas, em grupos de 45 amostras por tratamento.

Após o período de tratamento os corpos de prova foram retirados da solução preservante e dispostos em recipientes plásticos para secagem natural por 72 horas (3 dias), em local coberto e arejado (bancadas do laboratório), para na sequência, serem novamente alocados em estufa a 60°C até estabilização da massa (mesma condição pré-tratamento), para a finalização da secagem da madeira. Após este procedimento, prosseguiu-se com a pesagem dos corpos de prova para obtenção da massa, que foi utilizada nos cálculos de retenção

(considerada como massa após o tratamento preservativo) e da perda de massa após exposição a campo.

Qualidade do tratamento preservativo

Para avaliar a qualidade do tratamento avaliou-se a penetração e a retenção. A penetração foi utilizada para indicar a distribuição e a profundidade atingidas pelo produto preservante nas peças de madeira. Para isso, foram selecionados aleatoriamente três corpos de prova de cada tratamento, os quais foram cortados ao meio (face transversal) e lixados, possibilitando a análise visual.

Para realização da análise de penetração dos preservativos na madeira, foram utilizados os padrões propostos por Sales-Campos et al. (2003), que classificaram a penetração como: nula, vascular, parcial irregular, parcial periférica e total.

Já a retenção, que indica a quantidade de produto preservante contido em dado volume de madeira, sendo expressa em kg/m³, foi calculada com base na diferença de massa (antes e após os tratamentos, massa constante a 60°C) e volume das amostras, conforme a Equação 1.

$$R = \frac{(M_f - M_i)}{V} \quad (1)$$

Em que: R = retenção (kg/m³); M_f = massa final após tratamento e secagem em estufa a 60°C (kg); M_i = massa inicial (antes do tratamento) após a secagem em estufa a 60°C (kg); V = volume (m³).

Eficiência do tratamento preservativo

Para avaliar a eficiência dos produtos preservantes utilizados conduziu-se o ensaio em campo de apodrecimento, que consiste em submeter a madeira em contato direto com o solo, em condições reais, visando avaliar seu comportamento.

O ensaio foi instalado em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), sendo representado por cinco blocos, cada um contendo os quatro tratamentos (T0, T1, T2 e T3) como sub-blocos, distribuídos de forma sistemática, visando acomodar os corpos de prova em diferentes posições ao longo do campo de apodrecimento. Cada sub-bloco era composto por oito amostras, das quais apenas sete foram efetivamente levadas a campo. As amostras que não foram a campo serviram para avaliação no tempo inicial, ou seja, zero dias de exposição (Figura 1).

Como observado na Figura 1, as distâncias entre os corpos de prova do mesmo bloco eram de 30 x 30 cm (linha e entrelinha) e de 50 cm entre blocos e sub-blocos, totalizando uma área aproximada de 17,8 m² (3,5 x 5,1 m). Os corpos de prova foram enterrados até 15 cm de profundidade (metade do comprimento).

O campo de apodrecimento foi instalado em campo aberto, na Área Experimental Florestal

(AEF), pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de Curitiba (Figura 2). Periodicamente realizou-se a manutenção da área, com a remoção das plantas daninhas.

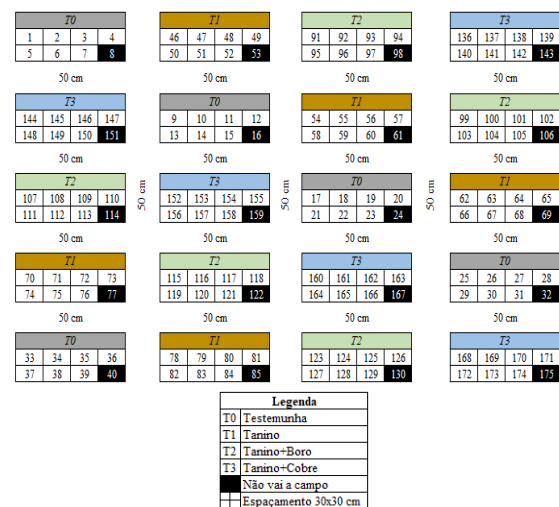


Figura 1. Croqui do campo de apodrecimento.



Figura 2. Área do campo de apodrecimento.

Foram realizadas sete coletas, com intervalo de 45 dias entre elas (45, 90, 135, 180, 225, 270 e 315 dias), as quais foram avaliadas quanto a sua perda de massa e índice de deterioração, conforme descrito a seguir. Foram coletadas cinco repetições por tratamento em cada amostragem, ou seja, um corpo de prova por bloco.

Após a coleta as amostras foram submetidas a uma limpeza com o auxílio de uma escova, visando a retirada de frações do solo e impurezas, e submetidas à secagem em estufa a 60°C até estabilização. Com base na massa das amostras antes e após a exposição, determinou-se a perda de massa, conforme a Equação 2.

$$PM = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (2)$$

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

Já o índice de deterioração consistiu em uma análise visual dos corpos de prova, considerando a

classificação proposta por Lepage (1970), indicada na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação do índice de deterioração.

Estado de sanidade	Índice de deterioração
Sadio, nenhum ataque	100
Ataque leve ou superficial de fungos e térmitas	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas	70
Apodrecimento intenso ou ataque intenso de térmitas	40
Quebra, perda quase total de resistência	0

As análises foram realizadas por dois avaliadores, que atribuíram notas aos corpos de prova de cada tratamento e tempo de coleta.

Análise estatística

Os dados foram processados através do *software estatístico R Studio*. As análises referentes ao índice de deterioração e perda de massa foram avaliadas utilizando-se o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), já a retenção em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Realizou-se a Análise de Variância (ANOVA), e se significativo foi avaliado através do teste de médias de Tukey a 95% de significância.

Resultados e Discussão

Qualidade do tratamento preservativo

Os resultados para penetração e distribuição dos preservantes na madeira de *Pinus taeda* podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da análise da penetração.

Trat.	Penetração nas seções transversais	
	Externa	Interna
T0	-	-
T1	Total	Parcial periférica
T2	Total	Parcial periférica
T3	Total	Parcial periférica

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre.

Com base na classificação proposta por Sales-Campos et al. (2003), nota-se que, independente do preservativo, as seções transversais externas apresentaram penetração total, já as seções internas (após as amostras serem cortadas ao meio e lixadas) apresentaram penetração parcial periférica.

Na Figura 3 observam-se as faces transversais das amostras submetidas aos tratamentos preservantes, com intuito de ilustrar a penetração na madeira. Mesmo que todos tenham sido classificados de forma igual, aparentemente o

tratamento Tanino+Cobre teve uma penetração mais efetiva em relação aos demais, pois apresentou uma coloração mais escura interna e externamente.

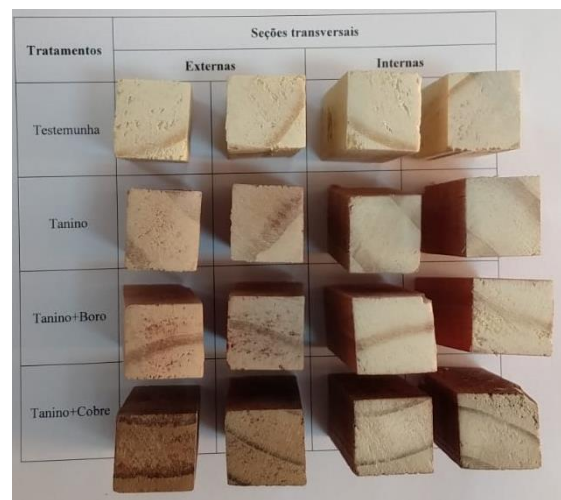


Figura 3. Análise visual da penetração.

De acordo com Vivian et al. (2020a), uma das dificuldades encontradas para análise da penetração em preservativos naturais, como o tanino, é que não existem produtos que possam ser aplicados para reagir com estes. Os mesmos autores ainda destacam que para preservantes hidrossolúveis, como o arseniato de cobre cromatado (CCA) e borato de cobre cromatado (CCB), pode ser aplicada uma solução chamada de cromoazurol-S, que reage com o cobre das formulações, destacando em cor azulada onde o mesmo penetrou e se distribuiu. No tratamento Tanino+Cobre até poderia ser aplicado o cromoazurol-S para tentar avaliar a penetração, mas não seria possível ter um padrão para os demais tratamentos, assim não foi realizado.

De forma geral, por meio da análise visual da penetração, mesmo que seja difícil afirmar com exatidão (em função de não ter um corante específico para destacar a penetração), constata-se que a mesma foi baixa, sendo muito superficial, o que pode proporcionar uma baixa proteção a madeira. Assim, deve-se ter cuidado no uso das peças tratadas, especialmente se as mesmas forem cortadas, ou se forem feitos entalhes após o tratamento, o que irá expor partes que não foram efetivamente tratadas.

Em relação aos valores de retenção dos produtos preservativos na madeira de *Pinus taeda*, estes podem ser observados na Tabela 4. A análise estatística dos resultados demonstrou que a retenção do preservante Tanino+Cobre foi significativamente superior aos demais tratamentos aplicados.

Thevenon et al. (2009) compararam formulações envolvendo tanino e boro, com e sem adição de hexametilenotetramina (hexamina), e concluíram que a adição deste composto contribuiu para resultados mais satisfatórios, mesmo após processo de lixiviação. Isso ocorre, segundo os autores, por que tal combinação tende a diminuir a

lixiviação pronunciada do boro. Esse comportamento pode justificar a semelhança entre os resultados dos tratamentos Tanino e Tanino+Boro.

Tabela 4. Resultados da análise da retenção.

Trat.	Retenção (kg/m ³)	DP (kg/m ³)	CV (%)
T0	-	-	-
T1	7,47 ^b	1,61	21,6
T2	7,42 ^b	2,03	27,4
T3	10,93 ^a	2,46	22,5

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre. DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas da mesma letra não apresentam variação estatística significativa pelo teste de médias (Tukey, $p > 0,05$).

Laredo (1996) obteve bons resultados com uma solução preservante a base de tanino e sal de cobre em solução de amônia, observando que após a evaporação do solvente, houve a formação de um complexo tanino metálico. Assim, a formação deste complexo metálico pode ter contribuído para o maior sucesso do tratamento Tanino+Cobre, que refletiu em maior retenção na madeira, como observado neste estudo.

São desejados valores mais elevados de retenção, pois os mesmos refletem na quantidade de preservativo por volume de madeira, o que poderá proporcionar maior proteção e vida útil à mesma. Ainda não existem normas que indiquem o valor mínimo de retenção para produtos naturais, como o tanino, sendo necessário avançar mais nisto. Mas de forma generalista, com base nas normas disponíveis da ABNT (especialmente a NBR 16.143 - Preservação de Madeiras - Sistema de Categorias de Uso), indicam-se valores variando entre 4,0 a 6,5 kg/m³ para os preservantes hidrossolúveis CCA e CCB, em tratamentos industriais sob pressão, para as madeiras serradas e roliças.

Assim, todos os preservativos aplicados no presente estudo estão acima do mínimo recomendado na norma citada anteriormente, porém deve-se ter atenção, que o método utilizado no estudo foi de imersão a frio, que se enquadra em caseiro ou sem pressão (que não é abordado nas normas técnicas). Além disso, a formulação não continha um fixador, que geralmente é o cromo (dicromato de potássio), o que pode fazer com que o preservante lixivie de forma mais acentuada em contato com o solo.

Eficiência do tratamento preservativo

Na Tabela 5 podem ser observados os valores médios de perda de massa dos corpos de prova ao longo do tempo de exposição no ensaio de campo de apodrecimento.

Tabela 5. Resultados da perda de massa da madeira.

Dias	Perda de massa (%)			
	T0	T1	T2	T3
45	0,40 _{aC}	0,72 _{aD}	0,60 _{aB}	0,61 _{aB}
90	0,83 _{aC}	1,12 _{aCD}	0,94 _{aB}	0,48 _{aB}
135	2,01 _{aC}	1,88 _{aCD}	1,71 _{aB}	0,36 _{bB}
180	4,73 _{aB}	3,92 _{abBC}	4,49 _{aA}	1,88 _{bA}
225	5,85 _{aB}	5,12 _{aAB}	5,27 _{aA}	1,81 _{bA}
270	5,90 _{aB}	6,70 _{aAB}	6,54 _{aA}	2,36 _{bA}
315	8,58 _{aA}	7,86 _{aA}	6,08 _{aA}	2,59 _{bA}
Média	4,04^a	3,90^a	3,66^a	1,44^b

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre. Letras minúsculas são referentes ao teste de médias entre os tratamentos, na linha. Letras maiúsculas representam o teste de médias de cada tratamento ao longo do tempo, na coluna. Médias seguidas da mesma letra não apresentam variação estatística significativa pelo teste de médias (Tukey, $p > 0,05$).

Já na Figura 4 é possível analisar de forma mais clara o comportamento da perda de massa de cada tratamento ao longo do período de exposição.

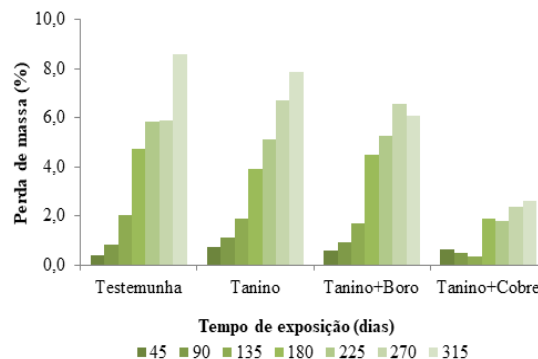


Figura 4. Comportamento da perda de massa ao longo do tempo de exposição.

É notável a interação entre os fatores tratamento e tempo, onde verifica-se uma tendência crescente de perda de massa da madeira com o passar das avaliações, independente do tratamento. Quando comparados entre si, apenas o tratamento Tanino+Cobre apresentou diferença significativa entre os tratamentos, a partir da terceira avaliação.

De modo geral, a madeira tratada com Tanino+Cobre apresentou perda de massa inferior a 3% em todas as avaliações, sendo o tratamento mais eficaz. Logo, de acordo com Laks et al. (1988), esse comportamento pode estar associado a capacidade dos taninos em complexarem íons metálicos, resultando em uma estrutura quelada que quando

encontra-se no interior da madeira não é propensa a lixiviação. Ainda, estes mesmos autores observaram que formulações de preservantes contendo cobre apresentaram eficiência contra agentes degradadores, visto a toxicidade do metal contra a maioria dos organismos destruidores da lignocelulose.

Outro aspecto que contribuiu para a menor perda de massa do tratamento Tanino+Cobre ao longo do tempo foi que este apresentou a maior retenção (10,93 kg/m³), além de ter apresentado a melhor penetração do preservativo, como relatado anteriormente.

Já os tratamentos Tanino e Tanino+Boro apresentaram comportamentos similares em relação à qualidade do tratamento (penetração e retenção) e perda de massa, não diferindo estatisticamente em nenhum aspecto. Além disso, a perda de massa destes tratamentos foi similar a Testemunha, que mesmo sendo maior, não diferiu significativamente dos mesmos, indicando que foram pouco efetivos na proteção da madeira exposta, mesmo que tenham apresentado valores interessantes de retenção. O que pode ter acontecido é uma alta taxa de lixiviação do tanino e do boro quando expostos ao contato com o solo, por não formarem um completo metálico que o cobre forma com o tanino, como relatado por Laredo (1996).

Em estudo sobre a durabilidade natural de espécies florestais, Vivian et al. (2020b) encontraram valores de perda de massa de 4,9% e 9,0% para a madeira de *Pinus taeda* com 15 e 43 anos de idade, respectivamente, após 12^o mês de exposição à campo de apodrecimento. O valor observado no presente estudo para os corpos de prova sem aplicação de produto preservativo (Testemunha) foi de 8,58% após 315 dias de exposição a campo, estando dentro da faixa relatada pelos pesquisadores.

Levando em consideração apenas as médias gerais de perda de massa dos tratamentos utilizados, o tratamento Tanino+Cobre reduziu a perda de massa em 64,4% em relação a Testemunha, sendo o único que realmente aumentou significativamente a durabilidade da madeira, como é comprovado pela análise estatística.

Em relação aos resultados do índice de deterioração dos corpos de prova ao longo do período de exposição ao campo de apodrecimento, estes podem ser observados na Tabela 6.

Considerando que quanto menor o valor do índice de deterioração, maior é a intensidade dos danos causados a madeira, todos os tratamentos apresentaram maiores tendências a degradação dos corpos de prova a partir da avaliação realizada no 135^o dia. As variações nas notas atribuídas a cada corpo de prova podem sofrer alterações em função de fatores como posicionamento dentro do campo de apodrecimento, intensidade do ataque de fungos e

térmitas, condições climáticas, além da eficácia do preservante aplicado.

Nota-se que o tratamento com Tanino apresentou uma ligeira superioridade quando comparado a madeira sem tratamento (Testemunha) e a madeira tratada com Tanino+Boro em praticamente todas as avaliações. No entanto, a partir da análise estatística dos dados, o tratamento Tanino+Cobre foi o que apresentou os melhores resultados quanto ao índice de deterioração, visto que foi o único tratamento a diferir-se estatisticamente dos demais, demonstrando maior eficácia contra agentes deteriorantes da madeira.

Tabela 6. Resultados do índice de deterioração da madeira.

Dias	Índice de deterioração			
	T0	T1	T2	T3
45	100 ^{aA}	100 ^{aA}	100 ^{aA}	100 ^{aA}
90	100 ^{aA}	100 ^{aA}	100 ^{aA}	100 ^{aA}
135	86 ^{aAB}	86 ^{aAB}	94 ^{aAB}	96 ^{aA}
180	78 ^{bABC}	82 ^{bAB}	78 ^{bABC}	100 ^{aA}
225	58 ^{bCD}	72 ^{abB}	68 ^{bBC}	100 ^{aA}
270	62 ^{aBCD}	68 ^{aB}	66 ^{aC}	96 ^{aA}
315	52 ^{bD}	62 ^{bB}	58 ^{bC}	96 ^{aA}
Média	80^b	84^b	83^b	99^a

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre. Letras minúsculas são referentes ao teste de médias entre os tratamentos, na linha. Letras maiúsculas representam o teste de médias de cada tratamento ao longo do tempo, na coluna. Médias seguidas da mesma letra não apresentam variação estatística significativa pelo teste de médias (Tukey, $p > 0,05$).

Já na Figura 5 é possível analisar de forma mais clara o comportamento do índice de deterioração de cada tratamento ao longo do período de exposição a campo.

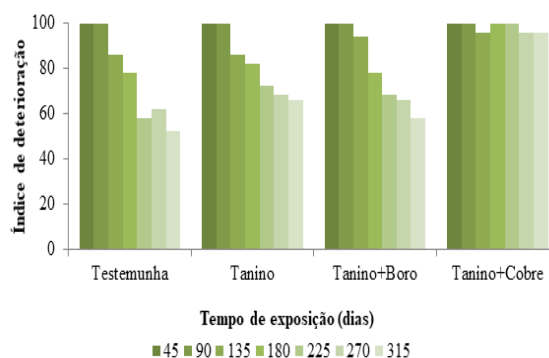


Figura 5. Comportamento do índice de deterioração ao longo do tempo de exposição.

Comparando a durabilidade natural de diferentes espécies madeireiras, Vivian et al. (2020b) obtiveram média de 82 para o índice de deterioração

da madeira de *Pinus taeda* após 12 meses de exposição, sendo superior ao observado no presente estudo para a madeira Testemunha, que foi de 52 (após 315 dias).

Considerando-se apenas as médias gerais do índice de deterioração dos tratamentos aplicados, o tratamento Tanino+Cobre aumentou a resistência da madeira (maior valor do índice de deterioração significa menos danos, com amostras menos atacadas) em 23,8% em relação a Testemunha. Desta forma, semelhante ao que já havia sido observado para a perda de massa, a adição do cobre foi o único que aumentou significativamente a durabilidade da madeira.

A Figura 6 demonstra o aspecto dos corpos de prova que não foram a campo, bem como as amostras coletadas aos 45 dias (primeira coleta) e 315 dias de experimento (última coleta). A partir das imagens é possível comparar os danos aparentes causados pela degradação física e química da madeira, que podem ocasionar mudanças na coloração, aspereza, rachaduras e fissuras e são causadas, de modo geral, pela ação da luz, umidade e calor (Klock et al. 2005).

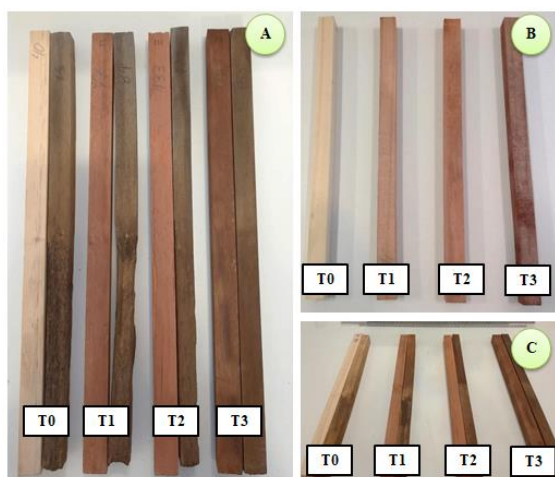


Figura 6. Comparação do aspecto dos corpos de prova após as avaliações.

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre. (A) aspecto das amostras que não foram a campo (à esquerda) e após 315 dias (à direita); (B) aspecto das amostras após os tratamentos (sem ir a campo); (C) aspecto das amostras que não foram a campo (à esquerda) e após 45 dias (à direita).

Já na Figura 7 é possível observar a presença de cupins subterrâneos e de fungos atacando e causando a degradação da madeira exposta a campo. Vale destacar que o ensaio de campo de apodrecimento simula as condições reais e naturais que a madeira pode sofrer quando exposta ao ambiente externo, como em contato direto com o solo. Desta forma os resultados sempre estarão associados com o local de condução do estudo, variando, por exemplo, conforme o índice de pluviosidade e temperatura média local, pois tais

características aceleram o processo de degradação do material lenhoso. Além disso, a presença de microrganismos afeta diretamente a qualidade das amostras, principalmente se forem encontrados de forma abundante, como no caso da AEF, onde o experimento foi conduzido.



Figura 7. Ataque de agentes biodegradadores na madeira exposta a campo. (A) ataque de térmitas (cupins de solo); (B) ataque fúngico.

Conclusões

Em relação a qualidade do tratamento preservativo, os resultados da penetração indicam que, independente do preservante, as seções transversais externas apresentaram penetração total e as seções internas apresentaram penetração periférica. Porém, o tratamento Tanino+Cobre destacou-se visualmente dos demais. Quanto a análise de retenção, o tratamento Tanino+Cobre obteve média de 10,93 kg/m³, sendo este o melhor resultado. Os demais tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si.

Avaliando os parâmetros de eficiência dos tratamentos, verificou-se uma tendência crescente de perda de massa da madeira, independente do tratamento, com o passar das avaliações. O mesmo comportamento foi observado para o índice de deterioração. Para as duas avaliações, o tratamento Tanino+Cobre foi o único a diferir estatisticamente dos demais, provando sua superioridade.

Assim, o tratamento Tanino+Cobre apresentou os melhores resultados em todas as avaliações, indicando que o cobre é o aditivo mais recomendado para ser utilizado em conjunto com o tanino. Por fim, recomendam-se novas pesquisas avaliando outros métodos (como tratamento industrial em autoclave), formulações ou aditivos e fixadores para aplicação destes compostos.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013) *NBR 16.143: Preservação de Madeiras - Sistema de categorias de uso*. Rio de Janeiro: ABNT. 19p.

Bossardi K (2014) *Tall oil e seus subprodutos: alternativas como preservantes para madeira*. Tese, Universidade Estadual Paulista. 74p.

COPANT. Comisión Panamericana de Normas Técnicas (1972) *COPANT 30: 1-006*: maderas: método de determinación de flexión estática. La Paz, COPANT. 8p.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2021) *Produtos preservativos de madeiras registrados*. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/preservativos-de-madeiras/produtos-preservativos-de-madeiras-registrados-no-ibama>.

Jorge FC, Brito P, Pepino L, Portugal A, Gil H, Costa RP (2001) Aplicações para as cascas de árvores e para os extratos taninosos: uma revisão. *Silva Lusitana*, 9(2): 225-236.

Klock U, Muñoz GIB, Hernandez JA, Andrade AS (2005) *Química da Madeira*. 3ª Edição. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná. 86p.

Laks PE, Mckaig PA, Hemingway RW (1988) Flavonoid biocides: wood preservatives based on condensed tannins. *Holzforschung*, 42(5): 299-306. doi: 10.1515/hfsg.1988.42.5.299.

Laredo RFG (1996) Preservación de madera con taninos. *Madera y Bosques*, 2(2): 67-73. doi: 10.21829/myb.1996.221387.

Lepage ES (1970) *Método padrão sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira*. Preservação de Madeiras, São Paulo, 1(4): 205-216.

R Development Core Team (2019) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Rocha MP (2001) *Biodegradação e Preservação da Madeira*. Curitiba: Fupef. 94p.

Sales-Campos C, Vianez BF, Mendonça MS (2003) Estudo da variabilidade da retenção do preservante CCA tipo A na madeira de *Brosimum rubescens* Taub. Moraceae - (pau-rainha) uma espécie madeireira da região amazônica. *Revista Árvore*, 27(6): 845-853. doi: 10.1590/S0100-67622003000600011.

Thevenon MF, Tondi G, Pizzi A (2009) High performance tannin resin-boron wood preservatives for outdoor end-uses. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(1): 89-93. doi: 10.1007/s00107-008-0290-0.

Vivian MAV, Grosskopf EJ, Nunes GC, Itako AT, Modes KS (2020a) Qualidade e eficiência de produtos naturais no tratamento preservativo das madeiras de *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus viminalis* e *Pinus taeda*. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 19(1): 35-47. doi: 10.5965/223811711912020035.

Vivian MAV, Nunes GC, Dobner Jr. M, Modes KS, Grosskopf EJ, Belini UL (2020b) Natural durability of *Cupressus lusitanica*, *Cryptomeria japonica* and *Pinus taeda* woods in field trial. *Floresta*, 50(3): 1603-1612. doi: 10.5380/ufv50.i3.65059.