

Org.

Vinicius Gomes de Castro
Pompeu Paes Guimarães

DETERIORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA



edufersa

Organizadores

Vinicius Gomes de Castro
Pompeu Paes Guimarães

Autores

Vinicius Gomes de Castro, Pompeu Paes Guimarães
Douglas Edson Carvalho, Gabriela Oliveira de Souza
Gisele Gimenes Brochini, Rafael da Rosa Azambuja
Thiago Souza da Rosa, Márcio Pereira da Rocha
Pedro Lício Loiola, Poliana Coqueiro Dias
Kleane Targino Oliveira Pereira

DETERIORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA



edufersa
editora universitária

2018

©2018. Direitos Morais reservados aos autores: Vinicius Gomes de Castro, Pompeu Paes Guimarães, Douglas Edson Carvalho, Gabriela Oliveira de Souza, Gisele Gimenes Brochini, Rafael da Rosa Azambuja, Thiago Souza da Rosa, Márcio Pereira da Rocha, Pedro Lício Loiola, Poliana Coqueiro Dias, Kleane Targino de Oliveira Pereira. Direitos Patrimoniais cedidos à Editora da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (EdUFERSA). Não é permitida a reprodução desta obra podendo incorrer em crime contra a propriedade intelectual previsto no Art. 184 do Código Penal Brasileiro. Fica facultada a utilização da obra para fins educacionais, podendo a mesma ser lida, citada e referenciada. Editora signatária da Lei n. 10.994, de 14 de dezembro de 2004 que disciplina o Depósito Legal.

Reitor

José de Arimateia de Matos

Vice-Reitor

José Domingos Fontenele Neto

Pró-Reitor de Extensão e Cultura

Felipe de Azevedo Silva Ribeiro

Coordenador Editorial

Pacelli Costa

Conselho Editorial

Pacelli Costa, Walter Martins Rodrigues, Francisco Franciné Maia Júnior, Rafael Castelo Guedes Martins, Keina Cristina S. Sousa, Antonio Ronaldo Gomes Garcia, Auristela Crisanto da Cunha, Janilson Pinheiro de Assis, Luís Cesar de Aquino Lemos Filho, Rodrigo Silva da Costa e Valquíria Melo Souza Correia.

Equipe Técnica

Francisca Nataligeuza Maia de Fontes (Secretária), José Arimateia da Silva (Designer Gráfico).

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP) Editora Universitária (EdUFERSA)

C355D	Castro, Vinicius Gomes de. Deterioração e preservação da madeira / Organizadores, Vinicius Gomes de Castro, Pompeu Paes Guimarães, Autores, Vinicius Gomes de Castro et al. – Mossoró: EdUFERSA, 2018., 213p. ISBN: 978-85-5757-089-4 1. Botânica - deterioração. 2. Madeira - preservação. 3. Modificação química - madeira. 4. Fator abiótico - madeira. 5. Brocas marinhas. I. Castro, Vinicius Gomes de. II. Guimarães, Pompeu Paes. III. Carvalho, Douglas Edson. IV. Souza, Gabriela Oliveira de. V. Brochini, Gisele Gimenes. VI. Azambuja, Rafael da Rosa. VII. Rosa, Thiago Souza da. VIII. Rocha, Márcio Pereira da. IV. Loiola, Pedro Lício. X. Dias, Poliana Coqueiro. XI. Pereira, Kleane Targino de Oliveira. XII. Título.
EdUFERSA	CDD - 580

Bibliotecário-Documentalista
Pacelli Costa (CRB15-658)

Editora filiada:



Av. Francisco Mota, 572 (Campus Leste, Centro de Convivência) Costa e Silva | Mossoró-RN | 59.625-900 | +55 (84) 3317-8267 <http://edufersa.ufersa.edu.br> | edufersa@ufersa.edu.br

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	AGENTES DETERIORADORES ABIÓTICOS.....7 Vinicius Gomes de Castro Pompeu Paes Guimarães
CAPÍTULO 2	FUNGOS MANCHADORES E EMBOLADORES21 Douglas Edson Carvalho, Gabriela Oliveira de Souza Gisele Gimenes Brochini, Pompeu Paes Guimarães Rafael da Rosa Azambuja, Thiago Souza da Rosa Vinicius Gomes de Castro,
CAPÍTULO 3	AGENTES COM CAPACIDADE LIMITADA DE DEGRADAÇÃO DA LIGNINA41 Douglas Edson Carvalho, Gisele Gimenes Brochini Márcio Pereira da Rocha, Pedro Lício Loiola Poliana Coqueiro Dias, Pompeu Paes Guimarães Vinicius Gomes de Castro
CAPÍTULO 4	AGENTES COM ALTA CAPACIDADE DE DEGRADAÇÃO DA LIGNINA55 Pompeu Paes Guimarães, Thiago Souza da Rosa Vinicius Gomes de Castro
CAPÍTULO 5	INSETOS: ORDEM ISOPTERA67 Gabriela Oliveira de Souza, Márcio Pereira da Rocha Poliana Coqueiro Dias, Pompeu Paes Guimarães Vinicius Gomes de Castro
CAPÍTULO 6	INSETOS: ORDENS COLEOPTERA E HYMENOPTERA ..85 Gisele Gimenes Brochini, Pedro Lício Loiola Pompeu Paes Guimarães, Rafael da Rosa Azambuja Vinicius Gomes de Castro

CAPÍTULO 7	BROCAS MARINHAS	111
	Gisele Gimenes Brochini, Pedro Lício Loiola Pompeu Paes Guimarães, Thiago Souza da Rosa Vinicius Gomes de Castro	
CAPÍTULO 8	DURABILIDADE NATURAL	125
	Douglas Edson Carvalho, Pedro Lício Loiola	
CAPÍTULO 9	PRESERVANTES DE MADEIRA	135
	Douglas Edson Carvalho, Gisele Gimenes Brochini Pedro Lício Loiola, Pompeu Paes Guimarães Thiago Souza da Rosa, Vinicius Gomes de Castro	
CAPÍTULO 10	INFLUÊNCIA DA ANATOMIA DA MADEIRA NA PRESERVAÇÃO	151
	Pompeu Paes Guimarães, Vinicius Gomes de Castro	
CAPÍTULO 11	MÉTODOS DE PRESERVAÇÃO	163
	Douglas Edson Carvalho, Pedro Lício Loiola Pompeu Paes Guimarães, Vinicius Gomes de Castro	
CAPÍTULO 12	TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA PROTEÇÃO DA MADEIRA	179
	Kleane Targino Oliveira Pereira, Pompeu Paes Guimarães Rafael da Rosa Azambuja, Vinicius Gomes de Castro	
CAPÍTULO 13	MODIFICAÇÕES QUÍMICAS	201
	Pompeu Paes Guimarães, Vinicius Gomes de Castro	

CAPÍTULO 1

AGENTES DETERIORADORES ABIÓTICOS

Vinicius Gomes de Castro
Pompeu Paes Guimarães

INTRODUÇÃO

Madeira é um dos materiais mais antigos utilizados pelo ser humano para fabricação de ferramentas, abrigos e meios de transporte por ser de fácil trabalhabilidade. Porém, logo tornou-se claro que a madeira é suscetível aos efeitos do fogo, da exposição ao clima e de vários organismos com capacidade de destruí-la. Na Bíblia, fungos e organismos marinhos que causam decomposição da madeira são chamados de praga, sendo que, na antiguidade, a podridão da madeira era considerada um ato punitivo de Deus. Somente em 1874, Robert Harting reconheceu a relação de causa e consequência entre “praga” e dano e, por causa dessa observação, até hoje ele ainda é considerado o pai da patologia florestal e da deterioração da madeira (MERRILL et al., 1975).

Contudo, a observação que algumas espécies de madeira são mais resistentes do que outras já ocorria bem antes do século XIX. Aborígenes australianos usavam madeira de *Corymbia terminalis*, espécie naturalmente resistente ao ataque de cupins e fungos na construção de seus túmulos datados de 5.000 a.C.; os Maias também usaram madeiras resistentes a cupins na construção de templos na Guatemala em 700 d.C.; e o filósofo Theophrastos (371-287 a.C.), sucessor de Aristóteles, chegou a listar as espécies de madeira duráveis em seus trabalhos botânicos (UNGER et al., 2001).

A decomposição da biomassa, que engloba madeira, é uma parte necessária do ciclo natural dos materiais: durante fotossíntese, madeira e

O₂ são formados a partir de CO₂ e H₂O através da luz. Em contrapartida, a madeira é decomposta por fungos e bactérias a CO₂, H₂O e energia para o metabolismo do agente. Nas florestas do mundo, cerca de 400 bilhões de toneladas de CO₂ são armazenados. Sem a decomposição (ou queima) da biomassa, o gás carbônico disponível na atmosfera seria completamente usado em apenas 20 ou 30 anos (SCHLEGEL, 1992 apud SCHMIDT, 2006). O ser humano retarda a decomposição da madeira por razões econômicas através de medidas protetivas para prolongar o uso da matéria-prima.

O que diferencia o estudo de *Deterioração da Madeira* dos tópicos abordados em *Patologia Florestal* é o fato de estarmos tratando com o substrato morto, madeira. Em questão de semanas após a derrubada de uma árvore, as células parenquimáticas morrem e células mortas não podem adoecer. Por isso, o termo patologia não pode ser aplicado ao ataque sofrido após o corte.

A deterioração da madeira se dá de diferentes maneiras. Portanto, é importante que, em cada situação de uso, seja identificada a principal causa da deterioração, para que controles específicos e eficientes sejam tomados (ROCHA, 2001). Assim, o estudo da deterioração da madeira deve envolver áreas distintas do conhecimento, entre as quais podem ser citadas: a entomologia, micologia, fisiologia vegetal e a tecnologia da madeira, sendo de extrema importância o sinergismo entre elas para que o processo seja compreendido de forma integral (TREVISAN et al., 2007).

CONCEITOS E TERMINOLOGIA

É importante para qualquer profissional aprender e conhecer o vocabulário específico de cada campo de estudo. Termos são criados para designar conceitos específicos, estruturas ou eventos que ajudam a simplificar o complexo mundo da ciência biológica, apontando similaridades, diferenças e interligações. É importante lembrar que esses conceitos e definições são arbitrários, e somente seu uso justifica sua existência. Em alguns casos, conceitos não conseguem ser definidos precisamente para incluir todos os fenômenos relacionados. Muitas vezes, uma série de eventos ocorre de uma forma intrigante ou contínua que não podem ser separados facilmente. Em outros casos, autoridades simplesmente discordam de algumas definições, e termos conflitantes podem aparecer na literatura (ZABEL; MORRELL, 1992).

Primeiramente, uma clara distinção entre deterioração e doença é necessária porque a patologia da madeira, ou mais aceito, a microbiologia da madeira é originada da patologia florestal:

Deterioração é a mudança destrutiva das propriedades de um material não vivo causada por uma gama de agentes químicos, físicos, mecânicos e bióticos. Contrasta diretamente com a doença. Madeira serrada, painéis, fibras e papéis são exemplos de materiais orgânicos madeireiros que podem ser deteriorados ou destruídos por agentes bióticos.

Doença (planta) é um processo (ou processos) fisiológico anormal da planta que pode ameaçar sua vida ou parte dela, ou reduzir seu valor econômico. Doença envolve reações ou mudanças (sintomas como resposta) no organismo estressado, enquanto que deterioração ocorre apenas em materiais orgânicos sem vida. Agentes bióticos e abióticos podem instigar mudanças em ambos os casos (ZABEL; MORRELL, 1992).

Biodeterioração é uma categoria de deterioração. É um termo negativo e pode ser definido como qualquer mudança indesejada nas propriedades de um material não vivo causada por atividade de organismos vivos. Os agentes envolvidos são muitos e variados, incluem bactérias, algas, fungos, invertebrados e vertebrados como roedores e pássaros. O principal processo envolvido é a *assimilação*, incluindo invasão e digestão de material orgânico, como madeira ou tecido; *dano mecânico* por desgaste causado por brocas marinhas ou insetos; a *corrosão* de metais por atividade química de bactérias; e *comprometimento de função*, como quando ocorre o acúmulo de cracas em casco de navios (ZABEL; MORRELL, 1992).

Dois tipos principais de biodeterioração são a podridão e a descoloração (mancha):

Podridão é a mudança nas propriedades físicas e químicas da madeira causada principalmente por atividades enzimáticas dos microorganismos.

Descoloração é a mudança na cor natural da madeira resultante do crescimento de fungos ou mudanças químicas nas células ou no conteúdo das células (ZABEL; MORRELL, 1992).

Outra questão de nomenclatura vem sendo levantada quanto ao termo mais adequado para descrever a decomposição da madeira: biodeterioração ou biodegradação. Os dois termos ainda são muitas vezes tratados como sinônimos, mas há uma tendência de diferenciação, como ocorre na língua inglesa. **Biodeterioração** (*biodeterioration*) significa destruição biológica indesejada, e **biodegradação** (*biodegradation*) significa degradação controlada por microorganismos ou suas enzimas (SCHMIDT, 2006). Dessa forma, o termo degradação da madeira

passa a ter um teor muitas vezes positivo e muito utilizado nas áreas da biotecnologia de produtos lignocelulósicos.

Outro termo positivo é a **biomodificação**, usado para descrever processos bióticos que envolvem a quebra ou conversão de material orgânico ou resíduo por microorganismo em produtos seguros e úteis (ZABEL; MORRELL, 1992). Pode-se afirmar que a biodegradação seria uma categoria mais específica da biomodificação.

AGENTES ABIÓTIICOS

DESGASTE MECÂNICO

A madeira, submetida a condições de movimentos de diversas classes, está sujeita continuamente a se deteriorar pela ação do desgaste mecânico. É o caso de dormentes, escadas, pontes, blocos de madeira usados em pavimentação de cais, etc (MENDES; ALVES, 1988). Por exemplo, dois fatores devem ser considerados em relação à durabilidade de dormentes em estradas de ferros: a resistência ao apodrecimento e a resistência ao desgaste mecânico. Assim, apesar de a pregação poder ser substituída fazendo-se outro furo ao lado do anterior, é comum o dormente não resistir à nova pregação e ser considerado inutilizado, sendo a madeira substituída apesar de quase sempre, em seu conjunto, ainda estar em estado regular (NABAIS, 2014).

Já o desgaste em pisos está condicionado à resistência à abrasão superficial quando há o movimento de objetos ou de pessoas sobre o mesmo. Esse é um dos fatores mais importantes para se determinar a vida útil de um piso, sendo um fator limitante no emprego da madeira (KOBÁ et al., 2002).

A variação da resistência da madeira está relacionada à sua microestrutura. Os diferentes tipos de células existentes nela influenciam diretamente as propriedades mecânicas do material, entretanto, a massa específica é determinante para sua resistência mecânica (NABAIS, 2014).

A escolha do tipo de madeira mais adequada deve sempre considerar suas propriedades mecânicas de acordo com os requisitos exigidos pelo uso final. A norma europeia EN 338 (CEN, 2009), por exemplo, estabelece classes de resistência para madeiras de coníferas e de folhosas com fins estruturais de acordo com as propriedades de resistência, elasticidade e massa específica das madeiras.

PEGADAS NA MADEIRA CONTAM HISTÓRIA DAS REZAS DE MONGES BUDISTAS

No templo de Tongren, China, pegadas humanas deixadas no piso de madeira marcam o ponto exato onde um monge budista de 70 anos chamado Hua Chi, faz suas orações diárias por mais de 20 anos.



Figura 1.1. Desgaste mecânico no piso de madeira do templo Tongren, China.

Fonte: DUBROFF (2009)

As impressões deixadas na madeira são resultado de uma inacreditável frequência de orações de até três mil vezes por dia. Até para os padrões do budismo, que prega viver em estado de meditação e contemplação para alcançar o Nirvana, sua taxa é considerada excessiva.

DESGASTE FÍSICO

As condições climáticas podem provocar deterioração física em madeiras expostas. Radiação solar, ventos, chuvas e umidade, sejam de forma isolada ou em conjunto, podem provocar alterações na cor da madeira, bem como reações químicas de seus componentes, aspereza superficial, rachaduras e fissuras.

A peça de madeira exposta à luz absorve intensamente a radiação solar e sofre deterioração fotoquímica por causa da ação dos raios ultravioletas, que comprometem o seu aspecto geral, sujeito inicialmente à mudança de cor (Figura 1.2) e depois à perda de suas propriedades mecânicas (GONÇALES et al., 2010).

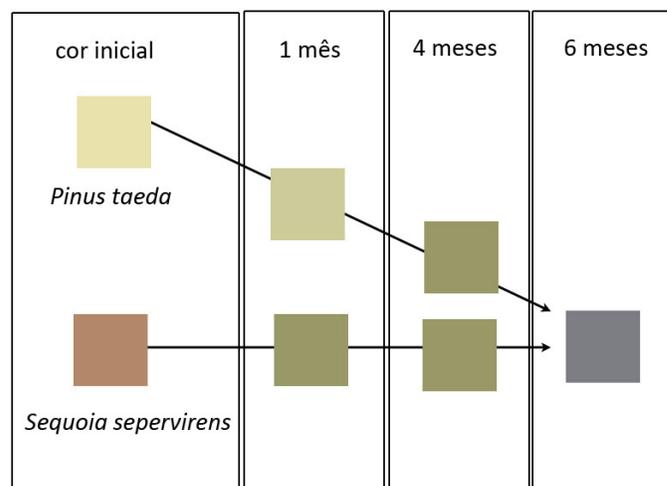


Figura 1.2. Esquema de mudança de cor de madeiras de diferentes tonalidades durante seis meses de exposição ao intemperismo

Fonte: Autoria própria (2016)

A modificação da cor de madeiras pode ser mensurada pelo sistema CIE-L*a*b*. (Comissão Internacional de L'Eclairage ou Comissão Internacional de Iluminantes). Esse sistema define a sensação da cor

baseado em três elementos: a luminosidade, a tonalidade e a saturação (CAMARGOS; GONÇALEZ, 1999). O valor de luminosidade é representado pelo símbolo L* e varia de branco a preto. A tonalidade é representada por dois pigmentos: a* que pode variar de verde a vermelho e b* que pode variar de azul a amarelo (LEÃO et al., 2005).

Embora a cor da madeira seja severamente afetada pela radiação solar, Chang et al. (1982) apresentaram registros históricos que indicam que, após um século, a madeira exposta à luz sofre uma erosão entre 6 mm e 7 mm apenas. Os mesmos autores indicaram que essa deterioração ocorre devido à degradação da lignina na lamela média das paredes celulares, sendo que a superfície tangencial mostrou-se mais resistente à luz UV do que as superfícies transversal e radial.

Outro fenômeno físico importante quando se trata de deterioração é o fogo, por ter a ação rápida e ser capaz de devastar por completo elementos de madeira. Porém, mesmo sendo um material combustível, a madeira apresenta uma boa resistência a ele. São necessárias temperaturas superficiais superiores a 400°C para que se possa efetuar a ignição da madeira maciça a médio e curto prazo sem a exigência de uma chama piloto (mesmo com uma chama piloto, a ignição tem início em temperatura acima de 300°C). Por isso, estruturas de madeira, na verdade, apresentam um melhor comportamento quando expostas ao fogo do que estruturas de concreto ou aço (mesmo que estruturas de madeira apresentem pontos fracos em suas juntas). Isso porque, mesmo que uma temperatura ultrapasse o nível de 280°C, a estrutura não sofrerá uma ruptura súbita, pois num incêndio em que se atinja 1000°C, ela conservará, durante algum tempo, uma boa resistência mecânica, ao contrário de uma peça metálica, cuja resistência diminui drasticamente quando se atinge temperaturas da ordem dos 300°C, em virtude da total alteração das suas propriedades mecânicas. A resistência duradoura da madeira é efeito de sua própria característica de queima. A superfície externa da madeira entra facilmente em combustão e cria

uma camada carbonizada que é 6 vezes mais isolante que a própria madeira, atrasando o processo e permitindo que a madeira interior da peça não seja afetada pelo fogo (COSTA E SILVA, 2010).

DETERIORAÇÃO QUÍMICA

A madeira, quando em contato com substâncias químicas, tais como ácidos e bases fortes, óxido de ferro, dióxido de enxofre, sais de sódio, etc, pode sofrer transformações químicas, reduzindo suas propriedades físico-mecânicas. Esse tipo de deterioração é facilmente encontrado em peças de madeira em contato com ferragens, ou em contato com tintas e adesivos de formulações não apropriadas (MENDES; ALVES, 1999).

Mancha marrom

Manchas na madeira geralmente são causadas por ataque de fungos, mas também podem ocorrer por alterações químicas que ocorrem com os extrativos solúveis em água. Extrativos solúveis em água são alterados por enzimas do tipo peroxidase, transportados para a superfície da madeira através do fluxo de água e depositados à medida que a água evapora, principalmente durante processos de secagem da madeira. A posterior oxidação desses extrativos para substâncias coloridas são responsáveis pela formação da mancha marrom (PEREIRA, 1992).

No Brasil, há relatos de mancha marrom para as espécies *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Seu desenvolvimento é favorecido principalmente por: intervalo de tempo entre o abate e desdobro e, de forma mais crítica, entre desdobro e secagem, extrativos e condições de secagem. Outros fatores relacionados são a espessura da peça (a mancha é mais profunda em peças mais espessas) e o pH da madeira (formação é inibida em pH mais alto) (PEREIRA, 1992).

REFERÊNCIAS

CAMARGOS J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, v. 71, p.30-41, 1999.

CHANG, S. T.; HON, D. N.; FEIST, W. C. Photodegradation and photoprotection of wood surfaces. **Wood and Fiber**, v. 14, n. 2, p. 104-117, 1982.

COSTA E SILVA, C. M. O. **Avaliação da resistência ao fogo de produtos de construção**. 2010. 133f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Aveiro, 2010. 133p.

DUBROFF, M. D. **Footprints in wood tell story of buddhist monk's prayers**. 2009. Disponível em: <<http://www.weirdasianews.com/2009/04/28/footprints-wood-prayer-story-buddhist-monk/>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

European Committee for Standardization (CEN). **EN 338. Structural timber - Strength classes**. 2009

GONÇALVES, J. C. et al. Efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de Frejó (*Cordia goeldiana* Huber) após receber produtos de acabamento. **Ciência Florestal**, v.20, n.4, p.657-664, 2010.

KOGA, R.C.; BITTENCOURT, R.M.; GONÇALVES, M.T.T. Resistência à abrasão do bambu gigante e espécies de madeiras para utilização como elemento de piso. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002.

LEÃO, A. C.; ARAÚJO, A. A.; SOUZA, L. A. C. Implementação de sistema de gerenciamento de cores para imagens digitais. In: TEIXEIRA, A.; BARRÉRE, E.; ABRÃO, I. C. **Web e multimídia: desafios e soluções**. Poços de Caldas: PUC-Minas, 2005.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF/LPF, 1988. 56p.

NABAIS, J. S. **Manual básico de engenharia ferroviária**. São Paulo: Oficina de texto, 2014.

PEREIRA, J. C. D. **Formação e controle da mancha marrom em madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm Var. *elliottii***. 1992. 92f. Tese. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

ROCHA, M. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: FUPPEF, 2001. 94p. Série didática

SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: Biology, damage, protection, and use**. Berlim: Springer, 2006. 334p

TREVISAN, H. et al. 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.

UNGER, A.; SCHNIEWING, A. P.; UNGER, W. **Conservation of wood artifacts: a handbook**. Berlim: Springer, 2001. 585p.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology: decay and its prevention**. San Diego: Academic Press, 1992. 476p

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 1

- Deterioração da madeira
- Biodeterioração
- Podridão
- Descoloração
- Degradação
- Biomodificação
- Desgaste mecânico
- Desgaste físico
- Mensuração da cor da madeira
- Deterioração química
- Mancha marrom

Questões do capítulo 1

1. Qual a diferença entre o estudo de patologia florestal e deterioração da madeira?
2. Qual a definição de deterioração?
3. Biodeterioração e deterioração são sinônimos?
4. Qual o melhor termo que caracteriza a decomposição da madeira: biodeterioração ou biodegradação?
5. Descreva os principais tipos de biodeterioração.
6. Exemplifique a utilização de madeiras submetidas a desgaste mecânico.
7. Quais são os desgastes físicos mais frequentes em madeiras expostas?
8. Utilizei *Pinus taeda* na constituição de uma parede exposta frequentemente à luz do sol. Após seis meses de uso, foram percebidas alterações na coloração da parede, como proceder para mensurar a modificação da cor da madeira utilizada?

9. Na escolha entre construir uma estrutura de alvenaria ou madeira de uma casa, qual desses materiais apresentaria um melhor comportamento quando exposto ao fogo? Justifique sua resposta.
10. Como surge a mancha marrom na madeira?

CAPÍTULO 2

FUNGOS MANCHADORES E EMBOLORADORES

Douglas Edson Carvalho
Gabriela Oliveira de Souza
Gisele Gimenes Brochini
Pompeu Paes Guimarães
Rafael da Rosa Azambuja
Thiago Souza da Rosa
Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

De modo geral, após o abate das árvores, os primeiros agentes deterioradores que surgem são os fungos emboloradores e os manchadores. Devido ao alto teor de umidade da madeira e à grande quantidade de substâncias de reserva que servem como fonte de nutrientes para os fungos, esse ataque pode acontecer logo nas primeiras horas após o corte. Devido a essa ação pioneira, muitas vezes essa categoria de fungos deterioradores são até mesmo considerados benéficos, uma vez que podem agir como inibidores de fungos apodrecedores. Isso acontece porque essas categorias de fungos não causam ou causam muito poucos danos à parede celular da madeira e seus ataques limitam-se apenas ao alburno, o que gera pouco efeito às propriedades mecânicas do material (SCHMIDT, 2006).

Brown e Bruce (1999) desenvolveram pesquisas pioneiras no estudo do uso de fungos emboloradores *Trichoderma viride* como biocontrole de fungos basidiomicetos apodrecedores. O potencial dessa aplicação

já pôde ser notado quando os resultados em testes de campo e laboratório indicaram que o ataque das amostras por fungos de podridão mole foi reduzido pela metade quando comparado à testemunha, além do retardo no aparecimento de manchas.

Por outro lado, o aspecto visual da madeira ainda é um dos principais requisitos do mercado no momento da comercialização, embora cada vez mais haja ações de marketing para aceitação do produto com manchas de fungos. No Canadá, por exemplo, a madeira manchada vem sendo utilizada na fabricação de móveis com o nome comercial de *Denim Wood* ou *Denim Pine*, embora o mercado como um todo ainda não tenha reconhecido como um produto diferenciado que mereça uma valoração econômica (ROBINSON et al., 2013).

Por essa razão, mesmo que não cause danos estruturais à madeira, é importante o estudo dos fungos manchadores e emboloradores, seus mecanismos de ataque, formas de proteção e potenciais usos da madeira atacada.

FUNGOS EMBOLORADORES

Os fungos emboloradores se desenvolvem em madeira recém-cortada, especialmente no alburno ainda úmido, em tábuas armazenadas inadequadamente e em madeira seca da forma errada e nutrem-se de açúcares, amido e proteínas presentes nas células parenquimáticas (SCHMIDT, 2006). Eles não afetam as paredes celulares, por isso, não comprometem a resistência mecânica da madeira. O ataque é apenas superficial, que por sua vez causa um grande dano visual à madeira, devido a um crescimento acentuado de hifas sobre a superfície podendo deixar um aspecto algodado (figura 2.1) de diversas cores dependendo da espécie de fungo.

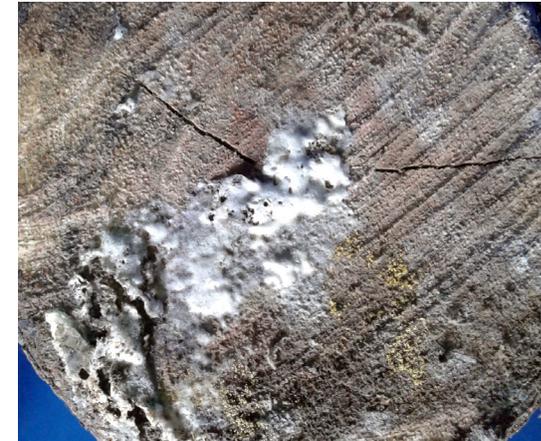


Figura 2.1. Bolor em madeira de Cajueiro (*Anacardium occidentale*) recém-abatida.

Fonte: Autoria própria (2016)

Fungos emboloradores, ou simplesmente bolores, não se desenvolvem em madeira seca, ou seja, com umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Portanto, o seu ataque é mais comum em toras recém-cortadas, peças que acabaram de ser serradas ou madeiras expostas em ambientes de alta saturação de umidade. Contudo, o fungo não necessariamente morre na madeira seca, pois pode permanecer em estado latente e voltar a se desenvolver quando a madeira é novamente umedecida.

O teor de umidade da madeira mais favorável ao crescimento do fungo é apontado entre 35% e 50%. Nessa condição, as paredes celulares estão saturadas com água e há uma camada de água livre revestindo os lúmens das células. O restante da cavidade celular fica disponível para troca de gases enquanto a camada líquida facilita a difusão de enzimas das hifas dentro da parede celular (MESQUITA et al., 2006).

Além de umidade, os bolores necessitam também de nutrientes, temperatura adequada (sendo o ideal entre 20°C e 30°C) e oxigênio. Quando todas essas necessidades são supridas, os bolores crescem e se reproduzem criando uma nuvem de esporos no ar.

Tipos de fungos emboloradores

Em uma estimativa conservadora, existem mais de 100.000 espécies de bolores no mundo. Acredita-se que os bolores e outros fungos são por volta de 25% da biomassa do planeta. A maioria dos esporos de bolores cai em terrenos que não são propícios para seu desenvolvimento e eventualmente morre.

Dentre os agentes causadores de bolor, estão os fungos mitospóricos (imperfeitos) do gênero *Penicillium*, *Gliocladium* e *Trichoderma*, responsáveis pelas manchas de coloração esverdeada e *Aspergillus* e *Rhizopus*, que causam as manchas escuras, da classe-forma Hyphomycetes, que são saprófitas (se alimentam de matéria orgânica morta) de esporulação abundante, com os conídios muito pequenos, unicelulares e são facilmente disseminados pelo ar. Esses gêneros são cosmopolitas, ou seja, seus esporos estão presentes no mundo inteiro (FURTADO, 2000).

Mesquita et al. (2006) observaram que os fungos causadores de bolor foram os mais frequentes no início do processo de secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* ao ar livre. A ocorrência de *Aspergillus* spp, *Aspergillus niger*, *Trichoderma* sp e *Rhizopus* sp diminuiu quando a umidade da madeira ficou mais baixa do que 30% (25 dias de secagem). Já os bolores causados por *Penicillium* sp, ainda foram encontrados em grande frequência até a umidade da madeira ser igual a 17%, fato que ocorreu apenas no centésimo dia de secagem.

Martins (2007) observou que as espécies mais agressivas de emboloradores são *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma pseudokoningii* e *Penicillium lividum* para ataque em madeira de *Pinus* spp nos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo.

Condições para o desenvolvimento dos fungos

Um fator limitante crítico para o desenvolvimento do bolor é a umidade relativa do ar estar acima de 75% – 80% (equivalente a uma umidade

da madeira de 20%). A temperatura em que os emboloradores crescem podem ser de 0°C a mais de 50°C. O desenvolvimento é mais rápido em alta temperatura e umidade relativa (UR > 95% em temperaturas entre 20°C e 40°C). Em baixas temperaturas (abaixo de 5°C), o crescimento é lento, mesmo em alta umidade. O crescimento do fungo também pode ser afetado em condições inconstantes de umidade (VIITANEN, 2001).

No caso específico da madeira, outros fatores estão envolvidos: quantidade de alburno e cerne, qualidade da superfície da madeira, quantidade de nutrientes, permeabilidade da madeira e possíveis tratamentos.

Hanada et al. (2003) estudaram o ataque de fungos em 12 espécies de madeira tropical. Eles observaram que as espécies com madeira de baixa densidade foram as que apresentaram uma maior diversidade e intensidade de fungos, principalmente emboloradores. Entre as possíveis explicações, apontaram que a presença de lignina em alta quantidade também é um fator limitante para o estabelecimento de fungos emboloradores e manchadores, pois tais fungos não conseguem degradar lignina.

Danos à madeira

A madeira contém uma variedade de materiais como açúcares, proteínas e lipídios que servem de nutrientes para a proliferação dos fungos. Entretanto, a presença de bolor é rara em árvores vivas por causa da barreira de proteção formada pela casca. Uma vez que a árvore é abatida, a proteção diminui e os esporos presentes no ar entram em contato com a superfície da madeira e criam colônias.

A coloração do bolor varia de acordo com a espécie causadora. As cores mais comuns variam entre cinza claro a preto (figura 2.2) ou, em tons mais brilhantes, entre verde e amarelo. O aspecto dessa descoloração é difuso ou pulverulento na superfície da madeira, mesmo nos casos em que as hifas penetram profundamente na madeira. Isso

porque as hifas são hialinas. As manchas tendem a ocorrer em pontos em que a concentração e tamanho variam conforme o tipo e padrão do crescimento superficial do agente causal (MARTINS, 2007).



Figura 2.2. Bolor de coloração escura em madeira de *Pinus* sp.

Fonte: A autoria própria (2016)

A passagem das hifas dos fungos de uma célula para outra ocorre pelas pontuações, o que pode causar o rompimento da membrana de pontuação ou do torus. Esse tipo de perfuração causa certo prejuízo mecânico à madeira, reduzindo sua resistência ao impacto e aumentando sua permeabilidade que, por sua vez, pode prejudicar a absorção de preservativos, além de permitir um reumidecimento da madeira, abrindo portas para a possibilidade de apodrecimento.

Danos aos seres humanos

Os fungos dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus* também podem produzir toxinas como citrinas, patulinas, ocratoxinas, aflatoxinas, que são tóxicas ao homem e aos animais, além de serem oportunistas em infecções respiratórias quando encontram imunodeficientes

(transplantados, portadores de HIV ou pessoas em processo de quimioterapia, por exemplo).

As toxinas produzidas pelo bolor também podem causar irritação nos olhos e no sistema respiratório quando em alta concentração. Essa concentração, porém, normalmente é muito baixa, mesmo em ambiente tomado por bolor. Embora sejam inofensivas, as toxinas têm um odor característico que pode incomodar em concentração bem mais baixa do que a necessária para causar irritação.

A absorção da toxina pode ser pela pele, ingestão ou inalação. No caso do contato com a pele, o esporo não entra no corpo, mas pode causar irritação devido a uma reação alérgica. Quando inalado, a maioria dos esporos é retida no próprio nariz, boca, traqueia e brônquios. Apenas as partículas menores que 5 micrometros alcançam o pulmão. Mas para a maioria das pessoas, a concentração tóxica é de centenas de milhões de esporos por metro cúbico de ar (ROBBINS; MORRELLI, 2006).

A intoxicação por ingestão de bolor geralmente acontece quando o fungo encontra-se em alimentos e, dependendo da concentração, pode até ser fatal. As condições para a produção das toxinas variam de acordo com o substrato e da espécie do fungo presente, o que torna o fungo potencialmente perigoso, caso a madeira atacada seja utilizada para embalar produtos alimentícios. O consumo de alimentos contaminados com aflatoxinas apresenta associação com o desenvolvimento de carcinoma hepatocelular (CRUZ, 2010).

Prevenção e controle

O controle dos fungos emboloradores é feito basicamente através da secagem da madeira, armazenamento em condições adequadas de temperatura e umidade ou aplicação de preservativos químicos. Esses fungos, porém, podem apresentar tolerância a diversos ingredientes ativos, mesmo quando usados em altas concentrações. Para algumas

dessas espécies, a relação entre fungo e preservante pode ser ainda mais delicada, uma vez que podem chegar a detoxificar alguns desses preservativos, abrindo caminho para outros agentes deterioradores mais severos. Uma solução para esse problema pode vir a ser o uso de controle biológico.

Martins (2007) comprovou que blocos de madeira de *Pinus*, quando inoculados com fungos emboloradores do gênero *Trichoderma*, apresentaram uma redução no desenvolvimento quando submetidos a tratamento com solução de exudatos do isolado bacteriano de *Pseudomonas* spp. Também observou a redução de bolores inoculados com o gênero *Penicillium* (*P. citrinum* e *P. lividum*) quando tratados com exudatos bacterianos de *Pseudomonas* spp e *Bacillus* spp. Já para os fungos do gênero *Aspergillus*, o controle biológico mais eficiente foi o de exudato de *Bacillus* spp e do actinomicete. A autora, porém, recomendou o uso de uma combinação de diferentes bactérias em vez de uma única para o controle de fungos emboloradores.

FUNGOS MANCHADORES

A diferenciação entre os bolores e fungos manchadores pode ser feita inicialmente com base na profundidade da pigmentação, uma vez que o ataque superficial é visualmente semelhante. Os fungos manchadores típicos, também chamados de azulados (*bluestain*), penetram profundamente no alburno e não podem ser removidos por métodos de usinagem, como lixamento ou aplainamento. Se a madeira for observada na seção transversal, frequentemente podem ser vistas manchas em forma de cunha e orientadas radialmente, no sentido das fibras da madeira (figura 2.3).



Figura 2.3. Ataque de fungos manchadores nos sentido transversal de corte da madeira de *Pinus taeda*.

Fonte: A autoria própria (2016).

Normalmente, esse tipo de fungo cresce nas células parenquimatosas do alburno, onde produzem hifas pigmentadas que se nutrem a partir de carboidratos contidos no citoplasma das células, produzindo manchas acinzentadas a azuladas (FURTADO, 2000). Sob condições ideais, manchadores podem promover descoloração de até 0,5 mm no plano tangencial, 1 mm no radial e 5 mm no longitudinal, no decorrer de 24 horas, atingindo camadas profundas do alburno (MARTINS, 2007).

Assim como os bolores, os fungos manchadores ocorrem em toras recém-cortadas e em madeira serrada, durante a secagem ou em processos de reumidificação da madeira. É rara a ocorrência desse tipo de ataque em árvores em pé, mas pode vir a acontecer em árvores senescentes, por exemplo, quando uma árvore é atacada por uma vespa de madeira (*Sirex noctilio*). Essa vespa carrega em seu corpo estruturas do fungo *Amylostereum*, para servir de alimento inicial de suas larvas. Em uma madeira senescente, esse fungo pode se desenvolver nas galerias escavadas pelas larvas dentro da madeira, causando o manchamento (FURTADO, 2000).

Outros insetos também podem servir de vetores para os fungos manchadores. Entre eles, vale destacar o ataque de um conjunto de besouros que são chamados pelo nome do fungo que usam como alimento para suas larvas: Ambrósia. Esses besouros não se alimentam de madeira, por isso, a fêmea deixa esporos de fungos após colocar seus ovos. Nem o ataque do inseto nem o do fungo afeta a resistência da madeira, mas a mancha escura pode afetar seu valor estético (HADLINGTON, 2003)

Tipos de fungos

Os principais gêneros de fungos causadores de manchas estão os mitosporicos, da Classe-forma Coelomycetes: *Lassiodiplodia*, *Ophiostoma*, *Graphium* e *Diplodia* (Furtado, 2000). Também podem ser causadas por fungos de colonização pioneira, tais como da espécie *Ceratocystis*, *Leptographium* e *Sphaeropsis* (MARTINS, 2007).

Dentre essas espécies, os ascomicetos, *Ophiostoma* e *Ceratocystis* podem ser classificados como fungos *bluestain*, pois a madeira atacada por eles apresenta manchas que variam do azul ao preto. As manchas azuis são comumente causadas por *Aureobasidium pullulan*, que é onipresente em substratos celulósicos, e também por *Cladosporium herbarum*, *C. cladosporioides*, *Alternaria tenuis*, *A. alternata*, *Stemphylium verrucosum*, *Phialophora* spp., entre outros (MAGALHÃES, 2005).

Mecanismo de ataque

A maioria dos organismos causadores de mancha não são capazes de perfurar as paredes celulares e dependem de aberturas naturais entre as células e do rompimento das membranas das pontuações para penetrarem na madeira. Alguns manchadores, porém, podem atravessar a parede celular, graças à formação de apressórios, o que sugere um mecanismo de penetração mecânica, não envolvendo ataque químico.

As hifas penetram profundamente no alburno e absorvem as substâncias de reserva presente no lúmen. Nas coníferas, as hifas colonizam exclusivamente as células do parênquima radial e raramente são observadas nos traqueídeos (FURTADO, 2000). Elas podem ser pigmentadas com melanina e compostos similares ou hialinas, mas capazes de secretarem substâncias coloridas. A pigmentação tem início de 5 a 6 dias após o fungo se estabelecer na madeira (MARTINS, 2007). Dessa maneira, o crescimento do fungo manchador não se limita à área onde, macroscopicamente, a mancha é visível e, conseqüentemente, a remoção das pontas manchadas nem sempre é uma garantia de sanidade da peça, bem como não está necessariamente sadia (MAGALHÃES, 2005).

Assim como os bolores, os fungos manchadores também não são capazes de degradar a lignina, sendo assim, a quantidade deste composto na madeira é um fator limitante para seu desenvolvimento.

Danos à madeira

O principal dano causado pelos manchadores é a estética do material. Como as hifas penetram no alburno, a mancha não pode ser retirada com lixa ou plaina. A descoloração acompanha o sentido dos raios da madeira em várias densidades. As cores variam de azulado a azulado escuro e de cinza a marrom, embora tons de amarelo, laranja, roxo e vermelho possam ser encontrados (HASSAN; ABDULKADER, 2009). A cor exata da mancha depende do tipo da madeira, da espécie de fungo e da umidade da madeira.

Algumas normas definem a quantidade de madeira manchada permitida para uso estrutural (figura 2.4). Normalmente esse limite ocorre quando a madeira será exposta (por exemplo, para dormente, apenas 25% da madeira pode apresentar manchas). Para uso interno, não há problema, sendo que a mancha pode até mesmo ser um atrativo quanto a elementos decorativos.



Figura 2.4. Uso estrutural de peças de madeira atacada por fungos manchadores

Fonte: Autoria própria (2016)

Há estudos, porém, que indicam que madeira de alburno de *Pinus* internamente manchada pode apresentar redução de até 2% na densidade, 10% na dureza, 5% na resistência à flexão e 30% na resistência ao impacto, além do fato de a madeira se tornar mais permeável, o que pode alterar a quantidade no uso de preservativos, adesivos e outros tratamentos (FURTADO, 2000).

Prevenção e controle

A prevenção contra manchadores consiste em manter condições adversas para o desenvolvimento do fungo, ou seja, conservar a madeira seca, manter a temperatura abaixo ou acima da ideal para o crescimento do agente deteriorador e proteger a madeira de infestação de insetos vetores.

Os fungos podem sobreviver, mas não podem crescer em madeira com umidade abaixo de 20%. Temperaturas acima de 65°C são fatais para fungos manchadores. Por isso, durante o processo de secagem, a temperatura deve ser elevada acima de 55°C o mais rápido possível para evitar o desenvolvimento do fungo dentro das estufas (KNAEBE, 2002). No entanto, processos de secagem muito rápida podem matar apenas o fungo superficial e deixar hifas nas camadas mais profundas que talvez ainda não tenham pigmentado (MARTINS, 2007).

Em regiões onde a temperatura e umidade são favoráveis ao crescimento do fungo, a madeira, além de seca, deve ser tratada quimicamente, mas o manchamento por causa do preservante pode ocorrer quando as toras são armazenadas por um tempo e depois secas a alta temperatura. Para aliviar esse problema, a tora deve ser cortada e imediatamente transportada para a secagem. Entre os preservantes, tradicionalmente, o mais usado era o Pentaclorofenol de sódio (PCP) para controle de manchadores. Contudo, esse produto é tóxico e causa efeitos colaterais nos operadores e no ambiente e vem sendo proibido ou controlado em vários países (KNAEBE, 2002). Em 2015, a Convenção de Estocolmo, tratado internacional sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), da qual o Brasil é um país signatário junto com mais 151 nações (apenas 7 países ainda não ratificaram o tratado, entre eles os EUA), banuiu o uso de PCP. Hoje, no Brasil, é usado apenas o sal sódico (Pentaclorofetato de sódio) como preservante de fungos manchadores.

Outros produtos químicos usados na prevenção de fungos manchadores são o creosoto, brometo de metila, CCA (cromo, cobre e arsênio), CCB (cromo, cobre e boro) e FCAP (flúor, cromo, arsênio e

fenóis). É possível ainda inibir o crescimento dos fungos limitando a quantidade de oxigênio disponível. Uma das técnicas é a pulverização do lenho com água ou submersão da peça (MARTINS, 2007).

Como os fungos tendem a ser territoriais, há a possibilidade do uso de controle biológico. A madeira pode ser inoculada com fungos mutantes incolores de *Ophiostoma piliferum* (comercialmente conhecido como C97). Contudo, embora essa espécie mutante não manche a madeira, ela continua causando o mesmo efeito de aumento de porosidade que os fungos manchadores normais (KNAEBE, 2002).

Métodos de mensuração

Uma das maneiras de se mensurar a infecção por fungos emboloradores e manchadores é o cálculo do fluxo de seiva pelo caule, uma vez que a porosidade da madeira tende a ser maior quando atacada. Há também métodos não destrutivos como marcadores radioativos e de termo-dissipação (MARTINS, 2007).

Contudo, o método mais utilizado em pesquisas para classificar o grau de infestação ainda é a análise visual. Para auxiliar a mensuração, diversos autores sugeriram diferentes escalas (HELD et al., 2003; HENZ; CARDOSO, 2005). Um exemplo deste tipo de classificação de fácil aplicação é a escala sugerida por Benko e Highley (1990) e apresentada na tabela 2.1 e ilustrada na figura 2.5.

Tabela 2.1. Escala de manchadores proposta por Benko-Highley (1990).

Notas	Manchas superficiais
0	Madeira sem manchas visíveis na superfície
1	Ligeiramente manchadas: pequenos pontos individuais com diâmetro máximo de 2 mm
2	Moderadamente manchada: Pelo menos 1/3 da superfície é manchada, ou manchas listradas que cobrem metade da peça
3	Pesadamente manchada: Mais da metade da superfície manchada

Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 2.5. Tábuas de Pinus com ataque de fungos manchadores classificadas de acordo com a escala Benko e Highley (1990).

Fonte: Autoria própria (2016)

MANCHA E O CUSTO TOTAL: UM ESTUDO DE CASO

Uma peça de madeira serrada manchada significativamente tem seu valor reduzido entre 1/2 e 2/3. Considere este trabalho conduzido em 2000 no Canadá:

Espécie cortada:

Acer sp.; Betula sp.; Prunus serotina

Totais da colheita:

99,12 m³ de madeira serrada (e lâminas)

764,44 m³ de polpa

Valores da colheita:

Valor da tora (sem mancha) = R\$ 46.971,60

Valor da polpa = R\$24.804,00

Resultados

A colheita teve início na segunda semana de agosto. A polpa celulósica foi produzida imediatamente após o corte. Porém, as toras foram serradas apenas em dezembro. Nesta ocasião, manchas severas surgiram nas toras. Originalmente, toda a madeira serrada sem manchas seria vendida por R\$ 46.971,60, a presença das manchas reduziu o valor real para R\$16.380,00. Entregando a polpa em primeiro lugar e deixando as toras condicionadas de tal modo que permitiu o surgimento de manchas, a empresa teve uma perda de R\$30.591,60.

HUBBARD, S.; BOWE, S.; MACE, T.; KONING, J.; CARLSON, J. C. **Blue stain, is it coloring your bottom line red?** Madison: DNR publications. 2005. 11p

REFERÊNCIAS

BENKO, R.; HIGHLEY, T. L. Selection of media for screening interaction of wood-attacking fungi and antagonistic bacteria II. Interaction on wood. **Material und Organismen**, v. 25, p. 173-180, 1990.

BROWN, H. L.; BRUCE, A. Assessment of the biocontrol potential of a *Trichoderma viride* isolate. Part II: Protection against soft rot and basidiomycete decay. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 44, n. 4, p. 225-231, 1999.

CRUZ, J. V. S. **Ocorrência de aflatoxinas e fumonisinas em produtos a base de milho e milho utilizado como ingrediente de ração para animais de companhia, comercializados na região de Pirassununga, Estado de São Paulo**. 2010. 73f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2010.

FURTADO, E. L. Microrganismos manchadores da madeira. In: I SIMPÓSIO DO CONE SUL SOBRE MANEJO DE PRAGAS E DOENÇAS DE *PINUS*. 2000. **Anais...** Série Técnica IPEF. v.13, n.33, p. 91-96, 2000.

HADLINGTON, P. **Australian termites and other common timber pest**. Sydney: UNSW Press, 2003. 131p.

HANADA, R. E. et al. Fungos emboloradores e manchadores de madeira em toras estocadas em indústrias madeireiras no município de Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 33, n. 3, p. 483-488, 2003.

HASSAN, W. A.; ABDULKADER, A. A. Soft rot and Wood staining fungi and efficiency of their preservatives. **Journal of Duhok University**, v. 12, n. 1, p. 49-53, 2009.

HELD, B. W. et al. Albino strains of Ophiostoma species for biological control of sapstaining fungi. **Holzforschung**, v. 57, p. 237-242, 2003.

HENZ, G. P.; CARDOSO, F. B. Absorção de água e proliferação de fungos em madeira de Pinus usada como embalagem para hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.138-142, 2005

KNAEDE, M. Blue stain. **Techlines, FPL**, v. 5, n.2, p.1-2, 2002.

MAGALHÃES, W. L. E. Controle de machadores e apodrecedores da madeira de Pínus. In: **II seminário de atualidades em proteção florestal**. Blumenau, 2005. 10p.

MARTINS, C. M. **Fungos emboloradores e manchadores associado à madeira de Pinus spp: gêneros, alterações e controle biológico**. 2007. 182f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Londrina - UEL, 2007.

MESQUITA, J. B.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Micobiota associada à madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden durante a secagem ao ar livre. **Ciência Florestal**, v.16, n.1, p. 45-50, 2006.

ROBBINS, C.; MORRELL, J. **Mold, Housing and Wood**. Western Wood Products Association, 2006, 12p.

ROBINSON S. C. et al. Repurposing mountain pine beetle blue wood for art through additional fungal colonization. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 372-374, 2013.

SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use**. Berlin: Springer, 2006. 334p

VIITANEN, H. Factors affecting mould growth on kiln dried wood. In: **3rd Workshop on softwood drying to specific end uses**. Helsinki, v.4.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 2

- Agentes deteriorizadores
- Fungos emboladores
- Fungos manchadores
- *Denim Wood*
- Controle químico
- Controle biológico
- Hifas
- Produtos químicos utilizados na preservação da madeira
- Classificação do grau de infestação

Questões do capítulo 2

1. Diferencie fungos emboloradores de fungos manchadores.
2. Quais fatores estão envolvidos para o desenvolvimento dos fungos em madeira?
3. Por que espécies com baixa densidade normalmente são mais atacadas por fungos?
4. Por que a presença de bolores em árvores vivas é rara?
5. Uma madeira fungada foi utilizada para produção de caixotes para transporte de produtos alimentícios. Se consumido por um animal ou ser humano, este fruto pode ser tóxico?
6. Como preservar a madeira da proliferação dos fungos?
7. Como os fungos podem ser oportunistas ao ataque de insetos em árvores em pé?
8. Qual o principal dano causado por fungos manchadores na madeira?
9. Uma madeira manchada pode ter uso estrutural interno e externo?
10. Quais produtos químicos não podem mais ser utilizados contra o ataque de fungos manchadores na madeira, segundo a Convenção de Estocolmo, 2015?

CAPÍTULO 3

AGENTES COM CAPACIDADE LIMITADA DE DEGRADAÇÃO DA LIGNINA

Douglas Edson Carvalho
Gisele Gimenes Brochini
Márcio Pereira da Rocha
Pedro Lício Loiola
Poliana Coqueiro Dias
Pompeu Paes Guimarães
Vinicius Gomes de Castro

BACTÉRIAS

As bactérias podem ser definidas como estruturas microscópicas, unicelulares, constituídas por uma célula simples, procariontes (sem membrana nuclear diferenciada), que se multiplica por fissão binária ou bipartição (reprodução assexuada), na qual a célula-mãe dá lugar a duas células-filhas exatamente iguais.

A maioria das bactérias é heterotrófica, ou seja, obtém a energia para seus processos vitais a partir de compostos orgânicos do meio, como por exemplo, carboidratos. Sua atividade enzimática desempenha papel fundamental no metabolismo microbiano, já que é através deste processo que ocorre a degradação das macromoléculas para sua nutrição. No caso de bactérias xilófagas, as principais enzimas são a amilase, a celulase e a pectinase. Quanto às suas condições de vida, normalmente desenvolvem-se em temperatura entre 25°C e 37°C, ainda que algumas espécies psicrófilas tolerem temperaturas de 0°C, e outras, como as termófilas, resistam a temperaturas superiores a 45°C (CALLOL, 2013).

A maior parte da madeira que esteve úmida por uma quantidade de tempo consideravelmente longa irá conter bactérias. O odor típico de toras mantidas submersas por meses é um sinal de ação bacteriana. Geralmente, bactérias têm pouco efeito nas propriedades da madeira, exceto após longos períodos, porém, pode haver um aumento significativo na capacidade de absorção da madeira. Isso implica em um aumento de absorção de umidade, adesivo, tinta ou preservantes durante o tratamento ou uso. Esse efeito é um problema encontrado em alburno de *Pinus* armazenado em poços, por exemplo. Também há evidências de desenvolvimento de bactérias em lâminas de *Pinus* mantidas embaixo d'água ou molhadas que podem causar mudanças consideráveis em suas características físicas, incluindo perda de resistência. Além disso, uma mistura de diferentes bactérias e fungos pode acelerar o apodrecimento de madeiras tratadas (CLAUSEN, 2010).

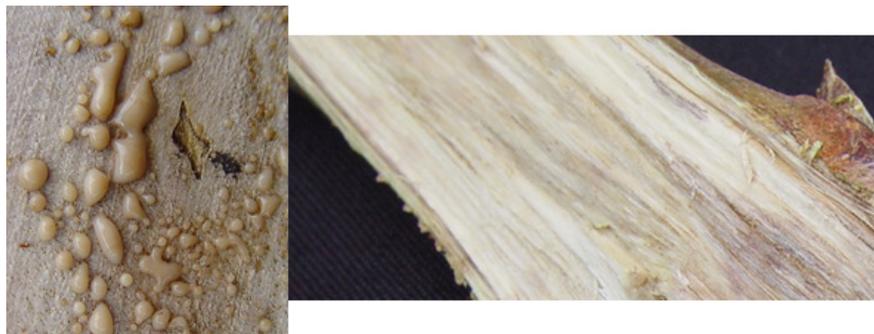


Figura 3.1. Incidência de pus bacteriano em madeira recém-abatida (esquerda) e manchas ao longo do lenho provenientes da ação de bactérias (direita).

Fonte: Autoria própria (2016)

Devido à lentidão do ataque das bactérias, esse tipo de deterioração da madeira é muitas vezes menosprezado. Porém, em um ramo específico da Engenharia Florestal, o conhecimento da extensão do dano e do tipo de deterioração bacteriana é fundamental por ser a principal

forma de deterioração em madeira exposta por longos períodos de tempo em ambiente natural: o estudo de madeiras arqueológicas.

Madeiras arqueológicas que sobrevivem às deteriorações biológicas e químicas são recursos extremamente valiosos, uma vez que podem resgatar importantes informações sobre culturas passadas. Também podem ser usadas para auxiliar a determinação da idade de materiais através da dendrocronologia (SCHWEINGGRUBER, 1993), determinar a origem do material através da identificação da espécie (TENNESSEN et al., 2002) e ainda gerar informações sobre os ambientes passados através de exames químicos e biológicos deixados na madeira (BLANCHETTE, 2003).

A maior parte das madeiras arqueológicas é encontrada enterrada em solo saturado ou pântanos. O fator principal de proteção dessas madeiras contra o apodrecimento é a baixa concentração de oxigênio do ambiente. A falta de oxigênio impede a colonização de fungos e, conseqüentemente, o apodrecimento da madeira. A madeira arqueológica também pode ser encontrada em ambientes terrestres não alagados. Nessas situações, seca, frio ou qualquer outro tipo de condição adversa limita a taxa de deterioração (BLANCHETTE, 2003).

Estudos sobre deterioração por bactérias são relativamente recentes e ainda não há uma compreensão total sobre o assunto. No entanto, diversas categorias de bactérias deterioradoras já foram descritas. Três grupos podem ser separados através de seus mecanismos de deterioração: bactérias de túneis, de erosão e de cavidades. Bactérias de escavação também podem ser encontradas em madeiras modificadas quimicamente utilizando componentes da parede celular. A colonização primária desse tipo de bactéria ocorre preferencialmente nas membranas das pontuações (BLANCHETTE, 2000).

MECANISMOS DE ATAQUE BACTERIANO

Ataque por túneis

Bactérias que atacam por túneis (*tunnelling bacteria*) ocorrem tanto em ambiente terrestre como em ambiente aquático. São capazes de tolerar grande variedade de temperatura e umidade, e na natureza, seu ataque é muitas vezes associado ao ataque de fungos causadores de podridão mole. Também podem ser encontradas em associação com outro tipo de bactéria que ataca por erosão, especialmente em madeiras expostas mesmo após preservação. Esse tipo de bactéria possui uma capacidade única de adaptação às condições do substrato, como por exemplo, alto teor de lignina e extrativos e presença de preservantes (SINGH, 2009).

As bactérias de túneis geralmente entram na madeira através dos raios e degradam os elementos lignificados (traqueídeos, fibras e vasos), atacando inicialmente a face do lúmen da parede celular e, então, penetrando a parede e rompendo a camada S3. A bactéria degrada a parede celular através de túneis “escavados” pela camada S2 e outras partes da parede celular em direções aleatórias (ou seja, não há ligação entre a direção dos túneis e as microfibrilas). Em estado avançado, toda a parede celular, incluindo a altamente lignificada lamela média, pode ser degradada pelos túneis. Nesse caso, a identificação do agente por microscópio passa a ser mais difícil, pois os vãos criados tornam-se irregulares e os túneis perdem suas identidades (SINGH, 2009). A lignina, porém, pode ser deteriorada apenas até um limite, sendo que um alto teor dela ainda pode ser encontrado até mesmo em madeiras altamente deterioradas cuja estrutura foi afetada (BLANCHETTE, 2000).

Os túneis possuem uma estrutura morfológica única. Praticamente inexistem resíduos das paredes celulares em seus interiores, mas apresentam uma substância produzida pelas bactérias para que elas deslizem. Quando ativas, podem ser observadas as bactérias que indicam a

direção de formação do túnel, porém, mesmo quando inativo, a direção pode ser determinada pela concavidade do túnel.

Ataque por erosão

Bactérias que causam erosão (*erosion bacteria*) também são comuns na natureza. Esse tipo de deterioração pode ser observado em madeiras e produtos de madeira expostos tanto em ambiente terrestre quanto aquático. Pode ocorrer exclusivamente ou em conjunto com bactérias de túneis e com bactérias de túneis e fungos de podridão mole. Esse tipo de bactéria pode tolerar grande variedade de temperatura e umidade, mas é mais fácil de ser encontrada em situações onde a presença de oxigênio é altamente limitada. Por exemplo, bactérias de erosão foram encontradas frequentemente associadas a madeiras arqueológicas enterradas e submersas. Seu mecanismo de ataque é muito diferente do mecanismo das de túneis, por isso, são facilmente reconhecidas em imagens de microscopia eletrônica (SINGH, 2009). Elas degradam a parede secundária e consomem celulose e poliose da madeira. O material não degradado da parede secundária e o da lamela média formam uma estrutura porosa altamente lignificada (BLANCHETTE, 2000).

Bactérias de erosão atacam paredes celulares lignificadas do lúmen em direção à lamela média, produzindo erosão nas faces expostas da parede celular. Diferente da produção de túneis, na erosão, há produção de resíduos da parede celular, encontrada na forma de lignina granular. A presença desse resíduo é uma característica de identificação do agente deteriorador, uma vez que continua presente mesmo na ausência da bactéria propriamente dita. As camadas S1 e S2 apresentam pouca resistência à erosão bacteriana, porém, áreas altamente lignificadas como lamela média, pontuações e traqueídeos radiais, são altamente resistentes.

Ataque por cavidade

Bactérias de cavidade podem formar cavidades em forma de pequenos diamantes ou irregulares dentro da parede secundária. Essas cavidades encontram-se perpendicularmente à direção das fibras. As cavidades têm início próximo às pontuações ou diretamente no interior das paredes celulares.

PODRIDÃO MOLE

O termo podridão mole é usado para descrever um tipo específico de deterioração da madeira causado por fungos da classe Ascomycetes e Deuteromycetes que, tipicamente, produzem correntes de cavidades na camada S2 de coníferas e folhosas em ambiente terrestre ou aquático (SCHMIDT, 2006). Os fungos de podridão mole são ativos particularmente em condições de alta umidade e madeiras tratadas que impedem o desenvolvimento de fungos de podridão branca e parda, que causariam a deterioração rápida da madeira. Tais situações também favorecem o desenvolvimento bacteriano, por isso, esses dois agentes são frequentemente encontrados coexistindo em madeiras saturadas (SINGH, 2009). Fungos de podridão mole, porém, também podem se desenvolver em ambientes secos e ser macroscopicamente similares aos fungos de podridão parda (BLANCHETTE, 2000). Blanchette (2003) encontrou madeira atacada por fungos de podridão mole em cabanas de expedições na Antártica, o que demonstra a capacidade do fungo de se adaptar a condições extremamente severas.

Cerca de 300 espécies de fungos podem causar a podridão mole, entre as principais podemos citar: *Chaetomium globosum*, *Humicola* spp., *Lecythophora hoffmannii*, *Monodictys putredinis*, *Paecilomyces* spp. e *Thielavia terrestris* (SCHMIDT, 2006).

A diferença entre os fungos da podridão mole e os Basidiomicetos causadores de podridão branca e parda é o fato deles crescerem

principalmente no interior da parede celular. A madeira é colonizada através dos raios. Podridão mole também pode ser encontrada em monocotiledôneas, bambus (SCHMIDT, 2006).

O mecanismo de ataque dos fungos de podridão mole está associado aos tipos de madeira: coníferas são atacadas por podridão tipo 1; e folhosas são atacadas por podridão tipo 2.

MECANISMOS DE ATAQUE

Tipo 1

Em coníferas, o fungo penetra iniciando pelo lúmen dos traqueídeos por meio de hifas de perfuração bem finas (espessura menor do que 0,5µm) na parede terciária e reorientada em ramificações L ou T acompanhando as microfibrilas na parede secundária (podridão mole do tipo 1).

No sentido longitudinal da madeira, a atividade das hifas é reconhecida por rombos na parede secundária de diferentes tamanhos e arranjos, que podem ser alinhados (figura 3.6). A hifa fina para de crescer e a cavidade é então desenvolvida ao seu redor através de produção de enzimas (supostamente endoglucoanases). Na cavidade, a hifa aumenta sua espessura para cerca de 5µm. Da extremidade da cavidade, uma nova hifa fina começa a se desenvolver, resultando em uma nova cavidade e, continuamente, aumentando a camada já existente. A formação de novas cavidades eventualmente destrói a camada S2. As hifas normalmente estão associadas com uma variedade de grânulos e fibras, melanina e lignina (SCHMIDT, 2006).

Em cortes transversais, a cavidade aparece em forma de buracos (estágio inicial) e aumenta com o avanço da podridão para aberturas maiores na parede. No final, ocorre o desmembramento circular da camada terciária (estágio avançado). Devido ao seu alto teor de lignina, as paredes terciárias e primárias são atacadas apenas no estágio final

da deterioração. Em uma madeira totalmente deteriorada, permanece apenas um esqueleto incompleto da lamela média/parede primária (SCHMIDT, 2006).



Figura 3.2. Madeira atacada por fungo de podridão mole.

Fonte: Autoria própria (2016)

Tipo 2

Podridão mole do tipo 2 ocorre em madeira de folhosas e envolve a erosão da parede celular por hifas do fungo colonizando o lúmen das células. É uma forma difusa de degradação da parede celular (em contraste com o discreto ataque por cavidades do tipo 1), onde polissacarídeos são extensivamente degradados, mas consideráveis resíduos de lignina permanecem em regiões atacadas da parede. Em estado avançado, as hifas podem erodir toda a parede secundária da célula. Contudo, há indicações de que a lamela média não é degradada (SINGH, 2009).



Figura 3.3. Madeira de *Eucalyptus* sp. atacada por fungo de podridão mole.

Fonte: Autoria própria (2016)

DANOS À MADEIRA

O ataque se restringe à superfície da madeira (cerca de 2 cm de profundidade). A parte atacada pode até ser facilmente removida por ação mecânica, porém, a parte da madeira logo abaixo é exposta e reinfestada (ROCHA, 2001). No geral, a madeira com podridão mole permanece firme e não perde sua funcionalidade. Devido a ser um ataque superficial, é mais provável que os piores danos ocorram em peças de madeira finas (CLAUSEN, 2010). Quando úmida, a madeira atacada apresenta a superfície amolecida. Ao secar, adquire coloração escurecida com várias fissuras no sentido das fibras (ROCHA, 2001).

Tabela 3.1. Agentes de capacidade limitada de deterioração da madeira

	Componentes da madeira utilizados	Características da deterioração
Bactéria		
Erosão	Carboidratos, extensão do ataque à lignina desconhecido	Erosão gerando grande quantidade de resíduo da parede celular
Túneis	Carboidratos e alguma lignina	Pequenos túneis na parede secundária e na lamela média
Cavidade	Carboidratos, extensão do ataque à lignina desconhecido	Cavidades na parede secundária deixando resíduos
Escavadores	Organismos primários: membrana de pontuações, mas não deteriora parede celular. Organismos secundários: utilizam componentes modificados da parede celular	Organismos primários penetram nas pontuações e deterioram extrativos da madeira. Organismos secundários alteram componentes da madeira
Podridão mole		
Tipo 1	Carboidratos e alguma modificação na lignina	Cavidades formadas na parede celular
Tipo 2	Carboidratos e alguma modificação na lignina	Erosão progressiva da parede celular, mas a lamela média não é deteriorada

Uma equipe de arqueólogos encontrou no Egito uma barca funerária de madeira que pode ter sido usada durante a era do Faraó Den (também chamado de Udimu), na primeira dinastia, em torno do ano 3.000 a.C.

O ministro egípcio de Antiguidades, Mohammed Ibrahim, disse em comunicado que a barca está em bom estado e foi encontrada no sítio arqueológico de Abu Rawash, na província de Guiza, a oeste de Cairo.

Uma equipe de pesquisadores do Instituto Francês de Arqueologia Oriental escavava o local quando encontrou vestígios da barca. São 11 tábuas de madeira, cada uma com seis metros de comprimento e 1,5 m de largura. As peças eram colocadas ao lado dos túmulos para que os mortos pudessem utilizá-la em outra vida, disse Hussein Abdel Basir, do Museu Nacional da Civilização Egípcia.

As peças arqueológicas foram levadas para a restauração e, depois, serão expostas no Museu Nacional da Civilização Egípcia, na sala dedicada ao Rio Nilo.

Em fevereiro, arqueólogos iniciaram os trabalhos para extrair centenas de peças de madeira da segunda barca solar do mais poderoso dos faraós egípcios, Keops (2609-2584 a.C.), pertencente à IV dinastia faraônica.

Fonte: (26/06/2012) EFE/VEJA: <http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia/arqueologos-encontram-barca-funeraria-da-1a-dinastia-faraonica-no-egito>

REFERÊNCIAS

BLANCHETTE, R. A. A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments. **International biodeterioration & biodegradation**. v. 46, p. 189-204. 2000.

BLANCHETTE, R. A. Deterioration in historic and archeological woods from terrestrial sites. In: KOESTLER, R. J. et al. **Art, Biology, and Conservation: biodeterioration of works of art**. New York: The Metropolitan Museum of art. 2003. 328-347p.

CALLOL, M. V. **Biodeterioração do patrimônio histórico documental: alternativas para sua erradicação e controle**. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins; Fundação Casa de Rui Barbosa, 2013. 139p.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of wood. In: **Wood handbook - wood as an engineering material**. General technical Report FPL -GTR-190. Madison: US Department of Agriculture. 2010. P. (14)01-(14)16

ROCHA, M. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: FUPPEF, 2001. 94p. Série didática

SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: Biology, damage, protection, and use**. Berlin: Springer, 2006. 334p.

SCHWEINGRUBER, F.H. **Trees and Wood in Dendrochronology: Morphological, Anatomical, and Tree-ring Analytical Characteristics of Trees Frequently Used in Dendrochronology**. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 402p.

SINGH, A. **Role of electron microscopy in understanding deterioration of wooden objects of cultural heritage**. Proceeding: Wood Science for Conservation of Cultural Heritage, Hamburg. 2009. 1-9p.

TENNESSEN, D.; BLANCHETTE, R.A.; WINDES, T.C. Differentiating aspen from cottonwood in prehistoric wood from Chacoan great houses. **Journal of Archaeological Science**, v 29, p. 521-527, 2002.

UNGER, A.; SCHNIEWIND, A. P.; UNGER, W. **Conservation of wood artifacts: a handbook**. Berlin: Springer, 2001. 585p.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 3

- Bactérias
- Madeiras arqueológicas
- Mecanismos de ataque bacteriano
- Ataques por túneis
- Ataques por erosão
- Ataques por cavidade
- Podridão mole
- Podridão mole Tipo 1 e 2
- Danos à madeira

Questões do capítulo 3

1. As bactérias podem causar a deterioração da madeira?
2. O que são madeiras arqueológicas?
3. Diferencie os ataques por túneis, por erosão e por cavidade.
4. Em quais ocasiões os fungos da podridão mole são ativos?
5. Diferencie os mecanismos de ataque dos fungos de podridão mole tipo 1 e 2.

CAPÍTULO 4

AGENTES COM ALTA CAPACIDADE DE DEGRADAÇÃO DA LIGNINA

Pompeu Paes Guimarães
Thiago Souza da Rosa
Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

A principal fonte de energia que os microorganismos encontram na madeira é a celulose. A celulose é um polímero regular que consiste em uma cadeia de unidades de glucose. O número de açúcares em uma cadeia é chamado de grau de polimerização (GP). Em média, uma cadeia de celulose da madeira tem um GP de no mínimo 9.000 a 10.000, e pode chegar a 15.000. Um GP de 10.000 indica que a cadeia de celulose da madeira teria em torno de 5 μ m (PETTERSEN, 1984). Devido ao alto grau de polimerização, a celulose torna-se insolúvel e, assim, os agentes deterioradores necessitam quebrar as cadeias para tornar os fragmentos solúveis e, assim, conseguir consumir suas calorias. Essa quebra ocorre por catalisadores.

A deterioração ocorre apenas em madeiras com teores de umidade acima do PSE, ou seja, 30%, por duas razões: Em primeiro lugar, quando secam, as terminações OH (hidroxilas) das cadeias de celulose reagem entre si de tal forma que não criam aberturas para que ocorra a difusão das enzimas produzidas pelos fungos. O segundo motivo é que as enzimas são solubilizadas e transportadas pela água.

PODRIDÃO BRANCA

Podridão branca significa a degradação da celulose, poliose e lignina geralmente por Basidiomicetos e raramente por Ascomicetos (ex. *Kretzschmaria deusta* e *Xylaria hypoxylon*). Pode ser classificada pelas características macroscópicas (bolsas, manchas ou tiras esbranquiçadas), dependendo da espécie do fungo, da espécie da madeira e das condições ecológicas (SCHMIDT, 2006).

A podridão branca ocorre predominantemente em folhosas, de forma pioneira ou não. A resistência mecânica da madeira é menos afetada do que no caso da podridão parda, uma vez que a perda de massa é menor, menos celulose é consumida, e não causa rachadura. Porém, em estágios avançados, a perda de massa pode chegar a 97% (SCHMIDT, 2006).

Embora a madeira atacada geralmente seja considerada defeituosa, em alguns casos, a podridão branca pode ser vantajosa. As manchas da podridão, muitas vezes, podem ser consideradas decorativas, principalmente para revestimento. Isso ocorre especialmente nas madeiras afetadas de forma regular em tamanho e distribuição (HOADLEY, 2000).

Microscopicamente, a podridão branca pode ser classificada em dois tipos: simultânea ou sucessiva (SCHMIDT, 2006). Porém, essa é uma classificação complexa, uma vez que os dois tipos de ataque podem ser observados em blocos de madeira inoculados com apenas uma espécie de fungo. O tipo de ataque também pode ser influenciado pela adição de açúcares ou nitrogênio (NILSSON, 2009).

CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA ATACADA

Fungos de podridão branca frequentemente crescem próximo às paredes das fibras, o que leva a formações de pequenas perfurações, que podem crescer consideravelmente. Essas perfurações mais largas não devem ser confundidas com o ataque preferencial nas pontuações em

traqueídeos de coníferas (quando a parede da pontuação é removida, pode dar a impressão errônea de ser uma grande perfuração). Crescimento e ramificação irregular das hifas dentro das paredes das fibras e deterioração da madeira adjacente podem levar a uma deterioração quase completa. Cavidades mais ou menos semelhantes às da podridão mole foram observadas em algumas espécies de podridão branca (NILSSON, 2009).

O fato de o fungo ter acesso aos carboidratos pela degradação da lignina explica porque madeiras mais lignificadas são menos suscetíveis à podridão branca. O ataque do fungo pode ser uniforme através da madeira, mas algumas espécies causam bolsas de podridão distintas (figura 4.1). Diferenças de suscetibilidade também foram encontradas entre traqueídeos de lenho inicial e tardio em coníferas. Algumas espécies atacam preferencialmente lenho inicial, enquanto outras, lenho tardio (NILSSON, 2009).



Figura 4.1. Madeira tropical infectada com bolsas de podridão branca na superfície e interior inteiramente atacado.

Fonte: Autoria própria (2016).

Fungos deteriorantes geralmente têm a capacidade de redistribuir elementos. Alguns fungos de podridão branca, como por exemplo, o *Heterobasidion annosum*, conseguem transferir magnésio de fontes externas para a madeira (NILSSON, 2009). O magnésio, depositado em forma de dióxido de magnésio, pode causar pontos negros na madeira. Esses depósitos ocorrem conectados à lignina degradada por peroxidase de magnésio, em sua maioria, na parte interna da camada S2, próximo às hifas (SCHMIDT, 2006).

Estudos indicam que o grau de polimerização das cadeias de celulose de uma madeira atacada por podridão branca reduz gradativamente. Esse detalhe revela que as glucoses são removidas pelas extremidades das cadeias. Por isso, a estrutura da madeira só é afetada em estágios avançados da podridão.

MECANISMOS DE ATAQUE

Podridão branca simultânea

Também conhecida como podridão corrosiva, os carboidratos e a lignina são quase uniformemente degradados ao mesmo tempo e em taxas similares durante o período de deterioração. Os agentes típicos desse tipo de podridão são *Fomes fomentarius*, *Phellinus igniarius*, *Phellinus robustus* e *Trametes versicolor* tanto para árvores em pé como para madeira de folhosas estocada. A madeira atacada por esses fungos geralmente apresentam uma linha escura demarcando a área afetada da área ainda não colonizada, diferentes fungos deterioradores, ou micélios incompatíveis de uma mesma espécie (figura 4.2). A linha é resultado da oxidação de substâncias fenólicas do fungo que são transformadas em melanina (SCHMIDT, 2006).



Figura 4.2. Ataque de podridão branca separada da madeira não atacada pela típica linha escura.

Fonte: Autoria própria (2016).

A degradação da parede celular tem início com perfurações na parede secundária por micro-hifas, que aumentam de diâmetro com o avançar da podridão. Contudo, geralmente as hifas crescem dentro do lúmen em contato direto com a parede terciária. A hifa excreta agentes deteriorantes que são ativos apenas em contato direto. Assim, as paredes diminuem gradativamente sua espessura, como uma espécie de erosão (SCHMIDT, 2006).

Macroscopicamente, a madeira fica esbranquiçada e fibrosa. Microscopicamente, a erosão gradual pode consumir a parede celular e degradar a lamela média. Dessa forma, não resta nada da estrutura da madeira. Fungos que causam esse tipo de podridão branca são os únicos micro-organismos que podem causar a deterioração completa da madeira (NILSSON, 2009).

Podridão branca sucessiva

Na podridão sucessiva ou sequencial, a lignina e a poliose são degradadas em um ritmo mais acelerado, pelo menos na fase inicial do ataque,

então, o teor de celulose relativamente tende a aumentar. Com o avanço do ataque, a madeira torna-se fibrosa devido à degradação da lamela média e da parede primária (mais lignificadas). O termo “podridão branca seletiva” ou “deslignificação seletiva” também é usado principalmente em áreas de pesquisa de produção de celulose pelo método de biodeslignificação. Sendo que, em estágio avançado da podridão, onde também há certa perda de celulose, o termo mais adequado é “deslignificação preferencial”.

Essa deterioração ocorre por hifas situadas no lúmen da célula. O primeiro efeito na parede celular que pode ser observado é o aparecimento de manchas de safranina na camada em contato com o lúmen. Essa camada torna-se deslignificada e a safranina avança para o interior da parede em direção à lamela média. É um processo contínuo, levando a uma completa deslignificação, e, conseqüentemente, à separação das fibras individuais. Quimicamente, esse tipo de podridão branca diminui os teores de lignina e poliose, enquanto o teor de celulose permanece o mesmo. Estudos sugerem que a celulose permanece intacta, embora haja um estudo que afirma que, em deslignificação severa, a celulose foi encontrada fragmentada.

A ideia de usar fungos de podridão branca para a produção de celulose é antiga, mas somente nas últimas décadas, estudos vêm sendo desenvolvidos. Entretanto, ainda não há utilização desse método em escalas industriais. Geralmente, os estudos envolvem espécies severas, como *Ceriporiopsis subvermispora*, e desenvolve mutantes que não degradam a celulose. O uso de fungos pode economizar energia quando polpação mecânica é utilizada.

Entre os fungos que causam podridão branca sucessiva podemos citar: *Heterobasidion annosum*, *Xylobolus frustulatus*, *Ceriporiopsis subvermispora*, *Dichomitus squalens*, *Inonotus dryophilus*, *Merulius tremellosus*, *Phellinus pini* e *Bjerkandera adusta*.

Tabela 4.1. Alguns fungos mais comuns de podridão branca

Fungo	Árvore em pé	Ataque predominante		
		Madeira de uso externo	coníferas	folhosas
<i>Armillaria mellea</i>	X		X	X
<i>Donkioporia expansa</i>		interno	X	X
<i>Fomes fomentarius</i>	X			X
<i>Heterobasidion annosum</i>	X		X	
<i>Meripilus giganteus</i>	X			X
<i>Phellinus pini</i>	X		X	
<i>Polyporus squamosus</i>	X			X
<i>Schizophyllum commune</i>		X		X
<i>Stereum sanguinolentum</i>	X	X	X	
<i>Trametes versicolor</i>		X		X

Fonte: SCHMIDT (2006).

PODRIDÃO PARDA

A podridão parda é causada por Basidiomicetos, que metabolizam celulose e poliose da parede celular por ação enzimática e não enzimática, deixando a lignina quase totalmente intacta, resultando na cor parda (SCHMIDT, 2006).

Fungos de podridão parda não produzem enzimas degradadoras de lignina. Porém, estudos indicam que certos fungos podem causar perda e metabolização de lignina em alguns casos, especialmente em podridões em estágio avançado. Além disso, a penetração na parede celular pode remover lignina durante o processo (SCHMIDT, 2006).

A maior parte dos casos de podridão parda ocorre em coníferas, ao contrário da podridão branca, que ataca preferencialmente as folhosas. A podridão parda pode ocorrer em árvores em pé, caídas e em madeira processada, assim como em alburno ou cerne. Normalmente,

é distribuída homoganeamente sobre o substrato. Podem ocorrer casos em que há podridão branca e parda na mesma madeira; árvores de *Picea engelmannii* podem apresentar podridão branca do fungo *Phellinus pini* na madeira do cerne, que, ao espalhar para áreas saudáveis, torna-se parda (SCHMIDT, 2006).

Os fungos de podridão parda colonizam a madeira via raios e se espalham com micro-hifas no sentido longitudinal do tecido através das pontuações. Eles crescem dentro do lúmen da célula e há contato com a parede terciária. Agentes moleculares de baixo peso e/ou enzimas celulósicas penetram na relativamente resistente parede terciária (com alto teor de lignina) e se difundem pela parede secundária, onde degradam completamente os carboidratos. Geralmente, os fungos de podridão parda não degradam nas regiões em contato com as hifas, diferentemente dos fungos de podridão branca (SCHMIDT, 2006).

No estágio inicial da podridão, os carboidratos são rapidamente despolimerizados. A poliose é degradada no estágio inicial, seguida da severa degradação da celulose, deixando apenas o esqueleto de lignina. Quando apenas 10% da massa é consumida, a celulose já está fortemente fragmentada. Isso explica a razão pela qual a madeira atacada por podridão parda é muito solúvel em solução de 1% NaOH (NILSSON, 2009). O teor de lignina relativo aumenta paralelamente à degradação dos carboidratos, porém, o teor absoluto da lignina tem uma pequena queda (SCHMIDT, 2006). O ataque no estágio inicial é muito difícil de ser identificado, até mesmo com microscópio. Apenas quando uma quantidade significativa da celulose é degradada, a identificação passa a ser possível (NILSSON, 2009).

Devido à rápida despolimerização da celulose, a estabilidade dimensional diminui (SCHMIDT, 2006). A madeira se quebra em blocos retangulares de acordo com o encolhimento na secagem, resultando em uma madeira com aparência de queimada (figura 4.3) (HOADLEY,

2000). Com o avanço da podridão, a madeira pode ser esmagada com um dedo, gerando apenas um pó marrom (lignina).



Figura 4.2. Aspecto de madeira queimada causado pelo ataque de podridão parda

Fonte: Autoria própria (2016).

Mesmo quando ocorre baixa perda de massa, o grau de polimerização reduz drasticamente. Isso indica que o ataque ocorre no interior da cadeia de celulose. Uma vez que as enzimas produzidas pelos fungos de podridão parda são muito grandes para entrar nas fibrilas, há uma teoria que diz que a deterioração da celulose é oxidativa (não enzimática).

O mecanismo de ataque dos fungos de podridão parda ainda não é totalmente compreendido. Uma característica fascinante de vários fungos da podridão parda é a sua inabilidade de degradar celulose pura na forma de polpa celulósica ou algodão. Entretanto, sabe-se que o tipo ou teor de lignina não afeta a taxa de deterioração da podridão parda, diferente de todas as demais podridões. Assim, folhosas são deterioradas na mesma velocidade do que coníferas e até madeiras de compressão (mais lignificadas) em coníferas são deterioradas na mesma velocidade do que madeiras normais (NILSSON, 2009).

Um dos fungos de podridão parda mais destrutivos é o *Serpula lacrymans* (antigamente chamado de *Merulius lacrymans*). Esse fungo se adaptou em atacar madeiras em serviço e se espalha rapidamente em madeira e superfícies não nutritivas. Micelas aéreas grossas permitem que o fungo invada novos substratos e transporte umidade e nutrientes em distâncias consideráveis. Esse tipo de ataque pode ser chamado de “podridão seca”, porém, esse termo pode gerar confusão uma vez que só pode haver podridão se houver umidade (BLANCHETTE, 2000). Em madeira atacada por *Serpula lacrymans*, a resistência à compressão diminui em 45% com apenas 10% de perda de massa (SCHMIDT, 2006).

Tabela 4.2. Alguns fungos mais comuns de podridão parda.

Fungo	Ataque predominante			
	Árvore em pé	Madeira de uso externo	Madeira de uso interno	coníferas folhosas
<i>Laetiporus sulphureus</i>	X			X
<i>Phaeolus schweinitzii</i>	X			X
<i>Piptoporus betulinus</i>	X			X
<i>Sparassis crispa</i>	X			X
<i>Gloeophyllum</i> spp.		X		X
<i>Daedalea quercina</i>		X		X
<i>Lentinus lepideus</i>		X		X
<i>Paxillus panuoides</i>		X		X
<i>Antrodia</i> spp.			X	X
<i>Coniophora</i> spp.			X	X
<i>Serpula lacrymans</i>			X	X
<i>Meruliporia incrassata</i>			X	X

Fonte: SCHMIDT (2006).

REFERÊNCIAS

- BLANCHETTE, R. A. A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 46, p.189-204, 2000.
- HOADLEY, R. B. **Understanding wood**. Newtown: Taunton, 2000. 280p.
- NILSSON T. Biological wood degradation In: EK, M.; GELLERSTEDT, G.; HENRIKSSON, G. **Pulp and paper chemistry and technology vol 1**. Estocolmo: De Gruyter, 2009. 219-244p.
- PETTERSEN, R. C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R. M. **The chemistry of solid wood**. Washington: American Chemical Society, 1984. 57-126p.
- SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: Biology, damage, protection, and use**. Berlim: Springer, 2006. 334p.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 4

- Celulose
- Podridão branca
- Simultânea ou sucessiva
- Podridão parda

Questões do capítulo 4

1. Por que a deterioração ocorre apenas acima do Ponto de Saturação das Fibras (PSF)?
2. Por quais motivos a podridão branca pode ser vantajosa?
3. Quais características dão a entender que se trata de uma podridão branca?
4. Por que não se utiliza fungos de podridão branca para a produção comercial de celulose?
5. Qual o interesse em descobrir se o fungo ataca a árvore em pé e/ou a madeira de uso externo?
6. Qual a diferença entre podridão branca e podridão parda?
7. Podem ocorrer podridão branca e podridão parda na mesma madeira?
8. Quais espécies são mais atacadas por podridão parda?

CAPÍTULO 5

INSETOS: ORDEM ISOPTERA

Gabriela Oliveira de Souza
Márcio Pereira da Rocha
Poliana Coqueiro Dias
Pompeu Paes Guimarães
Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

Os insetos podem ser considerados os animais de maior diversidade do planeta. Estima-se que mais de 1 milhão de espécies já foram identificadas, e que esse número possa representar apenas 10% de um possível número total. Os insetos são parte da classe Insecta que pode ser subdividida em 31 ordens. Seis ordens podem agir como deterioradores da madeira, sendo que apenas três causam danos significativos: Isoptera (cupins), Coleoptera (besouros) e Hymenoptera (formigas, abelhas e vespas). Para qualquer profissional que trabalhe com madeira ou, simplesmente, usuários de produtos de madeira, é importante identificar o tipo de inseto que causa determinada deterioração para que as devidas medidas de preservação sejam tomadas de forma eficiente.



Figura 5.1. Danos provocados na madeira por meio da ação de cupins.

Fonte: Autoria própria (2016)

De todos os insetos, os cupins são os principais causadores de danos à madeira. Das aproximadamente 2500 espécies da ordem Isoptera, cerca de 300, de diversas famílias, são consideradas pragas. Cupins são animais sociais que vivem em colônias que, geralmente, incluem um casal reprodutivo (rei e rainha) e inúmeros trabalhadores e soldados estéreis, que têm como função buscar alimento, construir e manter o ninho, cuidar dos ovos e filhotes e da defesa. Todas as espécies mantêm uma relação simbiótica com micro-organismos que são essenciais para a digestão. Existem 7 famílias reconhecidas, subdivididas em 15 subfamílias, com diferenças de distribuição, biologia e potencial de danos. Seis dessas famílias (Mastotermitidae, Kalotermitidae, Termopsidae, Hodotermitidae, Rhinotermitidae e Serritermitidae) se alimentam da madeira e sua microbiota intestinal é formada por protozoários celulósicos (responsáveis por 1/3 da massa corporal total do inseto) e bactérias anaeróbicas (LOGAN et al., 1990). E foi justamente a especialização que essa ordem desenvolveu de se alimentar de madeira uma das causas primárias para sua evolução como inseto social (HIGASHI et al., 2000). Os protozoários simbiotes podem ser eliminados durante a muda do inseto, e um fator na origem da socialização dos cupins pode ter sido a necessidade de se manterem juntos para repor os simbiotes através da

alimentação proctodeal (RUST; SU, 2012). A alimentação proctodeal consiste de excreções líquidas, ricas em simbiotes, provenientes do intestino posterior e que são eliminadas em resposta a estímulos táteis de outros cupins (LIMA; COSTA-LEONARDO, 2007).

A sétima família reconhecida dos cupins, a Termitidae, entretanto, não possui protozoários celulósicos e, com exceção da subfamília Macrotermitinae, as bactérias são os micro-organismos predominantes em seus intestinos. Termitidae inclui 75% das espécies de cupins, divididos em quatro subfamílias. Com poucas exceções, os cupins dessa família causam pouca deterioração à madeira (LOGAN et al., 1990).

Do ponto de vista do método de ataque à madeira, os cupins podem ser divididos em duas classes: cupins subterrâneos e cupins de madeira seca.

CUPINS SUBTERRÂNEOS

A principal característica dos cupins subterrâneos é o fato de desenvolverem suas colônias no solo. Eles constroem seus túneis pela terra e ao redor de obstáculos para chegar até sua fonte de alimento, a madeira (HIGHLEY, 2010). Diversos fatores relacionados à madeira podem afetar a taxa de consumo dos cupins. Peralta et al. (2004) avaliaram a taxa de consumo de madeira de espécies florestais por três espécies de cupins subterrâneos e, embora não tenham encontrado uma correlação entre a densidade da madeira e o consumo, puderam constatar uma tendência dos cupins consumirem mais madeiras de baixa massa específica.

Algumas espécies são naturalmente resistentes ao ataque de cupins, principalmente a madeira do cerne, devido ao acúmulo de extrativos que tornam o material intragável ao inseto. Syofuna et al. (2012) determinaram que a toxidez do extrativo depende não só da espécie, mas também da solução utilizada para a extração, sendo que espécies não suscetíveis podem ter sua durabilidade aumentada com o uso de tratamentos que usam extrativos de espécies de alta resistência.

Arango et al. (2006) analisaram a durabilidade natural de madeiras tropicais contra o dano causado pelo cupim subterrâneo *Reticulitermes flavipes* (Kollar). Não foi observada uma correlação entre a idade da madeira de *Chamaecyparis nootkatensis* e a taxa de consumo e mortalidade do cupim. Isso significa que se os extrativos são os componentes responsáveis pela inibição do ataque, então não há decréscimo de seus teores com o envelhecimento da madeira e essa seria uma característica favorável para a durabilidade e resistência natural da madeira a cupins.

Outra característica marcante dos cupins subterrâneos é a necessidade de se manterem próximos a uma fonte constante de umidade. Essa fonte pode ser tanto a madeira da qual se alimentam ou do solo onde vivem. O indicativo da infestação geralmente é a presença de túneis e passagens que os cupins constroem sobre as fundações e áreas expostas para chegar até a madeira (figura 5.2) (HIGHLEY, 2010). A necessidade da construção desses túneis se deve ao fato desse tipo de cupim não possuir revestimento de quitina no seu corpo, ou seja, possuem pouca resistência à baixa umidade (ROCHA, 2001).



Figura 5.2. Túnel de barro construído por cupins subterrâneos em Mossoró, RN
Fonte: Autoria própria (2016)

Os trabalhadores da colônia são os que causam a destruição da madeira. Em certa época do ano, geralmente primavera, machos e fêmeas aladas formam enxames, saindo das colônias e voando por curto espaço de tempo. Logo perdem suas asas, copulam, e se forem bem sucedidos em encontrar um local adequado, iniciam uma nova colônia. O aparecimento do enxame ou apenas das asas descartadas é outro indicativo da presença de uma colônia próxima que pode estar causando danos (HIGHLEY, 2010).

Na madeira propriamente dita, os cupins, geralmente, fazem galerias no sentido da grã. Porém, é raro que a galeria seja visível porque uma fina camada externa da peça é mantida intacta para proteger os indivíduos da luz do sol e, conseqüentemente, redução da umidade (figura 5.3). Ao ser forçada por um objeto pontiagudo, essa camada se rompe com facilidade. Outra maneira de detectar o ataque é através de pequenas batidas na superfície suspeita. O som oco é um indicativo de ataque (ROCHA, 2001).



Figura 5.3. Amostra de madeira atacada por cupins subterrâneos.
Fonte: Autoria própria (2016)

Estimativas de vendas de inseticidas em 2010 indicaram que o impacto na economia mundial do controle de cupins chegou a cerca

de 40 bilhões de dólares, sendo que os cupins subterrâneos foram responsáveis por aproximadamente 80% desses custos (RUST; SU, 2012).

Gêneros de cupins subterrâneos

Os cupins chamados de subterrâneos são, na verdade, um conjunto de 38 espécies de cupins, sendo o gênero *Coptotermes* o que possui o maior número de espécies (18 spp.), seguido pelo *Reticulitermes* e o *Odontotermes*. Duas espécies de *Coptotermes* - *C. formosanus* Shiraki e *C. gestroi* Wasmann - se destacam como os principais cupins causadores de danos econômicos devido à sua distribuição cosmopolita. *C. formosanus* é encontrado principalmente em regiões subtropicais e temperadas, enquanto que o *C. gestroi* é comum em regiões tropicais (RUST; SU, 2012). No Brasil, a espécie deterioradora de madeira de maior frequência é justamente a *Coptotermes gestroi*.

Coptotermes gestroi (= *Coptotermes havilandis*)

A espécie também era conhecida pelo nome científico *Coptotermes havilandi* Holmgren, porém, em 2003, os pesquisadores determinaram que este nome havia sido dado para uma espécie anteriormente nomeada como *Coptotermes gestroi* (Wasmann). Assim sendo, por convenção taxodérmica, o nome mais antigo *C. gestroi* passou a ser adotado (SCHEFFRAHN; SU, 2014).

A espécie *Coptotermes gestroi* é considerada nativa do oriente, mas foi amplamente difundida por acidente através de atividades humanas. Hoje em dia, sua distribuição inclui as três Américas, Taiti, Ásia, África e ilhas adjacentes (FERRAZ; MÉNDEZ-MONTIEL, 2004). Foi introduzida no sudeste do Brasil desde o início do século XX (o registro mais antigo é de 1923, no Rio de Janeiro) nas cidades de Santos, Rio de Janeiro e Guaratiba, e vem ampliando sua distribuição geográfica, rumo ao oeste, infestando grandes cidades como Jacareí, Campinas,

Piracicaba, Rio Claro, Belo Horizonte, Campo Grande, Pato Branco, Itajaí e Porto Alegre. Na primavera de 1997, duas infestações de *C. gestroi* foram encontradas em Recife, primeiro registro no nordeste brasileiro (FONTES; VEIGA, 1998).

Ciclo de vida

A revoada ou enxame ocorre no final da tarde ou à noite, quando grande número de indivíduos alados deixa a colônia. Luz de lâmpadas e aparelhos de monitores costumam atrair insetos alados para dentro de casa, especialmente se portas e janelas sem tela estão abertas. Quando um grande número de cupins alados (de 100 a 1000) aparece dentro de casa, é possível que seja uma indicação de infestação estrutural. Dentro de casa, é pouco provável que o cupim ache a madeira úmida necessária para o desenvolvimento de uma nova colônia, e, por isso, tendem a secar e morrer rapidamente (SCHEFFRAHN; SU, 2014). Porém, algum indivíduo pode conseguir formar ninhos em estruturas em que a madeira esteja molhada por um longo período (figura 5.4), como acontece quando há vazamento no telhado (HIGHLEY, 2010).



Figura 5.4. Ninho de cupins subterrâneos formado em estrutura de madeira úmida

Fonte: Autoria própria (2016)

Os danos causados por infestação de *C. gestroi* podem se tornar graves em um curto período de tempo, especialmente se a estrutura for invadida por uma colônia grande e madura. Revoadas, túneis de barro ou danos são, geralmente, o primeiro indicativo de uma infestação. Estágios avançados são indicados pela incorporação de material do ninho nos vãos ocios da madeira (SCHEFFRAHN; SU, 2014).

CUPINS DE MADEIRA-SECA

Cupins de madeira-seca são formados de cerca de 500 espécies que colonizam a madeira e uma espécie que vive no solo. Menos de 10% dessas espécies são considerados agentes deterioradores de madeira estrutural e de móveis, podendo ocorrer em todas as regiões tropicais, subtropicais e em algumas regiões temperadas. *Cryptotermes*, *Incisitermes* e *Kaloterme*s representam as principais ameaças (SU; SCHEFFRAHN, 2000).

Os cupins de madeira-seca não se multiplicam tão rapidamente quanto os subterrâneos e possuem vida de colônia e hábitos diferentes. A principal diferença é a habilidade dessa espécie de cupins de viver dentro da madeira seca sem contato com a umidade externa ou com o solo. A sua tolerância a ambientes secos pode ser causada por diversos mecanismos fisiológicos, incluindo uma modificação no reto, produção de água metabólica, e absorção de água. Além disso, diversos mecanismos de comportamento também já foram discutidos na literatura, entre eles, vacância, agrupamento, sacrifício altruísta e regulação da respiração (WOODROW et al., 2000).

A colônia desse tipo de cupim é pequena (geralmente com menos de mil indivíduos), pode ser dispersa e demorar anos para se tornar madura (LEWIS, 2002). Assim, sua deterioração pode não ser rápida, mas por poderem passar despercebidos durante anos, os cupins de madeira-seca são considerados tão perniciosos quanto os cupins subterrâneos.

Novas infestações de cupins de madeira-seca são iniciadas exclusivamente por indivíduos alados provenientes de uma colônia madura nas redondezas. Essa espécie pode viver em madeiras com umidade entre 10% e 12%. O casal penetra na madeira através de rachaduras ou aberturas naturais, onde iniciam a escavação para o seu interior, fechando o orifício de entrada com partículas da própria madeira. Durante a infestação, produzem pequenas pelotas fecais que são expelidas das galerias por orifícios abertos temporariamente (figura 5.5). A presença de pilhas desses excrementos são um indicativo de infestação (RUST; SU, 2012).



Figura 5.5. Pelotas fecais produzidas por cupins.

Fonte: Autoria própria (2016)

Esse tipo de cupim geralmente é transportado de estrutura a estrutura através de itens já infestados, como por exemplo, móveis ou tábuas. Por isso, é necessário que a madeira seja sempre cuidadosamente inspecionada antes de ser levada de um local de utilização para outro. Outra medida preventiva que pode ser tomada é cobrir as peças de madeiras armazenadas que serão usadas em uma obra para que um casal colonizador não infeste o material durante os períodos de revoadas.

No caso de madeira que já tenha sido severamente atacada, esta deve ser substituída imediatamente (figura 5.6). Se o ataque for leve, ou a madeira de difícil substituição, deve-se aplicar pesticidas para evitar que o dano se alastre. O método da fumigação é muito usado em construções altamente infestadas, pois é rápido e dispensa a necessidade de se achar o ponto exato onde a colônia foi instalada. O método, porém, não evita o retorno, uma vez que não há depósito de veneno nos túneis. Pequenas peças de madeira também podem ser fumigadas, aquecidas ou congeladas por curto período de tempo como forma de eliminação do cupim (HIGHLEY, 2010).



Figura 5.6. Exemplo de peça de madeira tropical severamente atacada por cupins.

Fonte: A autoria própria (2016)

Um exemplo desse tipo de cupim é o *Cryptotermes brevis* (família Kalotermitidae), que ataca móveis de *Pinus*, vime, madeiras moles em vigas de construção, livros, papéis e alimentos secos (ROCHA, 2001)

Cryptotermes brevis

O *Cryptotermes brevis* (Walker) é a principal praga no Havaí e outras ilhas do Pacífico, ilhas caribenhas, América do Sul e Central, Flórida e Louisiana na América do Norte, Hong Kong, Madagascar, e África do Sul (McMAHAN, 1962). Cupins desse gênero já foram encontrados em obras sacras, molduras de quadros, altares, vigas, caibros, ripas e constituintes do madeiramento das coberturas das edificações da cidade histórica de Olinda, Pernambuco (SERPA, 1986 apud SILVA et al. 2004).

Contudo, um habitat nativo para esse cupim nunca foi determinado, sendo o *C. brevis* o maior agente deteriorador exótico sem uma origem determinada. Acreditava-se que a espécie era originada do Caribe, mas após inúmeras expedições na América Central e Índia Ocidental, nunca foi encontrado o cupim fora do ambiente construído, o que descarta a teoria de região endêmica para a espécie. Scheffrahn et al. (2009) encontraram evidências que apontam a região do Chile e Peru como o habitat natural da espécie e concluem que embarcações europeias do período da colonização foram responsáveis por disseminar a espécie pelo mundo através de transporte de madeiras contaminadas.

A dispersão desse cupim ocorre quando a colônia presente em uma peça de madeira atinge sua maturidade - fato que pode demorar diversos anos - e se tem início da produção de indivíduos alados. A temporada de enxames pode durar cerca de 6 semanas, geralmente no final da primavera, e ocorre durante o crepúsculo e à noite, com picos de atividade 30 minutos após o nascer do sol e 80 minutos após o pôr do sol. Os indivíduos alados são atraídos pela luz, e uma vez que perdem as asas, rapidamente formam um par e procuram por uma câmara nupcial (geralmente rachaduras, vãos ou buracos já existentes nas peças de madeira) (MINNICK, 1973). A colônia de *C. brevis* é formada de apenas algumas poucas centenas de indivíduos, que vivem exclusivamente dentro das galerias formadas pelo resultado da alimentação.

Infestações são detectadas pela presença das fezes jogadas para fora da galeria (McMAHAN, 1962).

Assim como outras espécies da família Kalotermitidae, *C. brevis* não possuem uma casta de verdadeiros operários. O trabalho da colônia é feito pela ninfa dos soldados e do casal reprodutivo. Se o casal real primário é removido da colônia, ninfas mais velhas são capazes de mudar e se tornar o novo casal reprodutivo (McMAHAN, 1962).

O uso de cães farejadores



Nos Estados Unidos, os custos com danos e controle de cupins subterrâneos são estimados em US\$ 2 bilhões por ano (CULLINEY; GRACE, 2000). Infestações na fase inicial são quase impossíveis de serem detectadas visualmente e pode causar um dano considerável antes de serem descobertas (BROOKS et al., 2003). Cães treinados para detectar cupins podem localizar cupins subterrâneos da espécie *Reticulitermes flavipes* Kollar com uma taxa de sucesso acima de 95%, e podem diferenciar cupins e outros insetos (formigas e baratas) de cupins que causem deterioração da madeira (BROOKS et al., 2003) Quando a capacidade de detectar cupins da espécie *Reticulitermes hesperus* Banks foi comparada com detectores eletrônicos de odor, os cães identificaram corretamente 98% de uma infestação artificialmente montada, enquanto que o aparelho apresentou taxas menores (LEWIS et al., 1997). Contudo, os cães também produziram 28% de falsos positivos, onde não havia infestações, embora isso possa ser atribuído à técnica de treinamento (BROOKS et al., 2003).

BROWNE, C., STAFFORD, K., FORDHAM, R. The use of scent-detection dogs. **Irish Veterinary Journal**. v. 59. n. 2. p. 97-104. 2006.

Referências usadas no texto:

BROOKS, S.E.; OI, F.M.; KOEHLER, P.G. Ability of canine termite detectors to locate live termites and discriminate them from non-termite material. **Journal of Economic Entomology** v. 96. p.1259-1266. 2003.

CULLINEY, T.W.; GRACE, J.K. Prospects for the biological control of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae), with special reference to *Coptotermes formosanus*. **Bulletin of Entomological Research** v. 90. p.9-21. 2000.

LEWIS, V.R.; FOUCHE, C.F.; LEMASTER, R.L. Evaluation of dog-assisted searches and electronic odor devices for detecting the western subterranean termite. **Forest Products Journal** v.47. p.79-84. 1997.

REFERÊNCIAS

ARANGO, R. A. et al. Natural durability of tropical and native woods against termite damage by *Reticulitermes flavipes* (Kollar). **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 57, p. 146-150, 2006.

BARBOSA, D. N. *Coptotermes gestroi* (Isoptera, Rhinotermitidae): revisão da distribuição, danos e análise de sobrevivência após exposição a bambu termorretrificado. 2012. 101f. Monografia. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

FERRAZ, M. V.; MÉNDEZ-MONTIEL, J. T. First record of a subterranean termite, *Coptotermes havilandi* Holmgren (Isoptera: Rhinotermitidae), on the west coast of North America (Mexico). **Acta Zoologica Mexicana**, v. 20, n. 2, 2004. p. 39-43.

FONTES, L. R.; VEIGA, A. F. S. L. Registro do cupim subterrâneo, *Coptotermes havilandi* (Isoptera: Rhinotermitidae), na área metropolitana de Recife, PE. 7º Congresso Brasileiro de Entomologia. **Resumos**. Rio de Janeiro. 1998. p. 1005

HIGASHI, M.; YAMAMURA, M.; ABE, T. Theories on the sociality of termites. In: ABE, T.; BIGNELL, E. D.; HIGASHI, M. **Termites: Evolution, sociality, symbioses, ecology**. Dordrecht: Kluwer. p. 169-187. 2000.

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

LEWIS, V. R. **Drywood termites. Integrated pest management in the home**. Davis: IPM, 2002. 6p.

LIMA, J. T.; COSTA-LEONARDO, A. M. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). **Biota Neotropica**, v. 7, n.2, p. 243-250, 2007.

LOGAN, J. W. M.; COWIE, R. H.; WOOD, T. G. Termite (Isoptera) control in agriculture and forestry by non-chemical methods: a review. **Bulletin of Entomological Research**, v. 80. 1990. p. 309-330.

McMAHAN, E. Laboratory studies of colony establishment and Development in *Cryptotermes brevis* (Walker) (Isoptera: Kalotermitidae). **Hawaiian Entomological Society**, v.18, n.1, p. 145, 1962.

MINNICK, D. R. The flight and courtship behavior of the drywood termite, *Cryptotermes brevis*. **Environmental Entomology**, v. 2, p. 587-591. 1973

PERALTA, R. C. G. et al. Wood consumption rates of forest species by subterranean termites (Isoptera) under field conditions. *Árvore*, v. 28, n. 2, p. 283-289, 2004.

ROCHA, M. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: FUPEF, 2001. 94p. Série didática.

RUST, M. K.; SU, N. Managing social insects of urban importance. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 355-375, 2012.

SCHEFFRAHN R. H. et al. Endemic origin and vast anthropogenic dispersal of the West Indian drywood termite. **Biological Invasion**, v. 11, p. 787-799, 2009.

SCHEFFRAHN R. H.; SU, N.Y. **Asian subterranean termite, *Coptotermes gestroi* (= *haviglandi*) (Wasmann) (Isoptera: Rhinotermitidae)**. EENY-128. University of Florida. 2014. 4p

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

SU, N. Y.; SCHEFFRAHN R. H. Termites as pest of building. In: ABE, T.; BIGNELL, E. D.; HIGASHI, M. **Termites: Evolution, sociality, symbioses, ecology**. Dordrecht: Kluwer, 2000. 437-453p.

SYOFUNA, A.; BANANA, A. Y.; NAKABONGE, G. Efficiency of natural wood extractives as wood preservatives against termite attack. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 155 – 163, 2012.

WOODROW, R. J. et al. Modification of cuticular hydrocarbons of *Cryptotermes brevis* (Isoptera: Kalotermitidae) in response to temperature and relative humidity. **Environmental entomology**, v. 29, n. 6, p. 1100-1107, 2000.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 5

- Isoptera (cupins)
- Alimentação proctodeal
- Cupins subterrâneos
- Cupins de madeira seca
- Fumigação

Questões do capítulo 5

1. Explique a afirmação: “os principais causadores de danos na madeira – os cupins – são insetos sociais”.
2. Os cupins se alimentam da madeira? Explique a alimentação proctodeal.
3. Como se dividem os cupins?
4. Por que a madeira de cerne não é atacada por cupins subterrâneos?
5. Por que os cupins subterrâneos precisam de alta umidade do solo?
6. Qual a espécie de cupim subterrâneo mais frequente no Brasil?
7. Qual é a estratégia encontrada pelos cupins para entrar em casas?
8. Qual a diferença principal entre os cupins subterrâneos e os cupins de madeira seca?
9. Qual o indicativo da infestação de cupins de madeira seca?
10. Para que serve o método da fumigação?

CAPÍTULO 6

INSETOS: ORDENS COLEOPTERA E HYMENOPTERA

Gisele Gimenes Brochini

Pedro Lício Loiola

Pompeu Paes Guimarães

Rafael da Rosa Azambuja

Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

Insetos são agentes de deterioração da madeira importantes no mundo inteiro, embora o número de espécies envolvidas seja pequeno. O dano que causam à madeira são resultados da ação mecânica da mastigação de suas mandíbulas. Em muitos casos, essa deterioração não está necessariamente relacionada com o processo de nutrição dos insetos. O ataque dos insetos pode envolver apenas a construção de túneis feitos por suas larvas ou durante todas as suas fases de desenvolvimento. O ataque de insetos é menos previsível do que o de fungos, haja vista que algumas espécies de insetos podem atacar madeira seca. Uma vez infestada, a madeira torna-se mais suscetível ao ataque de fungos e, conseqüentemente, ao ataque de outras espécies de insetos (WALKER, 1993).

Os danos causados por insetos podem ser classificados de acordo com a espécie causadora, o tipo do dano, o produto de madeira ou o tempo de ataque. A madeira pode ser danificada na árvore viva, na árvore recém-abatida, em toras ou produtos serrados durante armazenagem, ou no produto final durante o uso (ZABEL; MORRELL, 1992).

Como foi discutido no capítulo anterior, seis ordens de insetos podem causar algum tipo de dano à madeira, sendo as ordens Isoptera, Coleoptera e Hymenoptera as mais importantes.

COLEOPTERA

Os insetos pertencentes à ordem dos Coleópteros são, depois dos cupins, os que causam maiores danos às madeiras. São conhecidos como carunchos ou brocas e atacam a madeira nas diversas condições de umidade e uso. Os mais perniciosos são os do gênero *Lyctus* e *Anobium*, além de outros pertencentes à família dos Cerambicídeos. O ataque desses insetos é feito durante o período de seu ciclo vital, o qual compreende as fases de ovo, larva, pupa e inseto adulto (MENDES; ALVES, 1988).

O dano à madeira é resultado da alimentação do estágio de larva, que produz buracos circulares entre 1 mm e 10 mm de diâmetro. A larva se alimenta da madeira, deixando excrementos e pó fino de madeira. O tamanho dos túneis, a orientação dentro da madeira e as características dos resíduos variam de acordo com a espécie de besouro. O tipo de madeira também pode determinar o tipo de inseto que poderá atacar.

A umidade da madeira é um fator importante para os insetos. Besouros *Lyctus* e *Anobium*, representados na figura 6.1, necessitam de umidade relativamente baixa, entre 8% e 20%, para sobreviver. Contudo, podem ocorrer danos e geralmente são mais severos em madeira exposta a condições úmidas. Outros besouros deterioradores da madeira, como ambrosia e bostrichidae, exigem uma umidade mais alta do que 30%. Muitos besouros só podem atacar madeira previamente alterada por fungos deterioradores (BLACHETTE, 1995).

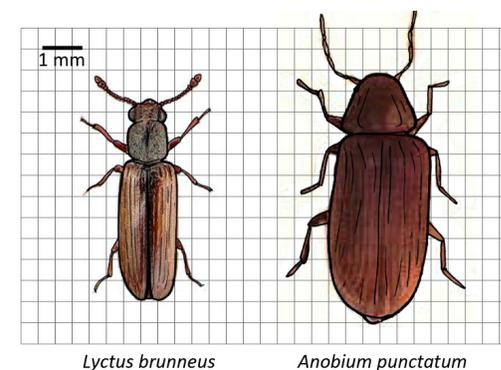


Figura 6.1. Ilustração de indivíduos adultos dos principais Coleópteros deterioradores de madeira

Fonte: Autoria própria (2016)

LYCTUS

Lyctus é um gênero da família Bostrichidae. Houve muitas alterações na classificação dessa família nos últimos 200 anos que podem gerar algumas confusões. Inicialmente, os Lyctidae eram separados dos Bostrichidae, mas em 1938, os Lyctinae foram incluídos como uma subfamília dos Bostrichidae. Em 1955, as famílias foram novamente separadas, mas em 1968, a então família Lyctinae passou a ser tratada como uma subfamília dos Bostrichidae (LIU; SCHONITZER, 2011).

O nome *Lyctus* é derivado de palavra grega que significa “sombra”, que, provavelmente, é uma alusão à obscura história do ciclo de vida tanto da larva quanto do inseto adulto. A larva é conhecida por se esconder na madeira, enquanto o adulto se abriga em ambientes escuros e cobertos, como rachaduras, vãos e buracos (HALPERIN; GEIS, 1999).

Besouros *Lyctus* exigem a madeira de alburno para o desenvolvimento adequado da larva e não infesta o cerne. Eles ainda possuem uma exigência mais rigorosa que inclui madeiras com elementos de vasos largos e alto teor de amido. Esses besouros depositam seus ovos diretamente nos vasos usando um longo ovopositor. O tamanho do

ovopositor requer células largas, como do lenho inicial, para uma penetração adequada. Como os ovos só podem ser depositados em vasos com tamanho que suporte o ovopositor, os danos desses insetos são restritos a madeira de folhosas com vasos largos e bambus (BLANCHETTE, 1995).

É importante notar que a fêmea do besouro não faz galerias na madeira, uma vez que deposita os ovos nos vasos. A cópula entre macho e fêmea acontece na superfície da madeira. Essa observação biológica deixa claro que os indivíduos adultos não são adaptados para deteriorar a madeira (LIU; SCHONITZER, 2011).

Os indivíduos adultos são sexualmente maduros assim que emergem. A copulação ocorre logo em seguida, mais frequentemente no fim da tarde e à noite do que durante o dia. A ovoposição acontece de 2 a 3 dias depois da copulação, geralmente à noite. A fêmea pode se alimentar na superfície da madeira roendo fibras soltas, possivelmente para detectar se a madeira será adequadamente nutritiva para suas larvas (LIU et al., 2008).

A fêmea deposita a maioria dos seus ovos nos primeiros 7 ou 8 dias de sua vida adulta. O período da deposição dos ovos demora de 2 a 12 dias a uma temperatura de 26°C e de 19 a 20 dias a 15°C. A larva geralmente segue a grã da madeira no início, mas não se mantém sempre no poro em que nasceu, ou seja, ela pode escavar o tecido vizinho ao poro (LIU et al., 2008).

A larva do *Lyctus* se alimenta do amido nas células da madeira. Além do amido, certos açúcares, dissacarídeos e polissacarídeos, assim como proteínas, também são elementos necessários para a sua alimentação. A umidade também é essencial para o desenvolvimento normal da larva, a qual pode se desenvolver em madeiras com teor de umidade entre 8% e 30%, sendo que seu crescimento é favorecido em maiores umidades (LIU et al., 2008).

O estágio da larva dura de 4 a 10 meses sob condições naturais, embora o período possa ser mais curto em temperaturas mais altas. Quando alcança seu tamanho final, a larva escava um túnel em direção à superfície da madeira, e perto da superfície, escava uma câmara oval onde ocorre a fase da pupa. O período da pupa dura de 12 dias em áreas tropicais a um mês em áreas temperadas (LIU et al. 2008).

No Brasil, ocorre a espécie *Lyctus brunneus*, conhecida como caruncho (*powder post beetle*). O primeiro sinal de ataque é um montinho de pó muito fino associado a um furo na madeira. Este é o furo de saída e tem um diâmetro de aproximadamente 1,8 mm, chegando ocasionalmente a 3 mm (figura 6.2) (ROCHA, 2001). A maioria das espécies deposita cerca de 50 ovos, mas a *Lyctus brunneus* pode depositar até 221 (RUST; KENNEDY, 1993).



Figura 6.2. Orifícios de saída do besouro *Lyctus* e o pó fino associado ao ataque.

Fonte: Autoria própria (2016)

Prevenção

Manter a área de estocagem e produção higienizada é importante para evitar infestações desse tipo de besouro. Ações sanitárias adequadas podem muitas vezes eliminar a necessidade de outras medidas preventivas. Danos a itens manufaturados podem frequentemente ser correlacionados com infestações que ocorreram antes do produto ser colocado no mercado, principalmente se não houver acabamento na peça antes de ser vendida. Uma vez que a madeira é infestada, a larva continuará se desenvolvendo, mesmo que a superfície seja pintada ou envernizada (HIGHLEY, 2010).

Quando uma madeira é escolhida para construção ou produção, qualquer evidência de caruncho não deve ser ignorada porque o besouro pode continuar sua atividade mesmo depois da madeira ser colocada em uso. Para tábuas de 19 mm, é recomendado a esterilização da madeira verde com vapor a 54°C, ou esterilização de madeira seca a 82°C, sob umidade controlada por 2 horas para combater infestações ou prevenir ataques. Materiais mais grossos exigem mais tempo. Também é eficiente a submersão de 3 minutos em preservantes oleosos misturados com inseticidas. Peças mais finas podem ser pinceladas ou pulverizadas com a solução. Como os *Lyctus* depositam os ovos nos poros abertos da madeira, a infestação pode ser prevenida pela cobertura de toda a superfície da madeira com um acabamento adequado (HIGHLEY, 2010).

ANOBIUM

Assim como a família Lyctidae, a família Anobiidae também já foi considerada como uma subfamília dos Bostrichidae, mas esse status não foi amplamente aceito e as duas famílias são tratadas separadamente (LIU; SCHONITZER, 2011). Porém, hoje, os Anobiidae voltaram a ser considerados uma subfamília, mas da família Ptinidae (BOUCHARD et al., 2011).

Os insetos da subfamília Anobiidae são besouros cilíndricos ou ovais com comprimento de 1 mm a 9 mm. A cabeça é dobrada para baixo sob o protórax, não visível superiormente. Quando molestados, têm como característica o hábito de contraírem as pernas ao corpo, permanecendo estáticos, fingindo-se de mortos (ROCHA, 2001).

O indivíduo adulto de *Anobium* spp. deposita uma grande quantidade de ovos elípticos na superfície de rachaduras ou no sentido transversal da grã da madeira. Depois de três a cinco semanas, a larva emerge do ovo e abre seu caminho para dentro da madeira com sua forte mandíbula. Enquanto a larva abre o túnel, os resíduos são compactados na galeria atrás dela. O período de larva pode durar por anos. O tamanho dos túneis reflete o tamanho do crescimento da larva. Antes do estágio de pupa, a larva abre um túnel para a superfície e forma uma câmara livre de fragmentos de madeira e excrementos. Adultos emergem após várias semanas da pupa, abrindo um buraco na superfície da madeira.

Dependendo da espécie, os besouros da família Anobiidae podem infestar madeira de folhosas e de coníferas. Seu ciclo de vida é de 2 a 3 anos e exige um teor de umidade da madeira em torno de 15% ou mais. Assim, a maioria das construções de madeira apresenta um teor de umidade muito baixo para os *Anobium*. Porém, em regiões mais úmidas e em situação com pouca ventilação, a madeira pode atingir a faixa de teor de umidade adequada para o besouro (BLACHETTE, 1995).

A família Anobiidae possui cerca de 1.200 espécies descritas e distribuídas no mundo inteiro. Embora nem todos os indivíduos dessa família possam causar danos, a espécie que causa mais estragos à madeira é o *Anobium punctatum* De Geer. Ela foi identificada inicialmente em 1774 na Suécia. Na Inglaterra, já em 1839, foi relatado que infestação da espécie era abundante em velhas casas por todo o país. É um besouro comum fora das casas, onde ataca partes mortas de árvores e madeira tombadas. Nos anos de 1990, já era encontrado por toda a

Europa temperada e já se espalhou com a ajuda dos homens para a Austrália, Nova Zelândia, África do Sul e a costa leste da América do Norte (PINNIGER; CHILD, 1996).

Contudo, na Inglaterra e em outros países, vem se observando uma queda na importância do *Anobium* como uma praga estrutural em propriedades domésticas. Foi observada muito pouca infestação em casas construídas depois de 1960 e, quando comparamos uma pesquisa realizada em 1993 com uma realizada em 1963, pode-se observar que houve uma queda de 50% das infestações em casas antigas inglesas. Essa redução em casas modernas é resultado do aumento no uso de material sintético e do uso de madeira tratada. Já a queda na infestação de casas antigas pode ser explicada pelo aumento de aparelhos de aquecimento e ventilação das casas. As larvas não se desenvolvem em umidade relativa abaixo de 65% (equivalente a 15% de umidade da madeira) e esse teor de umidade da madeira mais elevado é improvável de ser atingido em sistemas modernos de controle de temperatura e ventilação. Isso também explica a queda no número de ataques de *Anobium* em coleções de museus. Embora haja sinais de danos de infestações passadas, hoje, a única atividade recente observada é de objetos mantidos em depósitos sem aquecimento (PINNIGER; CHILD, 1996).



Figura 6.3. Orifícios de saída do besouro *Lyctus* e o pó fino associado ao ataque.
Fonte: Autoria própria (2016)

BESOURO AMBRÓSIA

Estes insetos perfuradores da madeira recebem o nome de Ambrósia em decorrência de um fungo do mesmo nome e que lhes serve de alimentação em seus túneis. Embora o ataque não seja na madeira seca, os orifícios produzidos por eles, na superfície da madeira, conferem um aspecto indesejável ao produto (figura 6.4) (MENDES; ALVES, 1988). Muitas vezes, isso pode causar certo embaraço, uma vez que muitos importadores compram a tora da madeira em estado aparentemente perfeito e, após o desdobro, descobrem túneis e manchas em suas tábuas. De fato, o mais incomum desse tipo de deterioração é que raramente se tem qualquer sinal externo de que a tora foi atacada (DUFFY, 1956).



Figura 6.4. Túneis feitos por besouros Ambrósia manchados por fungos.
Fonte: Autoria própria (2016)

Incluem-se nessa categoria de besouros insetos da família Curculionidae (subfamílias Scolytidae e Platypodidae) e algumas espécies de Bostrichidae. Os principais representantes dessa classe de insetos deterioradores são as espécies do gênero *Platypus* e *Tessserocerus*

(Platypodidae) e do gênero *Xyleborus* e a *Premnobius cavipennis* (Scolytidae) (ROCHA, 2001).

Geralmente, árvores recém-abatidas são desganhadas e empilhadas na beira da estrada para esperar o transporte para a serraria. É nesse período de estocagem no campo que o besouro Ambrósia ataca as toras úmidas. Por isso, as toras devem ser removidas o mais rápido possível após seu abate. Se a estocagem é inevitável, elas devem ser borrifadas com inseticidas (HADLINGTON, 2003).

O besouro penetra no alburno e muitas vezes no cerne, e as fêmeas põem ovos no fim das galerias. Os besouros possuem esporos de fungos associados em seus corpos, e os deixam dentro dos túneis. Os esporos germinam e o fungo cresce com a umidade interna das paredes dos túneis feitos pelos besouros adultos. O ovo eclode. Assim como o indivíduo adulto, a larva também não come madeira, mas se alimenta dos fungos ambrósia deixados pela mãe. Após colocar os ovos, a mãe geralmente morre na entrada do túnel para que a umidade seja mantida no seu interior e para proteger as larvas de predadores (HADLINGTON, 2003).

Nos trópicos, a atividade desses insetos é intensa durante o ano todo, pois as condições de temperatura e umidade do ar são favoráveis. Em clima temperado, o ataque ocorre no verão e durante o inverno eles hibernam ou tornam-se inativos (MENDES; ALVES, 1988).

Geralmente, a madeira é manchada ao redor das galerias, o que afeta sua aparência estética, mas não sua resistência. Quando as toras são serradas, a madeira é seca e o fungo morre. Qualquer larva presente também morre por falta de alimento e umidade. Por isso, a madeira seca não pode ser reinfestada (HADLINGTON, 2003).

CERAMBYCIDAE

A família Cerambycidae é uma das maiores da ordem, com mais de 20.000 espécies descritas e seu tamanho varia de poucos milímetros

até 20 cm. Esses besouros são fitófagos, sendo muitos deles conhecidos como “serradores” ou “serra-paus”. A maioria deles são brocas caulinares, apresentam corpos alongados e cilíndricos, com antenas muitas vezes maiores que o corpo. Todas as espécies no estágio larval atacam árvores vivas, recém-abatidas, madeira seca e troncos apodrecidos. Deterioram intensamente o alburno e atingem também o cerne, depositando seus ovos em superfícies rugosas. Uma das características de identificação desse ataque é a forma ovalada dos furos de saída e das galerias (figura 6.3) (SILVA, 2008).



Figura 6.3. Orifícios ovalados feito por besouros Cerambycidae.

Fonte: Autoria própria (2016)

Os cerambicídeos são os mais perigosos para a resistência de elementos estruturais, pois as larvas atingem galerias com até 1 cm de largura em várias direções e podem, ao atingir o eixo de uma trave, comprometer a sua estabilidade estrutural. As espécies de maior potencial deteriorador de madeira são *Hylotrupes bajulus*, *Hesperophanes cinereus* e *Stromatium fulvum* (LIOTTA, 1988 apud SILVA, 2008).

Hylotrupes bajulus é uma espécie de origem europeia, mas já foi distribuída para todos os principais continentes. Sua larva infesta e danifica a maioria das madeiras de coníferas usadas em construções e seus túneis geralmente resultam em perda da integridade estrutural, o que gera gastos com tratamentos ou substituições de peças danificadas. A espécie se desenvolve apenas em alburno de coníferas, por isso, é razoável assumir que há estímulo químico desse tipo de material para atrair o indivíduo adulto (FETTKOTHER et al., 2000).

Hesperophanes cinereus (= *Trichoferus holosericeus*) é um besouro comum nas regiões mediterrâneas que ataca madeira de folhosas, especialmente madeiras antigas. Há relatos de ataques em madeira de cercas, postes, tetos e móveis, inclusive, já foram encontrados ataques em móveis do século XIX e em artefatos de madeira do século XV em museus. Antigamente, seu ataque era muito confundido com o da espécie *Hylotrupes bajulus*, que ataca exclusivamente coníferas, pois as larvas dos dois besouros são muito parecidas e difíceis de serem diferenciadas. Seu ataque é muito perigoso, especialmente em madeiras sem uma diferença clara entre alburno e cerne porque a estrutura pode ser danificada ao ponto de sofrer colapso. A fêmea vive de 2 a 3 semanas e coloca de 200 a 300 ovos durante esse período. De 2 a 3 semanas após a ovoposição, a larva sai do ovo, a qual vive de 1 a 3 anos dependendo da temperatura e da umidade da madeira. A condição ideal para o seu desenvolvimento é a umidade relativa de 90% a 95% e temperatura de 18°C. Os túneis são preenchidos com resíduos que envolvem serragem e excrementos cilíndricos (PALANTI et al., 2009).

BOSTRYCHIDAE

Outros besouros da família Bostrychidae, além das espécies da subfamília Lyctinae, também são importantes na deterioração da madeira. A espécie *Dinoderus minutus*, conhecida como “broca do bambu”, são indivíduos alongados, lembrando a forma cilíndrica e com a cabeça

dobrada para baixo e comprimento de aproximadamente 2 mm. Alimentam-se principalmente do amido das angiospermas e são incapazes de digerir celulose (OLIVEIRA et al. 1986). Infestam árvores saudáveis, recém-cortadas, comuns em serrarias durante o processo de secagem. O dano é semelhante ao *Lyctus*, porém, as galerias são maiores e mais circulares (SILVA, 2008).

O ataque dos Bostrichidae está associado ao conteúdo de amido e açúcares na madeira, por esse motivo, é restrito ao alburno. Algumas espécies desta família já foram observadas atacando lâminas de madeira e painéis compensados (ROCHA, 2001).

HYMENOPTERA

FORMIGAS

Da família Formicidae, o gênero de maior importância dentre os deterioradores de madeira é o *Camponotus*, onde as espécies são conhecidas como formigas carpinteiras (ROCHA, 2001). Esse gênero é o maior da família, compreende cerca de mil espécies espalhadas no mundo inteiro. As espécies deterioradoras são limitadas a quatro dos sete subgêneros, e 20 espécies já foram identificadas como agentes deterioradores de madeira. As espécies que podem causar danos estruturais, relatadas na América do Norte, são *C. modoc*, *C. vicinus*, *C. pennsylvanicus*, *C. noveboracensis*, *C. herculeanus* e *C. abdominalis* (HANSEN; AKRE, 1993).

As formigas carpinteiras são pretas ou marrons. Geralmente, ocorrem em tocos, árvores ou toras, mas podem ser encontradas em postes, estruturas de madeiras ou construções. Uma forma fácil de reconhecer essa espécie é o seu tamanho gigante quando comparada com outras formigas. Elas usam a madeira como abrigo e não como fonte de alimento (HIGHLEY, 2010) e, por essa razão, podem atacar madeira tratada.

Formigas carpinteiras preferem a madeira naturalmente mole ou que tenha sido amolecida por alguma podridão. Podem entrar nas casas caminhando ou carregadas por objetos de madeira infectados, como por exemplo, lenha. Se não forem perturbadas, podem viver por anos, aumentando suas galerias até o ponto em que a peça de madeira deverá ser substituída. Elas atacam diversos tipos de madeira em uma casa, mas são frequentemente encontradas construindo ninho dentro de portas não sólidas (HIGHLEY, 2010).

Embora as formigas carpinteiras sejam uma grave praga estrutural no mundo inteiro, há muito poucos trabalhos sobre elas publicados fora da América do Norte. Na costa noroeste dos Estados Unidos, o dano causado por formigas é considerado igual ou maior do que o causado por cupins. No estado de Washington, no ano de 1981, uma estimativa conservadora indicou que 23.000 estruturas foram tratadas por agentes licenciados contra formigas carpinteiras. Em 1993, o número já era de aproximadamente 50.000, sem contar que um número pelo menos igual de proprietários de casas tratam por conta própria as infestações. Assim, milhares de dólares são gastos anualmente no combate desse inseto (HANSEN; AKRE, 1993).

A prevenção ao ataque de formigas é muito similar aos métodos que impedem o ataque de cupins subterrâneos. Construções de madeira devem ser protegidas de infestações e seus terrenos devem ser limpos de material orgânico que poderia servir de ninho para as formigas. O controle contra fungos apodrecedores deve ser rigoroso, uma vez que a madeira atacada pelos fungos passa a ser mais suscetível ao ataque de formigas.

Como formigas carpinteiras precisam de umidade em seu estágio juvenil, a madeira deve ser mantida seca. Se a infestação não é crítica, a madeira pode ser tratada com inseticidas. Achar o ninho dessas formigas é fácil, uma vez que elas mantêm suas galerias limpas: a serragem da

madeira é removida da galeria e acumula-se logo abaixo da abertura do ninho (HIGHLEY, 2010).



Figura 6.4. Madeira atacada por formigas carpinteiras.

Fonte: A autoria própria (2016)

ABELHAS

As abelhas que deterioram a madeira são as chamadas “Mamagavas” ou “Mamangabas” (*Xilocopa* spp), as quais utilizam-na como abrigo. A fêmea adulta perfura a madeira, deixando orifícios de aproximadamente 12 mm de diâmetro (figura 6.4). A galeria é inicialmente perfurada perpendicular às fibras até uma profundidade de 5 cm a 10 cm, depois segue paralelamente a elas por 15 cm a 23 cm, onde a fêmea deposita os ovos. Essas galerias são supridas com pólen, que servem

de alimento para as larvas (ROCHA, 2001). As abelhas podem reutilizar as galerias por anos, por isso, os túneis podem ser aumentados e ramificados dentro de uma estrutura. Em madeiras finas, a estrutura pode ser completamente perfurada. O ataque também pode ocorrer em madeira com presença de fungos manchadores, madeira com fina película de tinta ou ainda com tratamento leve de preservantes naturais à base de sal, embora não seja comum ataque em madeira tratada. O ninho é preferencialmente perfurado em madeira de exterior que não seja exposta diretamente a luz solar (HIGHLEY, 2010).



Figura 6.5. Orifícios na madeira deixados por uma abelha Mamagava.

Fonte: Autoria própria (2016)

O controle de abelhas se baseia em desencorajá-las a fazer ninho perto ou nas construções. O túnel pode ser injetado com inseticida para abelhas ou entupido com massa de calefação. Tratar a madeira ao redor do orifício impede a reinfestação. No geral, a abelha pode ser

evitada com telas de proteção, camadas grossas de tinta ou vernizes ou, simplesmente, com uso de madeiras tratadas (HIGHLEY, 2010).

VESPAS

Algumas espécies de vespas como *Sirex juvencus*, *Sirex gigas*, *Sirex spectrum* e *Sirex noctilio* podem deteriorar a madeira recém-derrubada e árvores estressadas. O adulto deposita os ovos através de um pequeno orifício na superfície da árvore derrubada, onde inocula um fungo que servirá de alimento para as larvas. Os ovos eclodem e as larvas escavam galerias no interior do tronco para cultivo do fungo. No Brasil, a espécie *S. noctilio* causa graves danos em povoamento de *Pinus taeda*. Como controle, as toras devem ser processadas rapidamente após o abate (ROCHA, 2001).

HEMIPTERA - Cigarras periódicas

Cigarras são insetos da ordem Hemiptera e subordem Auchenorrhyncha. Devido à grande variedade de espécies, elas se distribuem por regiões temperadas e tropicais ao redor do mundo. O ciclo de vida das cigarras, assim como o de muitos insetos, consiste das fases: ovo, ninfa e adulto. Porém, em cigarras periódicas, esse ciclo é diferenciado pelo tempo em que essas etapas se dividem. Cigarras periódicas só existem na região leste das grandes planícies dos Estados Unidos e são divididas em 2 grupos: as gerações que aparecem a cada 13 anos e as gerações que afloram de 17 em 17 anos. Para esses dois grupos de cigarras, a fase de ovo e vida adulta se resume em poucas semanas e, no resto da sua vida, a fase ninfa, as cigarras periódicas vivem subterrâneas e se alimentam do xilema retirado das raízes de árvores. Contudo, não é na fase ninfa que as cigarras periódicas causam o maior mal às árvores, mas sim nos anos que elas afloram do solo (Figura 6.5).



Figura 6.5: Buracos no solo resultantes do afloramento das cigarras periódicas no estado da West Virginia (EUA).

Fonte: Autoria própria (2016).

A cada 13 ou 17 anos, a região em que essas cigarras habitam é superpovoada por uma geração de novas cigarras e essa alta densi-

dade de cigarras se dá devido ao fato delas não terem defesas contra predadores naturais, e, portanto, sua estratégia para a manutenção da espécie é a alta fecundidade das fêmeas, que colocam de 400 a 600 ovos. Esses ovos são colocados nos troncos das árvores de forma que, assim que eclodirem, terão como alimento a seiva das árvores. As cigarras preferem se alimentar de madeira menos densa ou com fácil acesso à seiva, por isso, preferem árvores novas ou, no caso de árvores maduras, elas ocupam principalmente galhos (Figura 6.6). Esse inseto em número regular não apresenta nenhum problema para as árvores, porém, nos anos em que milhões de insetos saem do solo e se alimentam da seiva, esses animais deixam de ser inofensivos e podem ser um problema para plantios e para árvores ornamentais.

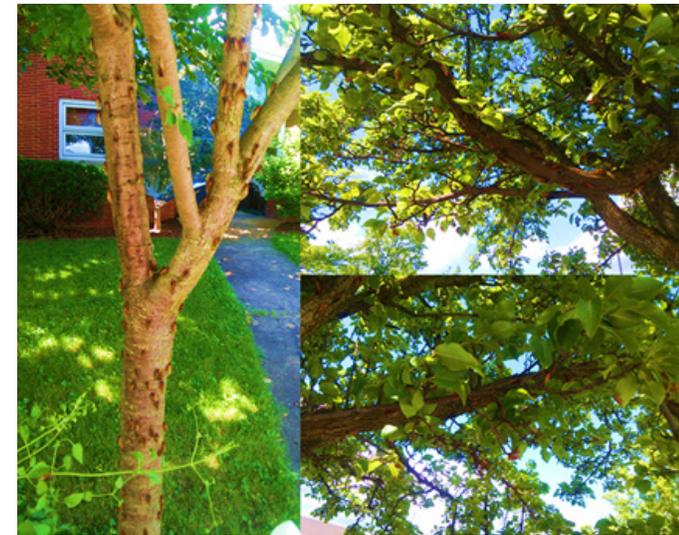


Figura 6.6: Ataque de cigarras em árvores no estado da West Virginia (EUA).

Fonte: Autoria própria (2016).

Mesmo esses ataques não sendo diretamente responsáveis pela morte da planta, o alto consumo de seiva pode levar a uma redução de crescimento da árvore, o que pode prejudicar a planta na competição com outras plantas (LOUDA et al., 1990). Por exemplo, em

um estudo para avaliar os efeitos das cigarras periódicas no estado de Nova York, Karban (1980) concluiu que no ano após a emergência das cigarras, ou seja, no primeiro ano das ninfas, os anéis de crescimento de carvalho (*Quercus ilicifolia*) sofriam com um decréscimo de até 30% no crescimento.

Uma estratégia utilizada para reduzir os danos causados pelas cigarras periódicas nos anos que esse inseto emerge é a proteção de árvores que podem ser prejudicadas. Para as árvores jovens, que não estão desenvolvidas, aconselha-se fazer a proteção das copas com redes e do caule por algum material que impeça que as cigarras se fixem. Na Figura 6.7, pode ser observado o uso de redes para a proteção da copa, que se mostra muito eficiente, pois não bloqueia o sol das folhas, e o uso de um cano de PVC para a proteção de caule.



FIGURA 6.7: Árvores protegidas contra o ataque das cigarras periódicas em West Virginia (EUA). Fonte: Autoria própria (2016).

Outra forma de minimizar esse problema com cigarras periódicas nas regiões afetadas do leste dos EUA é realizar o plantio de novas espécies no outono seguinte ao aparecimento das cigarras, pois assim se tem o tempo máximo para que a árvore se desenvolva antes que a próxima geração de cigarras emerja.

REFERÊNCIAS

- BLANCHETTE, R. A. A guide to wood deterioration caused by microorganisms and insects. In: DARDES, K.; ROTHE, A. **The Structural Conservation of Panel Painting. J. Paul Getty Museum.** 1995. 55-68p.
- BOUCHARD, P. et al. Family-group names in Coleoptera (Insecta). **Zookeys**, v.88, p. 1-972, 2011.
- DUFFY, E. A. J. Recent observations on infestations of na unusual type of ambrosia (pinhole borer) beetle damage in wawa (*Triplochiton scleroxlyon*). **Empire Forestry Review**, v. 35, n.2, p. 198-200, 1956.
- FETTKOTHER, R. et al. Effect of host and larval frass volatiles on behavioural response of the old house borer, *Hylotrupes bajulus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae), in a wind tunnel bioassay. **Chemoecology**, v.10, p. 1-10, 2000.
- HADLINGTON, P. **Australian termites and other common timber pest.** Sydney: UNSW Press, 2003. 131p.
- HALPERIN, J.; GEIS, K. U. Lyctidae (Coleoptera) of Israel, their damage and its prevention. **Phytoparasitica**. v. 27, n. 4, p. 257-262, 1999.
- HANSEN, L. D.; AKRE, R. D. Urban pest management of carpenter ants. In: WILDEY, K. B.; ROBINSON, W. R. **Proceedings of the first international conference on urban pests.** 1993. 271-279p.

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

KARBAN, R. Periodical cicada nymphs impose periodical oak tree wood accumulation. **Nature**, v. 287, p.326–327, 1980.

LIU, L. Y.; SCHONITZER, K.; YANG, J. T. A review of the literature on the life history of Bostrichidae (Coleoptera). **Mitteilungen der Munchner Entomologischen Gesellschaft**, v. 198, p. 91-97, 2008.

LIU, L. Y.; SCHONITZER, K. Phylogenic analysis of the family Bostrichidae auct. at suprageneric levels (Coleoptera: Bostrichidae). **Mitteilungen der Munchner Entomologischen Gesellschaft**, v. 101, p. 99-132, 2011.

LOUDA, S.M.; KEELER, K.H.; HOLT, R.D. Herbivore influences on plant performance and competitive interactions. In: GRACE J.B.; TILMAN D. **Perspectives in plant competition**. New York: Academic Press, 1990. 413–414p.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF/LPF, 1988. 56p.

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

PALANTTI, S. et al. Nutritional requirements for larval development of the dry wood borer *Trichoferus holosericeus* (Rossi) in laboratory cultures. **Journal of Pest Science**, v. 83, p. 157-164, 2009.

PINNIGER D. B.; CHILD, R. E. Woodworm - A necessary case for treatment? New techniques for the detection and control of furniture beetle. In: WILDEY, K. B. **Proceedings of the second international conference on urban pests**. 1996. 353-359p.

ROCHA, M. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: FUPEF, 2001. 94p. Série didática

RUST, M. K.; KENNEDY, J. M. **The feasibility of using atmospheres to control insect pests in museums**. Riverside: University of California, 1993. 125p.

SILVA, J. B. **Metodologia de análise e diagnóstico da madeira na preservação do patrimônio histórico**. 2008. 146f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Florestal, UFPR, 2008.

WALKER, J. C. F. Timber preservation In: WALKER, J. C. F. et al. **Primary wood processing**. Londres: Chapman & Hall, 1993. 285-320p.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology: decay and its prevention**. San Diego: Academic Press, 1992. 476p.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 6

- Coleoptera
- *Lyctus*
- *Anobium*
- Ambrósia
- Cerambycidae
- Besouros fitófagos
- Bostrychidae
- Hymenoptera
- Formigas carpinteiras
- Abelhas Mamangavas
- Vespas

Questões do capítulo 6

1. Como são os danos provocados pelos coleópteros? Em qual fase ocorrem?
2. Besouros *Lyctus* exigem a madeira de alburno para o desenvolvimento adequado da larva e não infesta o cerne. Por que os danos desses insetos são restritos à madeira de folhosas com vasos largos e bambus?
3. Qual o principal sinal do ataque de caruncho?
4. Como prevenir o ataque do caruncho?
5. Qual a faixa de umidade ideal para a infestação de besouros da família Anobiidae? Haveria grande infestação em sua região?
6. Por que houve uma redução na infestação de *Anobium* na Inglaterra em casas modernas e antigas?
7. As árvores recém-abatidas são desgalhadas e empilhadas na beira da estrada para esperar o transporte para a serraria. Como reduzir o ataque de Ambrósia nessa fase?
8. O que são besouros fitófagos?

9. Como identificar o ataque de cerambicídeos?
10. As formigas carpinteiras se alimentam da madeira? Podem atacar madeira tratada?

BROCAS MARINHAS

Gisele Gimenes Brochini

Pedro Lício Loiola

Pompeu Paes Guimarães

Thiago Souza da Rosa

Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

A deterioração de estruturas de madeira em água salgada ou salobra é um problema mundial. Algumas vezes, evidências de ataque desse tipo podem ser encontradas em rios até mesmo fora da área salobra. A velocidade do ataque depende das condições do local e do tipo de broca presente (HIGHLEY, 2010). A região com maior ocorrência desse tipo de deterioração são as que apresentam águas quentes (ROCHA, 2001).

Embora, hoje em dia, a preservação da madeira em ambiente marinho seja concentrada em estruturas fixas, a preservação de embarcações foi de grande importância no passado. Provavelmente, foram perdidos mais barcos por causa de brocas do que por erros de navegação (HOCHMAN, 1982). Hoje, a maioria das tintas utilizadas em barcos os protegem de brocas, mas mesmo assim são recomendadas inspeções constantes em regiões favoráveis a infestações para evitar ataques em áreas onde a pintura pode ter sido desgastada. Por exemplo, a parte onde está o leme não tem como ser coberta eficientemente e acaba sendo suscetível ao ataque de brocas (RICHARDSON, 1993). Nos Estados Unidos, brocas marinhas causam danos de aproximadamente 50 milhões de dólares por ano. E ainda há inconveniência da interdição de piers para que ocorram suas reconstruções (HOCHMAN, 1982).

A taxa de deterioração de madeira não tratada por brocas pode ser exemplificada por um caso que ocorreu no Havaí: quando o sistema de despejo de esgoto foi implantado na ilha Sand do Havaí, um cavalete de pinho Douglas (*Pseudotsuga menziessii*) sem tratamento foi construído para que um guindaste pudesse carregar enormes canos de concreto. Sabia-se do perigo de brocas, mas como o projeto seria completado em apenas oito meses, a empresa considerou o uso de madeira tratada desnecessário. Em 70 dias, parte do cavalete cedeu, e parte do equipamento, incluindo motores a diesel, caiu no mar. O equipamento foi recuperado, mas tempo foi perdido para retirar o que restou do cavalete e completar o trabalho com barcaças (HOCHMAN, 1982).

O termo broca marinha é usado genericamente para incluir todos os invertebrados marinhos que perfuram e, conseqüentemente, danificam a madeira e outros objetos sólidos em água salgada. Os organismos responsáveis pela biodeterioração de estruturas de madeira são membros de dois grupos principais: moluscos e crustáceos.

MOLUSCOS

São os organismos do filo Mollusca que, em sua fase de larva, possuem a aparência de ostra ou concha, mas passam a ser vermiformes quando perfuram a madeira. Membros deste filo são responsáveis pela rápida destruição de madeiras expostas em ambiente marinho. Os gêneros mais envolvidos na deterioração são os *Teredo* e *Bankia* da família Teredinidae, e os *Martesia* e *Xilophaga* da família Pholadidae (HOCHMAN, 1982).

TEREDINIDAE

Teredinidae é a família mais conhecida entre os moluscos, com 69 espécies, e exerce o importante papel ecológico na redução da madeira marinha. Há registros de ocorrência de 25 espécies nas costas brasileiras

distribuídas em oito gêneros. Também podem ser popularmente chamadas de *gusanos*, *turus* ou *busanos*.

Esses moluscos possuem um corpo bastante alongado e cilíndrico, provido por um par de conchas que se encontram reduzidas a duas pequenas valvas anteriores. A perfuração na madeira (figura 7.1) é feita por movimentos de aberturas ou rotações das valvas, enquanto a extremidade anterior do corpo prende-se ao buraco por meio de uma estrutura chamada de «pés» (ROCHA, 2001).



Figura 7.1. Amostra de madeira severamente atacada por Teredos
Fonte: Autoria própria (2016)

Os moluscos *Teredo* e *Bankia* são bastante semelhantes, mas facilmente diferenciados quando observados de perto. Os *Teredos navalis* podem medir na idade adulta entre 9 cm e 18 cm de comprimento e 1,3 cm de diâmetro, já os *Bankia setacea* podem medir de 59 cm a 71 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro. Geralmente, o *T. navalis* tem uma maior tolerância à baixa salinidade e pode sobreviver mais a montante em diversos estuários, enquanto o *B. setacea* é mais resistente às variações de temperatura (RITTER; MORREL, 1990).

Esses indivíduos são hermafroditas. No início do seu ciclo de vida, agem como machos liberando esperma no mar e com 8 a 10 semanas de desenvolvimento, mudam o comportamento para fêmea e passam a ser fertilizadas. A fertilização e o desenvolvimento da larva ocorrem dentro do corpo do molusco e a larva madura é lançada ao mar através de uma estrutura chamada sifão. Por exemplo, os *Teredo diegensis*, no estágio de larva possuem 250 µm de diâmetro e devem atacar a madeira nas primeiras 48 horas senão perdem a capacidade de perfura-la (HOCHMAN, 1982). Uma vez estabelecidos, os moluscos crescem e aumentam gradualmente os túneis, porém, o buraco de abertura raramente ultrapassa 1,5 mm. De dentro dos buracos na madeira, os moluscos estendem um par de sifões para a água. Esses sifões funcionam para a troca de nutrientes, oxigênio e resíduos. Em sinal de perigo, os sifões se retraem e o buraco de entrada na madeira fica coberto por uma camada dura (*pallets*) que protege o molusco de qualquer ataque. A proteção também permite que o agente deteriorador sobreviva na madeira de 7 a 10 dias fora da água (RITTER; MORREL, 1990). Uma vez que o buraco de abertura nunca aumenta, o interior da madeira pode ser totalmente deteriorado enquanto a superfície aparenta estar intacta.

A digestão dos carboidratos possivelmente ocorre devido à simbiose com bactérias denominadas *Teredinibacter turnerae* presentes na glândula de Deshayes, estrutura localizada nas brânquias (CRUZ, 2006).

A primeira ocorrência de um Teredinidae no Brasil ocorreu em 1919 nos manguezais de Santos, SP (SILVA et al. 1988). Desde então, vem sendo relatadas ocorrências em toda a costa brasileira. Leonel et al. (2002) reportaram pela primeira vez a ocorrência de quatro espécies de Teredinidae (*Teredo bartschi*, *Neoteredo reynei*, *Nausitora fusticula* e *Bankia fumbriatula*) no estado da Paraíba. Já Freitas et al. (1999), encontraram oito espécies dessa família em pesquisa realizada no litoral de Alagoas.

Geralmente, a literatura afirma que a intensidade de perfuração dos Teredinidae em pilares de madeira é maior junto ao fundo. Na realidade, isso depende das espécies envolvidas e de fatores como temperatura, estratificação da salinidade, intensidade luminosa, presença de organismos incrustantes e competição com outras espécies (SILVA et al. 1988). Existem relatos de encontro de Teredinidae vivos em alta profundidade, embora não se saiba se eles são capazes de infestar a madeira nessa situação ou apenas sobreviver em uma madeira que veio a afundar. Turner (1966) relatou diversos desses casos, sendo o mais extremo o de um navio dinamarquês naufragado em que se encontrou a espécie *Bankia carinata* viva a uma profundidade de 7.488 metros na região da Indonésia.

PHOLADIDAE

Espécies da família Pholadidae são moluscos em forma de concha que perfuram a madeira e filtram alimentos das águas ao seu redor. Na forma adulta, eles são capazes de perfurar uma grande variedade de materiais incluindo areia, turfa, barro, madeira, conchas calcárias de outros moluscos, e diversos tipos de rocha (MANN; GALLAGER, 1984). Existem três gêneros de moluscos bivalvos deterioradores da madeira pertencentes a essa família: *Barnea*, *Martesia* e *Xilophaga* (KINTZ, 2009), sendo que a espécie *Martesia striata* causa danos extensivos em madeiras localizadas em ambientes tropicais (RITTER; MORREL, 1990).

No início do seu ciclo de vida, são pequenas larvas que nadam livremente e que eventualmente se estabelecem de forma permanente em uma superfície de madeira adequada. Podem crescer até aproximadamente 2,5 cm de comprimento e deixam um orifício de entrada na madeira de cerca de 6 mm de diâmetro (RITTER; MORREL, 1990). A taxa de crescimento da concha do molusco varia de acordo com a

temperatura das águas e pode chegar a 0,19 mm/dia durante o verão para a espécie *Martesia cuneiformis* (MANN; GALLAGER, 1984).

Essas espécies perfuram a madeira de forma que a superfície ocasionalmente é enfraquecida e tende a ceder sob a ação das ondas (figura 7.2). Os danos na madeira geralmente são identificáveis pela aparência de “pêra”. Eventualmente, a área deteriorada da madeira chega a um ponto em que ocorre sua ruptura (RITTER; MORREL, 1990).



Figura 7.2. Madeira atacada por *Martesia* sp.

Fonte: Autoria própria (2016)

CRUSTÁCEOS

Outro grupo distinto de brocas marinhas são os crustáceos, mais conhecido pelas lagostas e camarões. Os principais deterioradores nessa classe são os indivíduos das espécies *Limnoria* e *Sphaeroma*. A principal diferença entre eles e os moluscos deterioradores de madeira é sua mobilidade, que permite que eles transitem entre pedaços diferentes de madeira durante seu ciclo de vida. Outra diferença é a profundidade do ataque. Os crustáceos atacam a madeira superficialmente e os danos acontecem por erosão, resultado de uma combinação da ação das brocas e do movimento das águas (HIGHLEY, 2010).

LIMNORIA

Limnoria são pequenos crustáceos conhecidos como piolhos ou cupins do mar. Existem 20 espécies de *Limnoria* que atacam a madeira em ambiente marinho. São indivíduos pequenos, com comprimento entre 3 mm e 4 mm. Embora possam se locomover, geralmente continuam a deteriorar um único local (HIGHLEY, 2010).

A madeira é danificada por *Limnoria* através de abertura de túneis de pequeno diâmetro (3 mm) na região da superfície da madeira. Embora o dano aparentemente seja mínimo, a remoção contínua de camadas de madeira enfraquecidas pelas ações das ondas expõem continuamente novas camadas ao ataque. Um sinal clássico do ataque deste crustáceo é o formato de ampulheta em pilares de madeira na região das marés, porém, o ataque pode se estender até as bases dos pilares se as condições de oxigênio e salinidade forem adequadas (RITTER; MORREL, 1990). Em piers construídos com madeira não tratada e com alta infestação de *Limnoria*, os pilares podem ser completamente destruídos em menos de um ano (HIGHLEY, 2010).

Outra característica marcante desse agente deteriorador é a sua capacidade de deteriorar madeiras tratadas. Ritter e Morrell (1990) citam casos em que exemplares da espécie *Limnoria tripunctata* atacaram madeira tratada com creosoto na Baía de São Francisco, costa oeste dos Estados Unidos, e pesquisadores conseguiram literalmente espremer o material preservante do corpo do crustáceo que continuava a atacar a madeira.

Embora ainda não tenham sido desenvolvidos métodos de preservação química eficientes para o combate dos *Limnoria* e que, ao mesmo tempo, não sejam poluentes para o ambiente marinho, algumas espécies de madeira são naturalmente resistentes. Entre as características da madeira que podem afetar o ataque dos crustáceos, pode-se citar: madeiras com alto teor de sílica, alta massa específica e presença de extrativos.

No caso da presença de extrativos, diversas composições podem afetar a taxa de alimentação da *Limnoria*. O mecanismo de resistência da madeira ocorre por dois meios: (1) os extrativos afetam a produção de enzimas dos micro-organismos no interior dos crustáceos; (2) a ingestão do extrativo pode interromper a digestão da *Limnoria* (BORGES et al, 2008). Borges et al. (2008) recomendaram o uso de espécies tropicais com alta resistência natural contra o ataque de *Limnoria quadripunctata*, dentre as quais destacaram duas espécies brasileiras: a Faveira (*Enterolobium schomburgkii*) e a Acariquara (*Minquartia guianensis*).

SPHAEROMA

Brocas do gênero *Sphaeroma* incluem *S. terebrans*, *S. walkeri* e *S. quayanum*. Uma vez que essas espécies vivem de e na madeira, foram espalhadas pelo mundo através de embarcações. Acredita-se que esses crustáceos se alimentam na forma de filtro, ou seja, não comem diretamente o substrato que perfuram (TALLEY et al., 2001).

As perfurações da espécie *Sphaeroma quayanum*, em média, possuem 2,2 cm de comprimento e uma profundidade máxima de 5,6 cm, com largura entre 0,5 cm e 0,7 cm. Geralmente, os túneis são conectados aleatoriamente (TALLEY et al., 2001).

Sphaeroma terebrans é um crustáceo nativo de manguezais. Sua alta tolerância a madeiras tratadas com preservativos à base de cobre a torna uma espécie com grande potencial de danos em regiões de água morna (RITTER; MORREL, 1990).

Crustáceos, de devoradores de madeira à próxima geração de biocombustíveis líquidos

Eles são os cupins do mar e se alimentam exclusivamente de madeira. O apetite destrutivo dessas pragas marinhas atterra marinheiros pelo mundo afora, mas a reputação desses crustáceos está para ser redimida. Cientistas ingleses e americanos dizem que este isópodo destruidor de piers pode ser o Santo Graal da próxima geração de biocombustíveis líquidos.

Usando análises avançadas de bioquímica e técnicas de imagens raios-X, os pesquisadores decifraram os segredos do sistema digestivo dos crustáceos. Eles mapearam a estrutura e a função da enzima-chave usada para digerir madeira. A enzima extremamente robusta e ácida, chamada celulase é capaz de converter celulose, um componente orgânico usado na produção de papel, em açúcar. Na Universidade de York no norte da Inglaterra, o professor Simon McQueen-Mason explica como o processo funciona: "A celulase especificamente corta açúcares simples do longo polímero que forma a celulose que compõe muito da madeira aqui. Tão efetivamente que eles podem converter algo como madeira em açúcar simples, neste caso, o crustáceo a retira para sua própria nutrição. Mas, no nosso caso, nós estamos muito interessados em como converter coisas como madeira em açúcar para podermos produzir biocombustíveis."

Criar combustível líquido de resíduos como palha e madeira envolve a quebra dos carboidratos de açúcares que constituem a parte principal da biomassa de madeira em açúcares simples. Eles então são fermentados para produzir biocombustíveis líquidos.

Até agora o processo é bem complicado e caro para uso em escala industrial. Mas cientistas mapearam a genética da enzima dos crustáceos e a transferiram para um micróbio industrial que pode produzir em grande quantidade.

McQueen-Mason e seus colegas dizem que o processo irá cortar drasticamente os custos de transformar resíduos de madeira em biocombustíveis. A enzima única dos crustáceos é tão resiliente que é capaz de operar em ambientes químicos severos, incluindo água salgada, eliminando a necessidade do uso da cara água destilada na produção.

Do terror dos marinheiros, este deteriorador de madeira do mar poderá um dia ajudar os barcos a navegarem pelos oceanos.

Fonte: <http://uk.reuters.com/video/2013/06/21/wood-eating-grubble-to-power-next-genera?videoid=243508769>

REFERÊNCIA

BORGES, L. M. S. et al. Laboratory screening of tropical hardwoods for natural resistance to the marine borer *Limnoria quadripunctata*: the role of leachable and non-leachable factors. **Holzforschung**, v. 62, p. 99-111, 2008.

CRUZ, R. C. G. **Digestão de diferentes carboidratos em *Nausitora fusticula* (Jeffreys, 1860) (Teredinidae, Bivalvia)**. 2006. 98f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Fisiologia, Universidade de São Paulo, 2006.

FREITAS, L. M.; MELO, R. L. S. Teredinidae (Mollusca- Bivalvia) do rio Manguaba e da praia de Barreiras do Boqueirão, Porto de Pedras e Japaratinga, Alagoas, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da UFPE**, v.27, n.2, p.73-87, 1999.

HIGHLEY, T. L. Biodeterioration of wood. In: **Wood handbook - wood as na engineering material**. General technical Report FPL -GTR-190. Madison: US Department of Agriculture, 2010. p. (14)01-(14)16

HOCHMAN H. Degradation and protection of wood from marine organisms. In: NICHOLAS, D. D. **Wood deterioration and its prevention by preservative treatments**. Syracuse University Press, 1982. 247-276p.

KINTZ J. R. C. Bioconstrucción y biodestrucción en el mar. In: **Comisión Colombiana del Océano**. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2009. p97-107

LEONEL, R. M. V.; LOPES, S. G. B. C.; AVERSARI, M. Distribution of wood-boring bivalves in the Mamanguape river estuary, Paraíba, Brazil. **Journal of Marine Biology Association of the United Kingdom**, v. 82, p. 1039-1040. 2002.

MANN, R.; GALLAGER, S. M. Physiology of wood boring mollusc *Martesia cuneiformis* Say. **The Biological Bulletin**, v. 166, n.1, p.167-177, 1984.

RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. Londres: E & FN Spon, 1993. 226p.

RITTER, M. A.; MORREL, J.J. Bidge inspection for decay and other deterioration In: RITTER, M. A. **Timber bridges**: Design, construction, inspection and maintenance. Washington: USDA, 1990. p. (13)01-(13)67.

ROCHA, M. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: FUPEF, 2001. 94p. Série didática

SILVA, M. J. M.; SILVA, S. H. G.; JUNQUEIRA, A. O. R. Distribuição vertical de Teredinidae (*Mollusca, Bivalvia*) em Portogallo, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.5, n.1, p. 155-165, 1988.

TALLEY, T. S.; CROOKS, J. A.; LEVIN, L. A. Habitat utilization and alteration by the invasive burrowing isopod, *Sphaeroma quoyanum*, in California salt marshes. **Marine Biology**, v. 138, p. 561-573, 2001.

TURNER, R. D. **A survey and illustrated catalogue of the Teredinidae (Mollusca: Bivalvia)**. Cambridge: The Museum of Comparative Zoology, 1966. 265p.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 7

- Brocas marinhas
- Moluscos
- Teredinidae
- Pholdidae
- Crustáceos
- *Limnoria*
- *Sphaeroma*

Questões do capítulo 7

1. Hoje em dia, a preservação da madeira em ambiente marinho é concentrada em estruturas fixas. Por que reduziu-se a incidência de brocas marinhas em embarcações?
2. Qual a definição de broca marinha?
3. Quais os organismos responsáveis pela biodegradação das estruturas marinhas?
4. Como os moluscos são capazes de degradar celulose?
5. Qual a diferença entre o ataque de moluscos e de crustáceos na madeira?
6. Quais características devem apresentar as madeiras resistentes naturalmente à *Limnoria*?
7. Quais espécies brasileiras são naturalmente resistentes à *Limnoria*?

DURABILIDADE NATURAL

Douglas Edson Carvalho
Pedro Lício Loiola

INTRODUÇÃO

A madeira em serviço não está isenta aos efeitos das intempéries e às variações das condições ambientais, mesmo as de reconhecida durabilidade natural. Segundo Gonçalves et al. (2014), a resistência da madeira à deterioração é a capacidade inerente à espécie de resistir à ação de agentes deterioradores, incluindo os agentes biológicos, físicos e químicos.

A utilização da madeira está atrelada aos inconvenientes que esta pode apresentar sendo aplicada em condições adversas. Esse conjunto de ações, quando ocorre em larga proporção, pode afetar as propriedades da madeira, minimizando, assim, a sua durabilidade. Algumas espécies são naturalmente resistentes a organismos externos, sem a necessidade de substâncias químicas protetivas e isso depende da presença de extrativos na madeira e é o que determina a sua durabilidade natural (CARVALHO et al., 2016). Já a resistência biológica da madeira é interpretada como a capacidade que a mesma possui de resistir às ações deterioradoras dos organismos biológicos e podem ser classificadas como alta, média ou baixa resistência à ação desses organismos (GOMES; FERREIRA, 2002).

O conhecimento da resistência natural é importante para recomendação do uso mais adequado, poupando gastos desnecessários com a substituição de peças e reduzindo os impactos ao meio ambiente (PAES et al., 2015).

FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A DURABILIDADE

Alguns fatores próprios à constituição de cada espécie estão diretamente ligados à durabilidade da madeira, tornando-a mais ou menos suscetível à ação de agentes biodeterioradores. Walker (2006) cita que a durabilidade natural da madeira está pautada, principalmente, pela concentração de extrativos fenólicos (taninos, polifenóis, estilbenos, lignanas e flavonoides).

Essa concentração de extrativos é variada, e isso gera a heterogeneidade das espécies florestais, modificando sua durabilidade natural. Sendo assim, afeta as condições de uso da madeira e somente reconhecendo os fatores biológicos, físicos, químicos e mecânicos que interferem nela é que podemos compreender o modo adequado e racional de utilizá-la, evitando inconvenientes do uso de produtos químicos e até mesmo substituição de peças deterioradas (CARVALHO et al. 2015).

MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Para avaliar a durabilidade natural da madeira, é comum a utilização de ensaios de campo de apodrecimento da madeira (Figura 8.1), utilizando-a nas condições de campo aberto e floresta, ou seja, vento, chuva, umidade, radiação solar. Para condução dos ensaios, normalmente, é utilizada a norma COPANT 30:1-006 (COPANT, 1972) que determina as dimensões dos corpos de prova a serem utilizados, permitindo avaliar a resistência quanto ao módulo de elasticidade e módulo de ruptura da madeira.



Figura 8.1. Detalhe de campo de apodrecimento em ambiente de campo aberto.

Fonte: Autoria própria (2016).

O objetivo do campo de apodrecimento é colocar a madeira nas mesmas condições em que ela poderá ser utilizada, a fim de verificar se esta é durável quando exposta a condições adversas. Após um tempo determinado de exposição, são retirados os corpos de prova para avaliação (Figura 8.2).



Figura 8.2. Detalhe de madeira de *Eucalyptus dunni* submetida a campo de apodrecimento após 405 dias.

Fonte: Autoria própria (2016).

De forma complementar, é utilizada a norma ASTM D-2017 (2005), que determina as condições para realização dos testes e ensaios. A norma classifica, através da diferença entre massa seca inicial e final dos corpos de prova, a perda de massa e, assim, determina as classes de resistência.

Tabela 8.1: Classes de resistência sob o aspecto da perda de massa ao longo do tempo (ASTM D-2017, 2005).

Classes de resistência	Perda de massa (%)	Massa residual (%)
Muito resistente	0 – 10	90 – 100
Resistente	11 – 24	76 – 89
Moderadamente resistente	25 – 44	56 – 75
Não resistente	> 45	< 55

Essa classificação também é utilizada quando realizado ensaio de degradação acelerado em laboratório (Figura 8.3), ou seja, as madeiras são submetidas a ensaios em condições controladas de temperatura e umidade, ideais para o desenvolvimento de fungos apodrecedores, com o objetivo de avaliar sua resistência à ação desses agentes biodeterioradores.

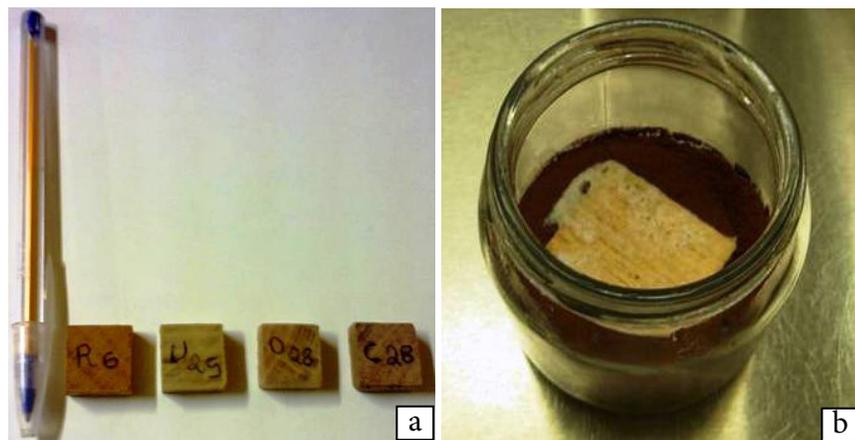


Figura 8.3: Detalhe dos corpos de prova (a) e da madeira com fungo inoculado em meio de cultura (b).

Fonte: Autoria própria (2016).

Além da classificação quanto à resistência, podem ser utilizados o índice de deterioração adaptado de Lepage (1970) (Tabela 8.2), para avaliação da decomposição dos corpos de prova, onde, através dos danos causados pelos agentes biodeterioradores, notas são atribuídas à geração do índice médio de deterioração.

Tabela 8.2. Classificação do nível de deterioração da madeira.

Estado de sanidade	Nota	ID
Sadio, nenhum dano visível	0	100
Ataque leve ou superficial de fungos, térmitas ou coleobrocas	1	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos, térmitas ou coleobrocas	2	70
Apodrecimento intenso ou ataque interno de térmitas	3	40
Deterioração intensa, com desfibramento evidente	4	0

Em que: ID= Índice de deterioração.

Fonte: LEPAGE (1970).

As condições climáticas ou físicas onde as madeiras são expostas, como a temperatura máxima, mínima e média diária, precipitação e umidade relativa, afetam consideravelmente a perda de massa da madeira e, conseqüentemente, a sua resistência (CARVALHO et al. 2016). Entretanto, de posse das informações climáticas, é possível determinar o potencial de ataque fúngico (PAF), índice estimado (Equação 1), desenvolvido inicialmente por Scheffer (1971) e adaptado para o Brasil por Martins et al. (2003).

$$PAF = \sum \frac{[(T - 2) * (D - 3)]}{6,7} \quad (1)$$

Em que: PAF=Potencial de Ataque Fúngico; T=temperatura média (°C); D=número de dias no mês com precipitação pluviométrica igual ou superior a 0,3 mm.

O PAF estima o risco da incidência de fungos apodrecedores em função de duas variáveis ambientais importantes para o desenvolvimento desses agentes xilófagos: a temperatura e a precipitação.

Curling e Murphy (2002) desenvolveram uma fórmula que avalia as espécies quanto ao índice de suscetibilidade ao ataque de organismos xilófagos, a qual relaciona a perda de massa de uma determinada espécie de interesse com a perda de massa de uma espécie de referência (Equação 2).

$$ISA = \frac{PMi}{PMr} * 100 \quad (2)$$

Em que: ISA= índice de suscetibilidade ao ataque (%); PMi= perda de massa da espécie de interesse (%); PMr= perda de massa da espécie de referência (*Pinus* sp. ou *Cecropia* sp.) ao fungo apodrecedor utilizado (%).

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. *ASTM D-2017*: Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Philadelphia, 2005. 5p. Annual Book of ASTM Standard.

CARVALHO, D. E. et al. Resistência natural de quatro espécies florestais submetidas a ensaio com fungos apodrecedores. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 22, n.2, p. 271-276, 2015.

CARVALHO, D. E. et al. Natural durability of *Eucalyptus dunnii* Maiden, *Eucalyptus robusta* Sm., *Eucalyptus tereticornis* Sm. and *Hovenia dulcis* Thunb. wood in field and forest environment. **Revista Árvore**, v.40, n.2, p.363-370, 2016.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas**: método de determinación de flexión estática. 30: 1- 006. COPANT, 1972.

CURLING, S. F.; MURPHY, R. J. The use of the Decay Susceptibility Index (DSI) in the evaluation of biological durability tests of wood based board materials. **Holz als Roh und Werkstoff**, v. 60, n. 3, p. 224-226, 2002.

GOMES, J.I.; FERREIRA, G.C. **Durabilidade natural de quatro madeiras amazônicas em contato com o solo**. Comunicado Técnico, 66. Belém: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2002. 3p.

GONÇALVES, F. G. et al. Resistência de Painéis aglomerados de *Acacia mangium* Willd. colados com ureia-formaldeído e taninos a organismos xilófagos. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 409-416, 2014.

LEPAGE, E. S. Método sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira. **Preservação de madeiras**, v. 1, p.205-216, 1970.

MARTINS, V. A. et al. Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. **Brasil Florestal**, v.76, p. 29-34, 2003.

PAES, J. B. et al. Resistance of thermally treated woods to *Nasutitermes corniger* in a food preference test. **Madera y Bosques**, v. 21, p. 157-164, 2015.

SCHEFFER, T. C. A climate index for estimating potential for decay in wood structures above ground. **Forest Products Journal**, v. 21, n. 10, p. 25-31, 1971.

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

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 8

- Durabilidade natural
- Resistência natural
- Campo de apodrecimento
- Ensaios de degradação acelerada
- Potencial de ataque fúngico
- Índice de suscetibilidade

Questões do capítulo 8

1. Qual a diferença entre durabilidade e resistência natural?
2. Por que algumas espécies são mais resistentes ao ataque de organismos xilófagos do que outras?
3. Quais os componentes químicos da madeira responsáveis pela durabilidade natural?
4. Qual o ensaio mais utilizado para se determinar a durabilidade natural?
5. Em que a norma ASTM se baseia para classificar a resistência da madeira?
6. As condições climáticas do local onde o campo de apodrecimento foi instalado pode afetar os resultados? Por quê?
7. O que é e como pode ser determinado o PAF?

PRESERVANTES DE MADEIRA

Douglas Edson Carvalho

Gisele Gimenes Brochini

Pedro Lício Loiola

Pompeu Paes Guimarães

Thiago Souza da Rosa

Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

Deve-se aceitar que a deterioração da madeira é inevitável. E se esse não fosse o caso, nossas florestas seriam somente um grande cemitério de árvores mortas. A durabilidade natural de uma espécie indica apenas a taxa com que ela será deteriorada. Porém, embora a deterioração seja inevitável na natureza, não necessariamente precisa ser na utilização de produtos madeireiros. Por exemplo, a deterioração por fungos pode ser evitada com o controle do teor de umidade da madeira e a deterioração por insetos pode ser evitada escolhendo espécies que apresentam resistência natural a esses agentes. Contudo, se não é uma opção obter essas espécies, é preciso adotar processos de preservação (RICHARDSON, 1993).

O conceito de preservação da madeira pode ser amplo, uma vez que abrange proteção contra fogo, degradação química, intemperismo, desgaste mecânico e ataque biológico. Entretanto, neste capítulo o termo preservação será aplicado de maneira mais restritiva à proteção contra agentes bióticos. No caso da madeira, é mais eficiente falar em prevenção do que tratamento de material infectado (WALKER, 1993).

EVOLUÇÃO DOS PRESERVANTES

A história da humanidade é intimamente ligada à utilização da madeira. Os primeiros registros do uso de preservantes artificiais em material orgânico aconteceu no Egito antigo. As habilidades dos egípcios de mumificar corpos é uma prova que suas técnicas beiravam à perfeição. Contudo, os sarcófagos de madeira aparentemente não sofriam nenhum tratamento especial e a sua durabilidade dependia apenas de manter a madeira seca o suficiente para evitar ataques de agentes deterioradores (WEISS, 1915). Já em 100 a.C., Os chineses imergiam a madeira em água do mar ou em água salgada de lagos antes de usá-la como material de construção (RICHARDSON, 1993).

Devido à grande quantidade de madeira usada na Grécia e Roma Antiga para construção de residências e pontes, esses povos foram obrigados a abordar diretamente os problemas quanto à preservação contra deterioração. Entre as primeiras tentativas, pode-se citar a colocação de pedras sob pilares de madeira para evitar contato direto com o solo e a vegetação. Os topos das toras também eram cobertos, o que deu origem à base da construção de pilares de pedra modernos. Também era conhecido o valor asséptico dos óleos essenciais obtidos de oliveiras e cedros da região Mediterrânea. A prática era espalhar o óleo na superfície da madeira antes do uso ou fazer pequenas perfurações na madeira e preenchê-las com a substância. Através desse procedimento, a estátua de Júpiter de Phideas foi preservada. Era hábito dos romanos e moradores de cabanas do Báltico carbonizar suas madeiras antes de utilizá-las como pilares de estruturas (WEISS, 1915). Foram recuperados objetos de madeira romanos em Cyprus, onde foi observada a presença de cobre metálico, distribuído homogeneamente no cerne e no alburno da madeira. Muitas teorias foram levantadas para explicar a presença da substância como uma tentativa de preservação da madeira pelos romanos, embora seja mais provável que isso tenha sido resultado da presença de cobre no solo (RICHARDSON, 1993).

Talvez tenha sido a rápida deterioração das madeiras utilizadas nos navios de guerra britânicos que deu o primeiro grande impulso na indústria da preservação. Foi relatado o desenvolvimento de 173 processos ou métodos de preservação para esse fim, sendo que a maioria sem sucesso. No mesmo período, a Holanda também buscava métodos para preservar suas construções de diques e em ambientes marinhos. Mais tarde, no século XIX, com o desenvolvimento das locomotivas, o uso da madeira como dormentes exigiu a criação de novos métodos de preservação. A maioria dos produtos já era usada na preservação mesmo antes de serem patenteados ou comercializados. Por exemplo, existem registros do uso de cloreto de mercúrio datados de 1705, embora a patente desse preservante tenha ocorrido apenas em 1832. O mesmo ocorre com sulfato de cobre, recomendado em 1767 e patentado em 1837 (WEISS, 1915). Outros três processos também estabelecidos antes de 1842 foram: cloreto de zinco, sulfato ferroso com sulfito e o mais bem sucedido de todos os preservantes desenvolvidos no século XIX, o creosoto (RICHARDSON, 1993).

PROPRIEDADES DOS PRESERVANTES

Hoje, há centenas de preservantes químicos que podem ser usados sozinhos ou em combinações disponíveis no mercado para o tratamento de madeiras. Mas de toda essa vasta gama de substâncias, apenas poucas são, ao mesmo tempo, eficientes e livres de propriedades indesejáveis. Além disso, recentemente, ainda há uma preocupação com os efeitos tóxicos de substâncias químicas no meio ambiente.

Para ser considerado um bom preservante, um produto deve apresentar as seguintes propriedades: alta toxicidade para organismos deterioradores, retenção na madeira tratada, penetração na madeira, estar livre de efeitos deletérios à madeira, ser não corrosivo para metais e não ser perigoso para quem aplica ou quem utiliza a madeira tratada (FINDLAY, 1985).

TOXIDEZ

Um bom preservante deve ser tóxico a uma maior quantidade possível de organismos deterioradores. O uso de um único e universal preservante de madeira, porém, não seria economicamente viável, já que o espectro de deterioração em que a madeira é exposta é muito grande em tipo e nível. Muitas vezes é necessário ajustar a formulação para aumentar a quantidade de agentes prevenidos, como por exemplo, o uso de preservantes de multisais, como o CCA (Arseniato de cobre cromado), que é usado praticamente para todos os fins. Por outro lado, preservantes com ações mais específicas costumam ser mais seguros para o uso e oferecem menos risco para o ambiente (WALKER, 1993).

RETENÇÃO

Não adianta um preservante ser altamente tóxico e não ter boa fixação na madeira. Portanto, sem boa fixação, o preservante é facilmente lixiviado, expondo a madeira novamente aos organismos xilófagos (ROCHA, 2001). A retenção do produto preservante, ou sua resistência à lixiviação, é uma propriedade fundamental em casos onde a madeira será usada em ambientes abertos expostos à chuva ou para madeiras utilizadas em ambientes marinhos.

PENETRAÇÃO

O principal problema da madeira tratada é conseguir que o produto químico tóxico consiga penetrar em uma profundidade suficiente para preservá-la por um longo período. A seleção do tratamento é feita em parte por especificações técnicas e parte por razões econômicas. Por exemplo, talvez não seja necessário realizar uma impregnação sob pressão para uma madeira que será exposta em um ambiente com pouco risco. Por outro lado, madeiras expostas em ambiente marinho

ou em contato direto com o solo exigirão o uso de preservantes que não lixiviem (WALKER, 1993).

Em muitas espécies, isso pode ser conseguido facilmente no alburno, mas o cerne pode ser totalmente impermeável. Para a madeira de *Pinus sylvestris*, por exemplo, o tratamento somente do alburno poderá ser o suficiente, já que o cerne possui uma significativa resistência natural. Em outras espécies, como a *Picea*, até o cerne não é durável, porém nem o alburno nem o cerne são permeáveis o suficiente para permitir a penetração adequada (RICHARDSON, 1993).

Os ensaios de penetração (presença, ausência e profundidade de penetração) se dão através de teste colorimétrico (figura 9.1) normatizados pela NBR 6232:213 (ABNT, 2013). O método usa o Cromoazurol-S como indicador que reage com o componente cobre presente em preservantes como o CCA e o CCB.



Figura 9.1. Teste de penetração em madeira. A coloração azul indica presença e penetração do cobre.

Fonte: Autoria própria (2016).

NÃO ALTERAR AS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

A reação química entre o preservante e os componentes formadores da parede celular pode afetar as propriedades da madeira de maneira positiva ou negativa. Yildiz et al. 2004, avaliaram o efeito de cinco diferentes produtos preservantes nas propriedades mecânicas da madeira de *Pinus sylvestris* e concluíram que madeiras tratadas com alguns preservantes apresentaram valores médios de MOR e MOE superiores aos da testemunha, mas a maioria deles obtiveram valores inferiores ou sem alteração.

Outra propriedade importante da madeira que é frequentemente afetada por tratamento químico, e muitas vezes de forma negativa, é a cor. Hoje, a cor da madeira é um fator fundamental para se estabelecer seu preço de mercado, por isso, é importante que os preservantes a afetem o mínimo possível. Como exemplo, podemos citar madeiras sólidas tratadas com produtos como a base de Boro, que são esteticamente muito semelhantes a madeiras não tratadas (embora o mesmo comportamento não seja observado em lâminas). Por outro lado, outros preservantes são conhecidos por afetar a aparência da madeira tratada: madeira tratada com creosoto apresenta uma coloração escura e uma superfície oleosa; madeira tratada com CCA apresenta uma coloração esverdeada clara (todos preservantes à base de Cobre tendem a dar uma tonalidade verde à madeira em diferentes graus); e PCP tende a deixar a madeira entre marrom claro e marrom escuro (AYDIN; COLAKOGLU, 2005).

NÃO ALTERAR OUTROS MATERIAIS

Madeira e metal são elementos compatíveis em diversas construções e usos, como na indústria moveleira. Contudo, alguns problemas de corrosão dos elementos de metal podem vir a acontecer como resultado natural do contato com a umidade da madeira e, entre outros, da

presença de certos tipos de preservativos. De modo geral, preservativos oleosos não causam problemas de corrosão, sendo que sua presença pode chegar a inibir uma corrosão natural do aço em contato com a madeira. Porém, preservantes hidrossolúveis que contêm sais de cobre podem corroer metais devido à pequena quantidade de íons de cobre solúveis (BAKER, 1988).

BAIXA TOXIDAZ PARA MAMÍFEROS

Metais pesados são elementos usados na composição de preservantes que podem causar impactos na saúde humana. Geralmente, humanos e animais de estimação são expostos a esses metais por contato, inalação ou ingestão em ambientes onde madeiras tratadas são utilizadas. Entre os elementos tóxicos aos mamíferos usados tipicamente na composição de preservantes, pode-se citar Arsênio e Cromo.

Hoje, 90% do arsênio industrial presente nos Estados Unidos é usado para a produção de preservantes de madeira. O arsênio não tem odor ou gosto e é conhecido por ser cancerígeno e poder causar câncer de pele, pulmão, fígado e bexiga (MARTIN; GRISWORLD, 2009).

Há preservantes de madeira que usam a forma solúvel de cromo em suas composições, que também é um componente cancerígeno, sendo que a exposição de humanos em ambientes com emissão desse metal pode causar problemas respiratórios (MARTIN; GRISWORLD, 2009).

PRESERVANTES

Os preservantes são comumente classificados em três grupos principais (FINDLAY, 1985):

- 1) Preservativos derivados de óleos extraídos do carvão, petróleo ou madeira;
- 2) Produtos químicos solúveis em água;

- 3) Preservativos do tipo solvente que contém químicas tóxicas para fungos e insetos que são solúveis apenas em solventes orgânicos.

OLEOSOS

Creosoto

A palavra creosoto era inicialmente usada para descrever a porção oleosa oriunda da destilação destrutiva da madeira. Atualmente, o termo é usado quase exclusivamente para o óleo preparado da destilação do carvão (RICHARDSON, 1993). Ele é produzido pela carbonização em alta temperatura de carvão betuminoso durante o processo de cozimento. Assim, o creosoto é um subproduto constituído principalmente de hidrocarbonetos aromáticos líquidos e sólidos e que contém uma quantidade considerável de ácidos do alcatrão (que não são ácidos verdadeiros no sentido químico da palavra, e sim, fenóis) e bases (WALKER, 1993). A composição exata do preservativo varia bastante dependendo do tipo de carvão e do processo utilizado.

Os ácidos de alcatrão possuem excelente ação fungicida, mas são os elementos mais fáceis de se perder por volatilização e lixiviação quando impregnados na madeira. Por isso, as propriedades preservativas do creosoto dependem de muitos outros fatores. Creosotos com alto teor de naftaleno, por exemplo, apresentam bons resultados na preservação em ambiente marinho, embora esse componente seja de baixa toxicidade (RICHARDSON, 1993).

O creosoto não age somente como elemento tóxico, já que o seu resíduo e outros componentes pesados tendem a limitar a variação no teor de umidade da madeira tratada, tornando-a mais estável e resistente a rachaduras (RICHARDSON, 1993).

Dentre as vantagens do uso de creosoto podem-se citar: sua toxicidade tanto para fungos, quanto para insetos, sua relativa insolubilidade na água e seu baixo custo. Por outro lado, é um produto que pode

manchar, seu odor é forte, normalmente não aceita que a madeira seja pintada com qualidade e é inflamável (WALKER, 1993). Por causa dessas desvantagens, é um produto muito usado para postes, mourões e dormentes. Na Europa, metade da madeira preservada com creosoto é usada em dormentes de trens, e 1/3 dela em postes de transmissão (RICHARDSON, 1993).

Alguns organismos são altamente resistentes ao creosoto, sendo recomendado o uso de fórmulas reforçadas, como por exemplo, o creosoto reforçado com pentaclorofenol (contra o ataque do fungo *Lentinus lepideus*), o creosoto reforçado com cobre (contra ataque do crustáceo *Limnoria tripunctatum*) e o creosoto reforçado com arsênio (contra o ataque do cupim *Coptotermes formosanus*) (ROCHA, 2001).

Óleos naturais

Atualmente, existe uma tendência a utilizar produtos naturais, ou seja, produtos que utilizam matérias provenientes da natureza sem nenhuma modificação química. Esses produtos têm uma boa imagem, porém, ainda há carência de informações sobre sua eficácia e viabilidades técnica e econômica (SILVA, 2008).

Stumpp et al. (2006) avaliaram a eficácia do uso de Óleo de Mamona (*Ricinus communis*) como preservante de madeira de *Pinus spp*, *Eucalyptus grandis* e *Araucaria angustifolia* contra o ataque do cupim *Cryptotermes brevis*. Eles observaram uma excelente resistência ao intemperismo, apresentando 100% de retenção da massa do preservante após exposição e uma elevada taxa de mortalidade do agente deteriorador, chegando a 100% no caso da madeira de *Pinus*.

O óleo de linhaça (*Linum usitatissimum*) é considerado um dos tratamentos naturais de melhor resultado por ser secativo, proporcionando boa impermeabilidade e proteção. No Brasil, seu uso como preservante já foi citado na literatura em 1905, quando se recomendava o uso do óleo como uma tinta protetora contra insetos e micróbios (TELES;

FERREIRA, 2010). Esse óleo exige a reaplicação pelo menos uma vez ao ano, porém, não é necessário que se retire a camada anterior, o que facilita o processo.

O óleo de nim (*Azadirachta indica*) é eficaz contra fungos, insetos e algumas bactérias, além de ser atóxico para seres humanos, animais domésticos e meio ambiente (BOSSARDI; BARREIROS, 2011).

TBTO - Óxido de bis (Tributil-Estanho)

É um produto muito eficiente contra brocas, sendo muito usado na fortificação do creosoto em ambientes marinhos. Ele também pode ser encontrado no mercado reforçado com PCP, ortofenilfenol e boratos quando é necessária a preservação contra podridão branca. Contra podridões, tem a eficiência 7,5 vezes maior do que o CCA. Esse produto, no entanto, é de alto custo (ROCHA, 2001).

OLEOSSOLÚVEIS

Os oleossolúveis consistem em soluções tóxicas adicionadas em solventes voláteis. Se o solvente for completamente volatizado e a toxina for incolor, a madeira tratada será perfeitamente limpa, ao contrário dos preservantes oleosos. Neste caso, a ação preservante depende exclusivamente da toxina. Embora o solvente oleoso não afete a toxicidade do preservante, seu uso pode encarecer o produto, por isso, os preservantes oleossolúveis só são recomendados quando o uso de hidrossolúveis é inviável (RICHARDSON, 1993).

PCP - Pentaclorofenol

Produto de alta eficiência contra a maioria dos agentes deterioradores (com exceção de brocas marinhas), o pentaclorofenol é um organoclorado (C_6Cl_5OH), obtido da cloração direto do fenol, insolúvel em

água. O principal solvente é o petróleo bruto para tratamento de dormentes e óleos leves (querosene, óleo de linhaça, acetona, etc) para tratamentos mais limpos. Entretanto, quando óleos leves são usados, o PCP pode ser arrastado à superfície da peça tratada em função da rápida evaporação do solvente. Na superfície, a toxina se cristaliza e torna a peça inadequada para uso, já que é uma substância altamente nociva ao homem e animais domésticos (ROCHA, 2001).

No Brasil, o PCP vinha sendo utilizado apenas na sua forma de sais (pentaclorofenato de sódio) e como preservante de madeira, uma vez que seu uso como agrotóxico foi proibido desde 1985. Contudo, em maio de 2015, os países vinculados à **Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes** (da qual o Brasil é um signatário) baniram o uso do PCP e seus sais com apenas uma exceção, a preservação industrial de madeiras usadas exclusivamente para postes e dormentes. É válido lembrar que os Estados Unidos não assinaram a Convenção de Estocolmo e, por isso, a madeira tratada com o produto ainda pode ser utilizada nesse país na construção de pontes e piers.

HIDROSSOLÚVEIS

Preservativos hidrossolúveis consistem em solução de íons inorgânicos, originalmente preparada pela mistura de sais, mas hoje em dia, geralmente formulados de óxidos para evitar os íons inativos desnecessários como sódio e sulfato. Alguns inativos, porém, podem ser importantes na fixação, penetração e retenção na madeira (RICHARDSON, 1993).

Antigamente, sais simples eram usados como preservantes, mas possuíam várias desvantagens: eram tóxicos aos seres humanos, corrosivos, de fácil lixiviação ou ação muito restrita a apenas certo tipo de agente. Para sobrepor essas desvantagens, foram desenvolvidas formulações com sais múltiplos (RICHARDSON, 1993). Existe uma enorme variedade de formulações, sendo os mais importantes os CCA e CCB.

CCA - Arseniato de Cobre Cromatado

É considerado o melhor e mais usado produto hidrossolúvel. Nos Estados Unidos, por exemplo, o CCA dominou o mercado de madeira tratada desde os anos de 1970 até 2004, quando seu uso passou a ser controlado e restrito a aplicações industriais, deixando de ser vendido diretamente para o público. Hoje, a madeira tratada com CCA não pode mais ser usada na construção de decks de domicílios e em playgrounds (Lebow, 2010).

O CCA é comercializado em três diferentes formulações apresentadas na Tabela 9.1.

Tabela 9.1. Formulações comerciais do CCA

Ingrediente Ativo	Tipo de CCA		
	A	B	C
CrO ₃	65,5%	35,3%	47,5%
CuO	18,1%	19,6%	18,5%
As ₂ O ₅	16,4%	45,1%	34,0%

Fonte: Rocha (2001)

O tipo A é mais utilizado contra fungos, o tipo B contra insetos e o tipo C é um intermediário contra fungos e insetos (ROCHA, 2001). O cobre é um fungicida, o arsênio é um inseticida e também previne fungos resistentes a cobre e o cromo fixa as soluções na madeira.

Além do alto espectro de toxicidade, o CCA apresenta ainda outras vantagens como o baixo custo, boa penetração, ausência de cheiro e a aceitação de pintura pela madeira após ser seca. Outra característica marcante é a coloração esverdeada inicial (a tonalidade do verde tende a diminuir com o tempo) da madeira tratada com CCA.

CCB

O CCB foi criado para substituir o CCA em ambientes onde há risco de envenenamento de seres humanos por volatilização do arsênio. Dessa forma, o elemento boro substitui o arsênio. Sua formulação típica é: 10,8% CuO, 26,4% CrO₃ e 25,5% H₃BO₃.

O CCB é muito criticado devido à baixa fixação do boro, embora essa desvantagem seja compensada pela boa penetração, chegando a atingir os cernes pouco duráveis de algumas espécies, como a *Picea* sp (RICHARDSON, 1993). Rocha (2001) cita o CCB como um dos produtos mais eficientes contra ataque de besouros *Lyctus* spp.

REFERÊNCIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6232:2013. **Penetração e retenção de preservativos em madeira tratada sob pressão**. 2013.

BAKER, A. J. Corrosion of metal in preservative-treated wood. In: HAMEL, M. **Wood protection techniques and the use of treated wood in construction**. Madison: Forest Products Research Society, 1988. 99- 101p.

AYDIN, I.; COLAKOGLU, G. Effects of surface inactivation, high temperature drying and preservative treatment on surface roughness and colour of alder and beech wood. **Applied Surface Science**. v. 252, p. 430-440, 2005.

BOSSARDI, K.; BARREIROS, R. M. Produtos naturais como preservantes para madeira de rápido crescimento - uma revisão. **Ciência da Madeira**, v. 2. n.2. p. 109-118, 2011.

FINDLAY, W. P.K. Preservative substances In: FINDLAY, W. R. K. **Preservation of timber in the tropics**. Whitchurch: Springer, 1985. 43-58p.

LEBOW, S. T., Wood preservation. In: **Wood handbook - wood as an engineering material**. General technical Report FPL -GTR-190. Madison: US Department of Agriculture, 2010. 508p.

MARTIN, S.; GRISWORLD, W. Human health effects of heavy metals. **Environmental Science and Technology Briefs for Citizens**, v. 15. p. 1-6, 2009.

RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. Londres: E & FN Spon, 1993. 226p.

ROCHA, M. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: FUPEF, 2001. 94p. Série didática.

SILVA, J. P. A. G. **Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira**. 2008. 146f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, 2008.

STUMPP, E. et al. 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.

TELES, C. D. M.; FERREIRA, O. P. Preservação da madeira: práticas brasileiras do passado e oportunidades de pesquisa para o futuro. **Resgate**, v. 18, n. 20, p. 71-87, 2010.

WALKER, J. C. F. Timber preservation In: WALKER, J. C. F. et al. **Primary wood processing**. Londres: Chapman & Hall, 1993. 285-320p.

WEISS, H. F. **The preservation of structural timber**. New York: McGraw-Hill, 1915. 392p.

YILDIZ, U. C. et al. Effect of the wood preservatives on mechanical properties of yellow pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. **Building and Environment**, v. 39, n. 9, p. 1071-1075, 2004.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 9

- Preservação da madeira
- Histórico dos preservantes da madeira
- Propriedades dos preservantes
- Toxidez
- Retenção
- Penetração
- Não alteração das características da madeira
- Não alteração de outros materiais
- Baixa toxidez para mamíferos
- Preservante oleoso
- Creosoto

Questões do capítulo 9

1. Qual é a utilidade em adotar processos de preservação da madeira?
2. Qual o conceito de preservação da madeira?
3. Quais propriedades deve apresentar um produto como bom preservante?
4. Uma característica importante do preservante é não alterar a madeira. Para os preservantes abaixo, indicar a cor da madeira resultante.
A- Creosoto
B- CCA
C - PCP
5. 5. Quais são os metais pesados mais utilizados nos preservantes de madeira que causam toxidez aos mamíferos?
6. 6. Quais são os principais grupos de preservantes?
7. 7. Quais são as vantagens na utilização do creosoto?
8. 8. Descreva os óleos naturais que podem ser utilizados como preservantes de madeira.

CAPÍTULO 10

INFLUÊNCIA DA ANATOMIA DA MADEIRA NA PRESERVAÇÃO

Pompeu Paes Guimarães
Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

Um conhecimento básico da anatomia da madeira é muito útil para compreender como a estrutura pode afetar o movimento dos preservativos dentro dela. As propriedades anatômicas da madeira possuem uma significativa influência na sua capacidade de penetração, a exemplo da variabilidade na densidade e porosidade que ocorre em lenhos inicial e tardio, cerne e alburno, e lenhos juvenil e adulto. Também se destaca a direção da grã, em que a penetrabilidade se relaciona com a direção de corte.

É importante compreender o comportamento da penetração dentro das diferentes espécies e diferentes tipos de madeira dentro de uma espécie, pois, junto com a capacidade de absorção, a penetração é um fator fundamental para que a madeira seja classificada quanto à sua tratabilidade.

GRÃ

Os tipos de células primárias na madeira são os traqueídeos/fibras (conífera e folhosa) ou vasos (folhosas) que podem ser pensados como um conjunto de tubos orientados no sentido da grã. O movimento através desses tubos (sentido da grã) é relativamente rápido. Caminhos para o movimento através da grã são mais limitados, pois o preservante tem

que se mover por pontuações relativamente pequenas entre as células axiais ou através das células do raio orientadas transversalmente. Pelo fato de as células do raio ser menos numerosas e mais curtas do que células longitudinais, elas não conseguem transportar substâncias de maneira rápida. Como resultado, a penetração de preservantes é geralmente muito maior no sentido da grã do que através dela. Mas, como a maioria dos produtos de madeira são muito mais longos do que largos, uma penetração adequada é mais dependente do movimento através da grã. Assim, é a diferença entre os fluxos através da grã que causa diferenças na tratabilidade. Muitas dessas diferenças são atribuídas ao tamanho, número e condições das pontuações. Geralmente, madeira de *Pinus* é de fácil tratamento porque as células dos raios possuem aberturas largas, enquanto madeira de *Picea* e *Pseudotsuga* possui pontuações pequenas (ARCHER; LEBOW, 2006).

ANÉIS DE CRESCIMENTO

Em regiões temperadas, a atividade cambial durante o ano (dormência e ativação) é induzida pela temperatura e/ou fotoperíodo. Nessas regiões, lenho inicial é formado no início da temporada de crescimento, quando a temperatura e fotoperíodo são favoráveis para um desenvolvimento ativo. Lenho inicial possui células mais curtas e menor densidade resultante de traqueídeos de parede fina ou fibras de maior diâmetro radial. Lenho tardio é formado no final do verão ou outono, quando a divisão e expansão das células cambiais diminuem. Lenho tardio tem uma densidade mais alta, resultado de traqueídeos/diâmetro das fibras radiais menores e paredes tangencias mais grossas. Possuindo lúmens mais estreitos, o lenho tardio é muito menos vulnerável ao estresse hídrico induzido pelo embolismo do xilema e, assim, aumenta a segurança da condução de água. A passagem de um tipo de célula da madeira para o outro é sempre abrupta entre as temporadas, como por exemplo, entre outono e primavera. Contudo, dentro de uma só

temporada, a passagem pode ser progressiva ou abrupta dependendo da espécie (PLOMION et al., 2001).

Em coníferas, a permeabilidade do alburno ocorre através dos lúmens dos traqueídeos, passando de um traqueídeo para o outro através das pontuações areoladas. Assim, tanto a penetração no sentido longitudinal quanto a no sentido tangencial dependem do tamanho e distribuição das pontuações. O fluxo longitudinal é maior do que o tangencial porque há menos pontuações por unidade de comprimento nas paredes longitudinais do que nas transversais (SIAU, 1984 apud USTA, 2005). O número de pontuações por traqueídeo pode variar de 50 a 300 no lenho inicial e de apenas 10 a 50 pequenas pontuações areoladas no lenho tardio. Assim, a permeabilidade tende a ser maior no lenho inicial do que no tardio, mas somente no caso de madeira verde. Esse comportamento se inverte no caso de madeira seca, devido ao fenômeno de aspiração que pode ocorrer nas pontuações areoladas.

Pontuações areoladas possuem uma estrutura presente em suas membranas chamada de torus. Quando o torus está aderido à abertura da pontuação, diz-se que ele está aspirado, situação que pode obstruir completamente a abertura da pontuação. Essa obstrução, que pode ser causada por pressões oriundas de tensões exercidas por fluídos nas aberturas da membrana (como por exemplo durante o processo de secagem), está intimamente relacionada com a permeabilidade em coníferas (CARVALHO, 2005). É a aspiração que torna as madeiras de *Abies* sp, *Picea* sp e *Pseudotsuga* sp difíceis de serem impregnadas com preservativos (USTA, 2005).

Células do lenho tardio possuem paredes mais grossas, que indicam que as membranas das pontuações têm menos possibilidade de aspirar e, assim, manter a permeabilidade alta (ARCHER; LEBOW, 2006). Como dito anteriormente, a secagem da madeira causa um aumento gradativo no número de pontuações aspiradas. Em certo ponto, todas as pontuações do lenho inicial sofrerão aspiração, enquanto 1/3 das

pontuações do lenho tardio continuam abertas (USTA, 2005). Essa diferença em tratabilidade algumas vezes resulta em tratamentos “zebrados” com faixas alterando lenho tardio tratado e lenho inicial não tratado (ARCHER; LEBOW, 2006).

ALBURO E CERNE

Um dos grandes fatores de variabilidade da madeira é as suas mudanças físicas e químicas decorrentes do crescimento da árvore. Essas mudanças produzem duas regiões distintas na árvore denominadas cerne e alburno, afetando sensivelmente a mobilidade de substâncias como preservantes e adesivos em peças de madeira (ALBUQUERQUE et al., 2005)

Ao cortar uma árvore madura, diferentes cores podem ser observadas, uma zona mais clara externa, alburno, e geralmente uma madeira mais escura, o cerne, situada no centro da árvore. Uma terceira zona, geralmente de cor intermediária - a zona de transição -, pode existir entre as duas partes. Alburno é conhecido como a parte funcional da árvore e é algumas vezes chamada de parte “viva” da árvore. Embora o alburno contenha células vivas, a maior parte de sua massa é formada de traqueídeos não vivos e fibras libriformes. Logo após o nascimento no câmbio, as células da madeira morrem, exceto as células parenquimáticas longitudinais e as do raio, que se mantêm vivas e funcionais por vários anos, quando morrem também. É quando este parênquima se torna disfuncional que o cerne é formado. Um papel específico para o cerne ainda não foi determinado, embora seja sugerido que sua função seria o suporte mecânico da árvore (PLOMION et al., 2001).

Na formação do cerne, as células que foram do alburno são lentamente preenchidas com materiais estranhos, como óleos, graxas e compostos fenólicos, derivados de processos metabólicos, os quais alteram várias características físico-químicas da madeira, entre elas, a permeabilidade (ALBUQUERQUE et al., 2005).

A taxa de porcentagem entre volume de madeira de alburno e de cerne em espécies de árvores é um fator chave quando se fala em tratabilidade. Na maioria das espécies, a madeira do alburno é mais permeável do que a do cerne, e em algumas, como em vários *Pinus*, a diferença pode ser grande. No cerne, há uma maior proporção de extrativos, que bloqueiam as células dos raios e incrustam as pontuações. As membranas das pontuações também são lignificadas e geralmente aspiradas. Dessa forma, a tratabilidade é basicamente função da quantidade de alburno na peça. Por outro lado, *Pseudotsuga* possui apenas uma camada fina de alburno e a maioria das peças retiradas dessa espécie possuem quantidades substanciais de cerne. Em outras espécies, como *Picea*, tanto o alburno quanto o cerne são difíceis de serem tratados com o cerne sendo apenas um pouco mais impermeável do que o alburno. Embora o cerne geralmente tenha maior durabilidade natural do que o alburno, uma peça com grande quantidade de alburno é preferida para muitos usos, já que a durabilidade do alburno tratado é consideravelmente maior do que a de um cerne não tratado. A dificuldade de tratar o cerne levou à prática de calcular a retenção de preservantes em base do volume de alburno na peça tratada. A quantidade de alburno pode variar muito e geralmente é menor do que a de cerne não tratado. Em alguns casos, é recomendado que a retenção específica deva considerar não só o volume de madeira tratada, mas também a quantidade de madeira tratada (volume x densidade básica), sendo que material mais denso requer uma quantidade maior de preservantes (ARCHER; LEBOW, 2006).

POROSIDADE

Folhosas têm uma estrutura mais complexa do que coníferas, sendo a penetração e a distribuição de preservantes geralmente afetadas negativamente. O principal fluxo ocorre nos vasos - um conjunto de células sobrepostas (elementos vasculares) no sentido longitudinal,

formando uma estrutura de tubos de forma contínua e de comprimento indeterminado, cuja função é a condução ascendente de líquidos ou seiva bruta na árvore. Quando vistos na seção transversal, os vasos são denominados “poros”. Os vasos são estruturas que ocorrem na quase totalidade das folhosas. Eles podem apresentar diferentes formatos e suas características estão relacionadas ao estágio evolutivo do vegetal e às condições ambientais (SILVA, 2005). O tamanho e quantidade de poros na madeira será um fator determinante para estabelecer a permeabilidade do material. Quanto maior a porosidade da madeira, maior será o volume de penetração do produto preservante. A importância desse fator é dada pela equação de Poiseville (SGAI, 2000):

$$Q = \frac{\pi R^4 * \Delta P}{8\eta L}$$

Sendo: Q, a vazão; R, o raio do poro; ΔP , o diferencial de pressão; η , a viscosidade do líquido; e L, o comprimento da madeira na direção do fluxo

Para permitir a circulação de substâncias líquidas e a comunicação entre si, os elementos vasculares possuem extremidades perfuradas denominadas *placas de perfuração*. Além da placa de perfuração, os elementos de vaso apresentam, em suas paredes laterais, uma área de comunicação com as células vizinhas, denominada pontuações. Podem ocorrer pontuações entre vasos, entre vasos e células de raio e entre vasos e células do parênquima longitudinal, mas, nas áreas de contato entre vaso e fibra, muito raramente existe ou inexistente a pontuação (SILVA, 2005).

Conexões entre elementos de vasos são eficientes, mas os vasos propriamente ditos possuem comprimento limitado. Algumas espécies possuem um sistema muito ramificado e interconectado (*Fagus* spp.), já outras, possuem vasos retos e pouco conectados (*Eucalyptus* spp). Além

disso, há um fluxo limitado nas fibras adjacentes. A proporção de tecido de vasos em folhosas também varia muito, entre 15% e 50% (ARCHER; LEBOW, 2006). Por isso, a penetração de substâncias preservantes é função da distribuição dos vasos, chamada também de porosidade.

Os vasos podem ser classificados em três tipos de acordo com sua porosidade: difusa, com poros distribuídos bem regularmente ao longo dos anéis de crescimento (a maioria das madeiras brasileiras apresenta essa distribuição); em anéis, quando há concentração de poros de diâmetro maior no início do período vegetativo; ou semidifusa, quando os poros se distribuem do modo intermediário entre a porosidade em anel e difusa (SILVA, 2005).

Folhosas com porosidade em anel possuem vasos mais largos no lenho inicial do que no lenho tardio, por exemplo, *Eucalyptus delegatensis* não possuem vasos no lenho tardio para absorver preservantes. Existem poucos sinais de movimento lateral de creosoto dentro de madeira de Eucalipto e o volume dos vasos pode ser definido precisamente pelo conteúdo do produto. No caso do uso de CCA, a distribuição também é não uniforme com sais de cobre tendendo a se manter perto dos vasos. Tal material pode falhar em contato com o solo mesmo com alta quantidade de preservante, já que a distribuição é ruim e os fungos poderão atacar as fibras não tratadas que estão longe das imediações dos vasos. Contudo, a suscetibilidade das folhosas contra fungos de podridão mole não é simplesmente uma questão de má distribuição do preservante, mas sim pelo fato de folhosas atenderem melhor às necessidades desses fungos (ARCHER; LEBOW, 2006).

TILOSE

Embora tilose possa ocorrer em alburno, são mais abundantes no cerne e reduzem drasticamente a permeabilidade. Tiloses são encontradas em metade das espécies de folhosas. Outras espécies secretam resina e goma que podem selar os vasos (ARCHER; LEBOW, 2006).

Os tilos formam-se quando uma ou mais células parenquimáticas, adjacentes a um elemento de vaso ou traqueídeo inativo, se projetam através das pontuações para o lúmen do elemento do vaso ou traqueídeo, obliterando-o. A ocorrência dos tilos evita o fenômeno da cavitação (formação de bolhas de ar), que impede o transporte de água pelos elementos condutores contíguos ainda ativos. Os tilos podem possuir paredes delgadas ou muito espessas (esclerificadas) e apresentar ou não conteúdo de amido, cristais, substâncias fenólicas, resinas e gomas. É um processo irreversível que, esporadicamente, pode acontecer nas fibras. Os tilos ocorrem apenas nos elementos de vaso com diâmetro superior a 80 µm e com pontuações cujas dimensões sejam maiores que 3 µm. Em elementos de vaso com diâmetro e pontuações inferiores a tais dimensões, formam-se depósitos de gomas (CARVALHO, 2005).

Embora os vasos sejam considerados estruturas de maior importância em relação à condução, eles não contribuem de maneira eficiente para a condução de CCA na espécie tropical *Brosimum rubescens* em função do grande número de vasos obstruídos por tiloses no cerne e em diversas regiões do alburno (SALES-CAMPOS et al., 2003).

FIBRAS

As fibras constituem de 20% a 80% da madeira das folhosas e têm a função básica de suporte da árvore. Fibras geralmente não são tidas como elementos importantes na penetração inicial das soluções preservantes, mas sua permeabilidade relativa passa a exercer influência na extensão dos líquidos acumulados em vasos ou em outros pontos de concentração, principalmente se há presença de tilose.

MASSA ESPECÍFICA

Ainda relacionada com a permeabilidade e porosidade, outra característica da madeira importante é sua massa específica, uma vez que o

inverso natural da porosidade é baseado no fato de que o tecido lenhoso, produzido principalmente para resistência, possui uma densidade mais elevada e, portanto, apresenta paredes celulares mais espessas, lúmens reduzidos, e pontuações reduzidas. Essas características tendem a limitar a mobilidade de substâncias na estrutura lenhosa. Quanto mais densa for a madeira, menos permeável será (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

REFERÊNCIA

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e ambiente**, v.7, n.1, p.158-166, 2000.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JÚNIOR, S. Adesão e adesivos In: IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 1-30p.

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

CARVALHO, A. M. M. L. **Estrutura anatômica e química da madeira**. (Apostila) Viçosa: Departamento de Engenharia Florestal, UFV, 2005. 44p.

PLOMION, C.; LEPROVOST, G.; STOKES, A. Wood formation in trees. **Plant physiology**, v. 127, p. 1513-1523, 2001.

SALES-CAMPOS, C; VEANEZ, B. F.; MENDONÇA, M. S. 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**, v. 27, n. 6, p. 845-853, 2003.

SGAI, R. D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeira**. 2000. 130f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de engenharia civil, UNICAMP, 2000.

SILVA, J. C. **Anatomia da madeira e suas implicações tecnológicas**. (Apostila) Viçosa: Departamento de Engenharia Florestal, UFV, 2005. 140p.

USTA, I. A review of the configuration of bordered pits to stimulate the fluid flow. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, v. 7, n. 2, p. 121-132, 2005.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 10

- Grã
- Anéis de crescimento
- Pontuações
- Tratamento zebrado
- Alburno e cerne
- Permeabilidade
- Porosidade
- Tilose
- Fibras
- Massa específica

Questões do capítulo 10

1. Descreva sobre a influência das fibras das folhosas no processo de preservação.
2. O que é um tratamento “zebrado” e por que ele ocorre?
3. Ordene os sentidos da madeira (longitudinal, tangencial e radial) de acordo com a facilidade de penetração de substâncias preservantes.
4. Na prática, a penetração em qual sentido é a mais importante para preservação de madeira e por quê?
5. Por que a madeira do alburno é mais permeável do que a do cerne?
6. Qual a diferença entre volume e quantidade de madeira tratada?

CAPÍTULO 11

MÉTODOS DE PRESERVAÇÃO

Douglas Edson Carvalho

Pedro Lício Loiola

Pompeu Paes Guimarães

Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

O método de tratamento da madeira pode ser dividido em duas categorias. A primeira, denominada passiva, que se baseia na propriedade da madeira de absorver o preservante, sendo a quantidade de produto absorvido irregular e não controlável. Nessa primeira classe de tratamento, incluem-se os tratamentos de pincelagem, aspersão, pulverização e imersão. A segunda classe, a ativa, baseia-se em métodos artificiais (basicamente vácuo e pressão), permitindo um maior controle da quantidade de produto absorvido pela madeira. Esse tipo de sistema inclui todos os métodos que utilizam a autoclave (SILVA, 2008).

TRATAMENTOS PASSIVOS

PINCELAMENTO, ASPERSÃO E PULVERIZAÇÃO

No pincelamento, o preservante é aplicado manualmente com pincel e/ou rolo e o líquido penetra na madeira por capilaridade. Para maior eficácia do tratamento, deve-se aplicar o produto em duas ou mais demãos (SILVA, 2008). Os preservantes preferidos são os oleossolúveis por apresentarem maior fixação e serem mais resistentes à lixiviação (ROCHA, 2001).

Os tratamentos de aspersão e pulverização são muito semelhantes. Neles, a madeira recebe uma “chuva” de preservantes, assegurando a distribuição regular por todas as superfícies da peça. Sendo a diferença básica a forma de aplicação, no caso da aspersão, a peça é levada para uma câmara própria para o tratamento e a pulverização é feita por pulverizadores manuais ou mecânicos.

A pulverização, dependendo do tipo de preservante, é uma alternativa para proteção superficial da peça contra agentes bióticos e fotodeterioração. A pulverização é mais eficaz do que o pincelamento, sendo que a aplicação de uma demão com o pulverizador pode se equiparar a três demãos do pincelamento (SILVA, 2008). Mesmo quando o mesmo volume de preservante é usado, os resultados são diferentes. O solvente se perde entre as cerdas do pincel e o efeito de saturação nunca ocorre, assim rachaduras e juntas não sofrem tratamento e a ação preservante se concentra apenas na superfície, onde é suscetível à lixiviação e volatilização (RICHARDSON, 1993).

Outra vantagem da pulverização (e da aspersão) é que pode ser utilizada no tratamento de peças já montadas, que contenham partes difíceis de serem atingidas pelo pincel. Entretanto, a pulverização tem maiores problemas quanto à inalação e/ou absorção do produto preservante pelo aplicador. Assim, requer um maior cuidado com os EPIs, exigindo o uso de máscaras (ROCHA, 2001).

Esses métodos são geralmente de menor eficácia e só devem ser usados em peças de pequenas dimensões quando o risco de ataque de fungos ou insetos for baixo ou quando o uso do produto de madeira seja curto. A penetração do preservante é sempre muito pequena (SILVA, 2008). Obviamente, a porosidade da madeira terá grande influência na penetração e retenção, mas no caso da pulverização e pincelamento, a textura da superfície também deve ser levada em consideração. Peças lixadas com lixas grossas terão maior retenção de preservativos de

baixa viscosidade do que as que foram lixadas com lixas finas, ou seja, possuírem superfície mais lisa (RICHARDSON, 1993).

Esses métodos simples muitas vezes são a única opção viável, principalmente quando a madeira já está em uso ou quando as peças são pequenas. Também podem ser usados como um método complementar, quando peças já tratadas são redimensionadas. Nesse caso, o tratamento ocorre em superfícies recém-expostas (FAO, 1986).

IMERSÃO SIMPLES E PROLONGADA

No método de imersão, as madeiras são mergulhadas em recipientes de tratamento contendo o adequado produto preservante, à temperatura ambiente, durante o tempo considerado necessário para se conseguir a penetração e absorção desejadas (figura 11.1). O tratamento termina com a secagem da madeira para que ocorra a evaporação do solvente (SILVA, 2008).

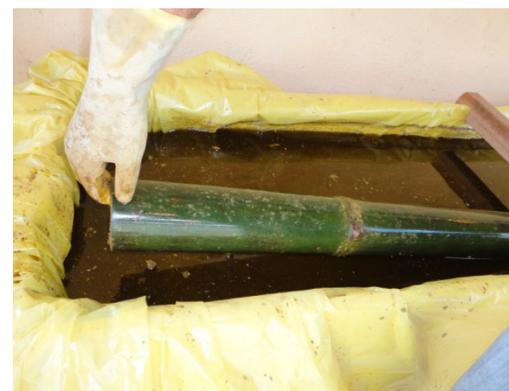


Figura 11.1. Processo de imersão prolongada do bambu *Dendrocalamus giganteus* em solução CCB.

Fonte: Autoria própria (2016)

A imersão simples é aplicada em madeiras estruturais, e consiste em um banho de apenas alguns segundos (no máximo 10 minutos) na solução preservante. É um tratamento um pouco mais caro do que o pincelamento ou a pulverização, mas apresenta a vantagem de penetrar melhor em rachaduras ou outras aberturas (ROCHA, 2001). Uma pulverização seria equivalente a uma imersão de 10 a 15 segundos (RICHARDSON, 1993).

A penetração depende da espécie e da solução, por exemplo, no caso de um preservante oleoso aplicado em uma madeira de alburno de *Pinus ponderosa*, a penetração varia entre 25 mm e 76 mm. A penetração também está relacionada ao sentido: no sentido transversal, será bem superficial (menor do que um milímetro) (LEBOW, 2010).

Na imersão prolongada, a madeira fica submersa no preservante por um período mais longo de tempo, podendo permanecer por semanas. A penetração é maior do que no tratamento de imersão simples, mas não é diretamente proporcional ao tempo do tratamento (SILVA, 2008), sendo que em imersões de peças por semanas, a maior penetração ocorrerá nos dois ou três primeiros dias (ROCHA, 2001).

Recomenda-se preservantes de baixa viscosidade para imersões rápidas, uma vez que em poucos minutos ou horas, eles terão a penetração semelhante à madeira imersa em preservativos de maior viscosidade por vários dias (RICHARDSON, 1993).

As vantagens da imersão são várias: é simples, de baixo custo, e atinge excelentes valores de penetração e retenção, se o tempo adequado for respeitado.

BANHO QUENTE-FRIO

O processo do banho quente-frio requer madeira seca e sem casca. O tratamento geralmente é realizado em dois tanques, um para o banho quente e outro para o banho frio, mas há casos onde um mesmo tanque é utilizado trocando-se apenas os líquidos. O banho quente consistirá

na imersão total das peças pelo período de 2 horas, no preservativo (geralmente creosoto) aquecido a 100°C. Durante a imersão, haverá certa absorção de preservativo e ocorrerá uma expansão do ar contido nas cavidades da madeira (GALVÃO et al., 2004).

A seguir, as peças de madeira são rapidamente colocadas em posição vertical na vasilha contendo o preservativo frio. O banho frio terá a duração de 4 horas e provocará uma rápida contração do ar aquecido. Isso ocasionará vácuo e forçará mais absorção com maior penetração de preservativo (GALVÃO et al., 2004).

É um método limitado, uma vez que determinados preservantes não podem ser aquecidos (como é o caso dos aquosos e solventes orgânicos). Nesses casos, a madeira pode ser previamente tratada com vapor, ar ou água quente e depois rapidamente transferida e imersa no tanque com o preservante em temperatura ambiente (SILVA, 2008).

Embora tenha suas limitações, esse tipo de tratamento apresenta uma grande vantagem quanto ao custo, pois além do baixo investimento inicial em equipamentos, não necessita de mão de obra qualificada para sua operação. Além disso, em algumas situações, seus resultados podem ser tão eficientes ou melhores do que os métodos ativos. Abey-singhe (2011), por exemplo, comparou três métodos de preservação da madeira de *Hevea brasiliensis* e concluiu que o método do banho quente-frio foi o mais indicado no caso da madeira verde, apresentando maior retenção e penetração de preservantes e melhor resultado no teste contra deterioração de cupins.

PROCESSO POR DIFUSÃO

Consiste na imersão total das peças de madeira ainda no estado verde em soluções hidrossolúveis. A diferença entre as concentrações da solução e da seiva provoca a migração de íons da solução para o interior da madeira até o estabelecimento de um equilíbrio. O teor de umidade elevado da madeira é importante para que não haja formação de bolhas

de ar que venham a impedir o movimento capilar. Também é importante que as peças sejam colocadas na sombra após o tratamento por um período de aproximadamente 4 meses, para evitar que a madeira seque rapidamente e que os íons do preservante migrem (ROCHA, 2001).

Alguns produtos preservantes utilizados no processo por difusão são comercializados em forma de pasta. É o caso de produtos à base de fluoreto de sódio. O preservativo em forma de pasta é aplicado nas superfícies das peças de madeira que são empilhadas compactadamente e cobertas com lona plástica por cerca de 30 dias. Em casos de peças utilizadas em contato com o solo, a pasta pode ser aplicada na região de afloramento, ou seja, 50 cm abaixo e 10 cm acima da linha de terra. Após a aplicação, o local tratado é revestido com material impermeável para impedir que a pasta se perca no solo. Esse processo também é conhecido como bandagem (GALVÃO et al., 2004).

DUPLA DIFUSÃO

Na difusão dupla, pode-se utilizar madeira verde ou seca. Primeiramente, as peças são imersas em uma solução química e, posteriormente, em outra solução pelo mesmo período de tempo. As duas soluções difundem-se através da madeira, reagindo e formando um precipitado insolúvel, portanto, de difícil lixiviação, com propriedades preservantes. O tempo de imersão pode ser superior a 15 dias (GALVÃO et al., 2004).

Como exemplo deste método, pode-se citar o tratamento com sulfato de cobre e cromato de sódio. Inicialmente, a peça é submersa em solução de sulfato de cobre e posteriormente, em cromato de sódio. As duas substâncias irão reagir dentro da madeira e originar um terceiro produto: o cromato de cobre, que é insolúvel em água. Entre outras duplas de produtos que podem ser usados na dupla difusão, estão o fluoreto de sódio e sulfato de cobre, com ou sem a inclusão de compostos de arsênio (ROCHA, 2001).

SUBSTITUIÇÃO DE SEIVA

É um processo exclusivamente empregado para madeiras roliças, verdes, recém-abatidas, com no máximo 48 horas entre o abate e o início do tratamento, pois devem conter elevado teor de umidade (SGAI, 2000). O método consiste em colocar as toras de madeiras na posição vertical em um recipiente com a solução preservante (geralmente, sais hidrossolúveis). À medida que a água da seiva da madeira evapora, a substância preservativa é drenada por capilaridade para o interior da peça. O processo é interrompido quando atinge-se a retenção desejada. A superfície líquida no tanque pode ser protegida contra evaporação aplicando-se uma camada de óleo, cujo volume deve ser completado a cada 2 ou 3 dias. As peças podem ser com ou sem casca, lembrando que o processo é mais rápido com a madeira descascada. O tratamento deve ser realizado em local ventilado e protegido da chuva. Após o tratamento, a madeira é descascada (figura 11.2), se for o caso, e submetida à secagem (ROCHA, 2001).



Figura 11.2. Toretas de *Eucalyptus grandis* preparados para o método de substituição de seiva.

Fonte: Autoria própria (2016)

Comparando o método de imersão prolongada e o de substituição de seiva utilizando o CCB no tratamento de mourões de bracatinga (*Mimosa scabrella*), observou-se melhor retenção e penetração no método de substituição (GALVÃO et al., 2004).

BOUCHERIE

O Processo Boucherie foi desenvolvido em 1839 e sua tecnologia ainda serve de base em métodos usados até os dias de hoje (FREEMAN et al., 2003). É uma variante do processo de substituição da seiva, onde as peças já preparadas são colocadas no chão com uma das extremidades levemente inclinada. O preservativo é alimentado por um tanque elevado, através de uma tubulação que se comunica com a extremidade elevada por meio de uma capa de borracha ajustada ao diâmetro da tora. A pressão hidrostática da solução força o preservativo ao longo da peça, deslocando a seiva em direção à extremidade baixa (SGAI, 2000). Pesquisa feita com madeira de Algaroba indicou que o ângulo de inclinação da peça de madeira não afeta a distribuição, a penetração e a retenção do preservativo (GALVÃO et al., 2004). A solução pode penetrar até 1,5 metros por dia. O processo acaba quando há gotejamento do extrativo na extremidade baixa (figura 11.3). Após o tratamento, as toras são descascadas e podem ainda receber um tratamento superficial por imersão. Geralmente, o preservante utilizado é o sulfato de cobre (ROCHA, 2001). É um método pouco difundido no Brasil.



Figura 11.3. Processo Boucherie aplicado em bambu.

Fonte: Autoria própria (2016)

TRATAMENTOS ATIVOS

Os processos de impregnação com pressões superiores à atmosférica são os mais eficientes em razão da distribuição e penetração mais uniforme do preservante na peça tratada. Além disso, nos processos com pressão, há maior controle da quantidade de preservante absorvido, resultando na garantia de uma proteção efetiva com economia do produto (ROCHA, 2001).

Em contraposição, tais processos apresentam algumas desvantagens, como o custo do equipamento e de sua manutenção, a necessidade de uso de mão de obra mais especializada e o custo extra de transporte entre a usina de tratamento e a indústria que irá utilizar a peça (ROCHA, 2001).



Figura 11.4. Madeira de *Eucalyptus* sp preparada para tratamento ativo (esquerda) e autoclave utilizada para tratamento sob pressão (direita)

Fonte: Autoria própria (2016)

PROCESSO DE CÉLULA CHEIA

Um dos principais avanços na indústria de preservação de madeira ocorreu em 1838, quando o creosoto passou a ser impregnado na madeira sob pressão em um processo patenteado por John Bethell. Conhecido como processo de Bethell ou célula-cheia, foi a primeira vez que utilizou-se pressão no tratamento de madeira e continua, até hoje, sendo a base de toda as operações modernas de preservação. O processo de Bethell utiliza um período de vácuo inicial seguido do enchimento de um cilindro com preservativo e aplicação de um período de pressão para injetar o preservativo (FREEMAN et al., 2003).

O vácuo inicial, sempre acima de -85 kPa, tem a função de retirar a maior parte do ar presente na madeira. O vácuo é mantido por no mínimo 15 minutos. A solução é então adicionada, sendo o vácuo mantido, e quando o tanque está cheio, uma pressão hidráulica é aplicada gradualmente. Geralmente, são necessários cerca de 20 minutos até que a pressão desejada de 1.400 kPa seja alcançada. A pressão total é mantida entre 1 e 3 horas, dependendo da facilidade de impregnação da madeira, até que a taxa de absorção do preservativo torne-se muito baixa (menor do que 1 litro por minuto para cada metro cúbico de

madeira). Nesse ponto, o preservativo não absorvido é drenado para que possa ser reaproveitado (WALKER, 1993).

Uma modificação nos dias atuais, chamada de modificação de célula cheia, utiliza um vácuo inicial de baixa intensidade e curta duração junto com um período de vácuo final. A ideia de aplicar o vácuo final é para evitar o “sangramento” excessivo. Sangramento, ou *kickback*, é o vazamento do preservante que não fica retido na parede celular. O vácuo inicial não é suficiente para a retirada de todo o ar na madeira e parte dele é mantido comprimido durante o processo. No final do tratamento, esse ar tende a se expandir e deslocar parte da solução.

PROCESSO DE CÉLULA VAZIA

O alto preço do petróleo tornou o uso do creosoto caro, então, um processo de célula-vazia foi desenvolvido por Max Rüping da Alemanha, e patenteado em 1902. Esse processo utiliza uma aplicação inicial de pressão de ar antes de encher os cilindros e aplicar alta pressão para injetar o preservante. Após liberar a pressão, o excesso de preservativo nos lúmens das células é expelido, resultando em uma retenção muito menor do que os tratamentos de célula-cheia. Para completar o processo, ainda é aplicado um período longo de vapor e vácuo após a retirada do preservativo. Essa etapa reduz a quantidade de ar preso e, conseqüentemente, o vazamento de preservativos, gerando um tratamento mais limpo do que o de célula-cheia convencional. Um segundo tratamento de célula-vazia foi patenteado por C.B. Lowry em 1906 utilizando a pressão atmosférica como pressão inicial. Ambos os processos impregnam a madeira com uma quantidade relativamente grande de creosoto e, em seqüência, retira-se parte do óleo, dando uma retenção final de preservativo semelhante ao do processo Bethell (FREEMAN et al., 2003).

Esse processo é usado quando é necessária uma boa penetração, mas é aceitável uma baixa retenção para madeiras que não serão expostas

à situação de alto risco de deterioração. Sem o uso do vácuo inicial, o processo tem início com a aplicação da pressão hidráulica de 1.400 kPa, mantida até a madeira ser completamente tratada. Então, a pressão é liberada e se aplica um vácuo para evitar o sangramento do preservativo, quando o ar comprimido volta a se expandir e remove parte da solução. Em uma madeira permeável, a retenção pode chegar a somente 60% (WALKER, 1993).

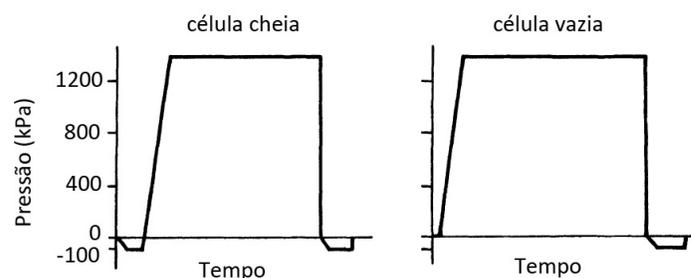


Figura 11.5. Gráfico Pressão-Tempo dos processos de célula-cheia e de célula-vazia.

Fonte: Autoria própria (2016).

REFERÊNCIA

- ABEYSINGHE, U. M. **Pressure and non pressure preservation methods for Rubber (*Hevea brasiliensis*) wood treatment by Boron preservatives.** 2011. 106f. Trabalho de conclusão de curso. Department of Forestry and Environment Science. University of Sri Jayewardenepura, 2011.
- FREEMAN, M., H. et al. Past, present, and future of the wood preservation industry. **Forest Products Journal**, v. 53, n.10, p 8-15, 2003.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS (FAO). **Wood preservation manual.** FAO Forestry Paper, v. 76, 1986. 152p.
- GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. **Processos práticos para preservar a madeira.** Colombo: Embrapa Florestais, 2004. 49p.
- LEBOW, S. T. Wood preservation. In: **Wood handbook - wood as na engineering material.** General technical Report FPL -GTR-190. Madison: US Department of Agriculture, 2010. 508p.
- RICHARDSON, B. A. **Wood preservation.** Londres: E & FN Spon, 1993. 226p.
- ROCHA, M. **Biodegradação e preservação da madeira.** Curitiba: FUPEF, 2001. 94p. Série didática.
- SGAI, R. D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeira.** 2000. 130f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de engenharia civil, UNICAMP, 2000.

SILVA, J. P. A. G. **Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira.** 2008. 146f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, 2008.

WALKER, J. C. F. Timber preservation. In: WALKER, J. C. F. et al. **Primary wood processing.** Londres: Chapman & Hall, 1993. 285-320p.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 11

- Métodos de preservação da madeira
- Preservação passiva
- Pincelagem
- Aspersão
- Pulverização
- Imersão
- Banho quente-frio
- Processo de difusão
- Difusão dupla
- Substituição de seiva
- Boucherie
- Preservação ativa
- Processo de célula-cheia
- Processo de célula-vazia
- Vácuo e pressão
- Autoclave

Questões do capítulo 11

1. Em quais ocasiões devem-se escolher os métodos de preservação passiva?
2. Qual a diferença entre os métodos de aplicação por aspersão e pulverização?
3. Qual o motivo da perda de eficiência na aplicação do preservante por pincelamento?
4. Quais as desvantagens para o operador quando se usa os métodos de pulverização ou aspersão?
5. Quanto maior o tempo de exposição da madeira em imersão prolongada maior será a absorção do preservante?

6. Qual a relação entre a viscosidade do preservante e o tipo de processo de imersão utilizado para madeira?
7. Descreva como proceder o banho quente-frio.
8. Em quais situações pode-se utilizar o processo de substituição de seiva?
9. Quais são as vantagens e desvantagens dos processos de preservação ativa?
10. Qual a diferença entre os processos de célula-cheia e célula-vazia?

TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA PROTEÇÃO DA MADEIRA

Kleane Targino Oliveira Pereira
Pompeu Paes Guimarães
Rafael da Rosa Azambuja
Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

Grande quantidade de madeira sempre foi muito usada na construção de casas, e vários detalhes estruturais deixam claro que houve tentativas de protegê-la contra agentes destrutivos com o intuito de prolongar sua vida útil. Construções sobre pilares na Idade da Pedra, os templos Maias, e as igrejas de madeira da Noruega, conhecidas como Stave Churches, em pé há mais de 800 anos, são exemplos vivos de um desenvolvimento contínuo de métodos de preservar madeira em estruturas (UNGER et al., 2001).

O preconceito contra a habitação de madeira é de origem fundamentalmente cultural em consequência do desconhecimento da tecnologia da madeira no Brasil. Algumas vantagens inerentes ao material - facilidade de manuseio, material proveniente de reserva renovável, grande resistência mecânica, em vista da baixa densidade, etc. - são utilizadas como argumentação contra os preconceitos existentes no Brasil, entretanto, esses argumentos devem ser cautelosamente utilizados. A argumentação inconsistente contribui tanto quanto os preconceitos para a manutenção do atual estado de desenvolvimento tecnológico, pois também caracteriza o desconhecimento da tecnologia da madeira (BITTENCOURT; HELLMEISTER, 1995).

Aplicar medidas construtivas que garantam uma boa preservação dos elementos em madeira constitui um exercício de proteção passiva de elevada importância. Aprender com os erros, eliminando-os, projetar de forma a reduzir a gravidade dos efeitos dos agentes atmosféricos e evitar agentes biodeterioradores é uma atividade de primordial importância. Essas medidas fazem referência às eliminações de umidade provenientes de chuvas, ou de peças de madeira em contato com o solo ou muros. O objetivo primordial corresponde à eliminação de todas as fontes de umidade não controladas, incluindo aquelas já impregnadas na madeira afetada (SILVA, 2008).

Hoje, arquitetos e engenheiros estão encontrando gradativamente novas possibilidades para o uso da madeira e seus materiais derivados em construções cada vez mais verticais. Nos Estados Unidos, o *International Building Code* (ICB), documento de normas e recomendações para boas práticas na área de construção civil, permite construções de madeira de cinco andares ou mais, se houver uso de mezaninos e terraços. Em outros países, esse limite vertical já foi ultrapassado com uso de novos produtos de madeira industrializada, como o CLT (*Cross laminated timber*), por exemplo, já existem edifícios construídos com madeira com mais de oito andares na Austrália, Áustria e Inglaterra.

Contudo, uma questão que ainda não foi plenamente resolvida nesse novo tipo de sistema construtivo é a exposição da madeira aos agentes deterioradores. No caso de painéis expostos à umidade, por exemplo, o surgimento de fungos manchadores e emboloradores pode acontecer logo nas primeiras semanas de exposição (figura 12.1).



Figura 12.1: Edifício desenvolvido pela Killian Pacific em Vancouver-WA (Estados Unidos) com presença de fungos manchadores no forro do teto.
Fonte: A autoria própria (2016)

A remediação encontrada pela construtora norte americana Killian Pacific para os problemas de fungos emboloradores foi o revestimento das madeiras mais expostas, como por exemplo, a fachada exterior do prédio. Nos casos de ataques mais avançados de fungos manchadores, a empresa encarrega funcionários de lixar e limpar as áreas afetadas, embora essa seja uma atividade que tende a ser economicamente inviável, uma vez que as horas de mão de obra passam a ser subutilizadas em uma função supérflua. O revestimento é uma solução muito usada também em construções de menores portes, porém privam a obra da beleza estética da madeira (figura 12.2) e, por isso outras medidas devem ser estudadas.



Figura 12.2: Vista do exterior de uma casa de madeira revestida em Uji, Japão.
Fonte: Autoria própria (2016)

PRINCÍPIOS PARA CONSTRUÇÃO EM MADEIRA

Os textos técnicos divergem em suas listas de princípios para construção em madeira. Dependendo dos objetivos específicos e da metodologia adotada pelos autores, diferentes aspectos são citados como recomendações, regras ou princípios. Porém, o princípio básico para construção em madeira foi bem resumido em apenas uma frase pelo Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA), 1990, citado por Bittencourt e Hellmeister (1995):

“A água não deve penetrar na madeira, mas se penetrar, deve ser eliminada rapidamente.”

A ênfase dada à ação da água líquida ou vapor na construção em madeira não é excessiva. Sem nenhuma dúvida, esse fator e os fenômenos dele decorrentes, físico (variação dimensional) e deterioração, são os pontos chaves na concepção e execução em madeira.

TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA EVITAR UMIDADE

BEIRAIS

Uma maneira de proteger a madeira da umidade e, assim, conservar a casa é se usando beirais. Beiral é a prolongação do telhado que tem como finalidade proteger as paredes da chuva, de modo que águas pluviais não escorram pela fachada das construções. Devem ter pelo menos 60 cm, mas o ideal é que tenham 1,2 m (Lengen, 2004).

CALHAS

Calhas são canais abertos que recebem o escoamento de telhados, terraços e similares. A calha de beiral é semicircular e é empregada quando se quer evitar a queda livre das águas dos telhados sobre a área adjacente à construção (LANNES, 1992).

Contudo, vazamentos em calhas são bastante comuns, por isso, devem ser feitas inspeções constantes, principalmente após o período de chuva. Alguns vazamentos podem ocorrer devido ao uso excessivo ou desgaste natural como soldas danificadas e ferrugem de pregos. Outros vazamentos ocorrem no uso de peças inadequadas de acordo com a precipitação média da região.

Quando se tem um caimento de 1%, a seção útil da calha deverá possuir no mínimo 1 cm² de seção por m² de projeção horizontal do telhado, mas é necessário levar em consideração situações especiais: para áreas muito pequenas, esse valor é pouco e, para áreas grandes, é excessivo (VERÇOSA, 1991 apud SOUZA, 2008). Também é comum ocorrer o caimento invertido, quando em chuvas fortes ocorrerá o extravasamento de água.

Outro possível problema são calhas com o desenho mal feito. O lado interno delas pode estar mais baixo que o externo, onde haverá extravasamento para dentro no caso de transbordo (SOUZA, 2008).

Além de eventuais reparos, as calhas exigem um trabalho de limpeza. É normal que haja o entupimento devido ao acúmulo de folhas de árvores, papéis e até ninhos de passarinhos.

IMPERMEABILIZAÇÃO

Selantes são materiais impermeabilizantes à base de polímeros que visam a garantir a estanqueidade dos produtos nos quais são aplicados. Resina epoxy clara é um dos selantes mais utilizados para madeira, que deve ser aplicada especialmente na seção transversal. Os selantes possuem papel fundamental para a manutenção de modernas fachadas impermeáveis à água. Técnicas de construções recentes empregam paredes que consistem em grandes painéis anexados a armações de aço ou concreto reforçado. Os espaços vazios ou as juntas entre esses painéis são geralmente preenchidos com um selante elastomérico, aplicado no local, com o intuito de vedar os espaços vazios e acomodar movimentos. O selante deve ser capaz de exibir boas propriedades adesivas e coesivas, garantir que a estrutura seja impermeável à água, prevenir a perda de calor e permitir a expansão e compressão dos elementos da construção que expandem e contraem termicamente (LOUREIRO et al., 2009).

Estruturas de cobertura também devem ser impermeabilizadas. Geralmente, usa-se o produto chamado de manta impermeabilizante. Essas mantas são utilizadas na subcobertura, sendo de polietileno expandido com uma das faces aluminizada, para que ocorra uma barreira radiante e funcione também como isolante térmico (SZUCS et al., 2004).

BLOQUEIO DO SENTIDO TRANSVERSAL DA MADEIRA

Como foi visto nos capítulos anteriores, alguns agentes deterioradores atacam inicialmente as aberturas dos poros e se desenvolvem preferencialmente no sentido longitudinal. Os fungos manchadores, por

exemplo, avançam até 5 mm/dia enquanto o crescimento no sentido radial se limita a 1 mm/dia e no sentido tangencial em apenas 0,5 mm/dia (MARTINS, 2007). Outro agente deteriorador que necessita dos poros como porta de entrada para a deterioração são os besouros *Lyctus*, que depositam seus ovos em vasos de madeira de folhosas que suportam o tamanho de seus ovopositores (BLACHETTE, 1995).

Assim, uma técnica construtiva simples que deve ser considerada quando a madeira é empregada é o bloqueio do sentido transversal da peça. A proteção da madeira pode ser feita com o uso de tintas ou piche, ou, como ilustrado na figura 12.3, pelo uso de outros materiais mais resistentes à deterioração, como metal ou plástico. Lengen (2004) apresentou uma forma alternativa de proteger o sentido transversal da madeira usada para a construção de paredes. A técnica consiste em cobrir as “esquinas” expostas com a própria madeira utilizando troncos partidos ao comprimento em 4 partes.



Figura 12.3. Proteção de metal para o sentido transversal de toras usadas na construção de pontes em Uji, Japão.

Fonte: Autoria própria (2016)

FUNDAÇÃO

Acabamentos de parede feitos de madeira não devem entrar em contato direto com o solo, pois a exposição ao solo é deletéria a ela. Por isso, os primeiros 20 cm ou 40 cm devem ser de outros materiais, como pedras, concreto e tijolos. Se a casa for construída exclusivamente de madeira, esse contato direto com o solo deve ser feito por troncos de espécies de alta resistência natural (LENGEN, 2004), sendo que este espaço entre o solo e a base da construção deverá ser deixado aberto, para que haja ventilação e, além disso, seja possível a entrada de um inspetor para procurar focos de infestações de cupins. Se não for possível manter o vão, ele deverá ao menos ser preenchido (mínimo de 15 cm de profundidade) com solo tratado com preservantes químicos (BEAL et al., 1989).

Esse mesmo princípio também é uma questão que ainda não foi plenamente resolvida nas construções de edifícios de madeira. A maioria das construtoras apenas remedia a situação fazendo as fundações dessas edificações e, pelo menos, o primeiro andar utilizando compostos de concreto e alvenaria, para evitar os danos causados pela interação entre solo e madeira (figura 12.4)



Figura 12.4: Vista exterior de um edifício em construção de 6 andares sendo 5 deles de madeira, desenvolvido pela Killian Pacific em Vancouver, Estados Unidos.

Fonte: A autoria própria (2016)

Para que a umidade do solo não seja absorvida pelas paredes de madeira por capilaridade, outro cuidado que deve ser tomado é que a fundação deve ser um pouco mais larga do que a parede construída (PROMPT, 2008).

INCLINAÇÃO

Para evitar a formação de poças de água, qualquer parte da construção feita de madeira e exposta ao clima deverá ter uma inclinação. Essa técnica deve ser usada para degraus, varandas, batentes de portas e janelas e tetos.

VENTILAÇÃO

Na construção também deve ser levado em consideração o planejamento de aberturas para que seja mantida uma boa ventilação. A ventilação não só refresca os ambientes, mas também renova o ar, eliminando o acúmulo de umidade. A maneira mais eficiente de se ventilar uma casa é, em primeiro lugar, conhecer os ventos da região, para que as aberturas utilizem essa energia da melhor forma possível (PROMPT, 2008).

A ventilação é importante principalmente em construções voltadas para residência de pessoas. Do ponto de vista dos edifícios, o ser humano é a principal fonte de água. Assim, a troca de umidade pela ventilação tem que competir com a umidade liberada e absorvida (PADFIELD, 1998). Por exemplo, uma família de quatro pessoas pode produzir em um dia comum: 0,2 litros de umidade tomando banho; 1,4 litros cozinhando e lavando os pratos; 0,2 litros lavando roupas; 1,4 litros limpando o chão; de 1,4 a 2,3 litros regando às plantas; e 5,5 litros simplesmente vivendo e respirando (CARLSEN, 2008). Em uma casa mal ventilada, toda essa umidade produzida tende a condensar por ficar presa dentro do ambiente.

A ventilação abaixo das construções também é importante. Deve haver aberturas na fundação da casa em quantidade e tamanho o suficiente para evitar bolsões de ar parado. Esses bolsões aumentam a umidade e podem levar ao apodrecimento da madeira e ao ataque de insetos. Aberturas colocadas a 3 metros da esquina da construção geralmente dão uma melhor ventilação. A abertura não precisa ser colocada na frente da construção se áreas não ventiladas podem ser evitadas. O tamanho e número dessas aberturas dependem da umidade do solo, umidade e movimentação do ar. Em geral, a área total de ventilação deve ser equivalente a 1/150 da área da fundação. Arbustos devem ser mantidos longe das aberturas para permitir a circulação livre do ar (BEAL et al., 1989).

USO DE ACABAMENTOS

Para Santos e Duarte (2013), o acabamento em madeira, como o envernizamento, pintura e a impermeabilização são operações indispensáveis para conferir a uma peça o seu bom aspecto final, bem como para a proteção contra a deterioração pelos agentes atmosféricos, contra a umidade, deterioração biológica por insetos ou fungos e contra a sujeira, ou seja, esses produtos contribuem para o aumento da vida útil da madeira.

O uso de tintas fornece proteção à superfície da madeira contra a erosão pelo intemperismo e umidificação, além de esconder defeitos e prover cor. Além disso, pigmentos aumentam a opacidade das tintas e eliminam a deterioração da superfície da madeira pelos raios ultravioleta. A tinta a óleo protege a madeira da ação da água, mas se torna quebradiça com o passar do tempo. Já a tinta látex é mais permeável ao vapor d'água, a água líquida, porém, adapta-se às variações dimensionais da madeira, sofrendo menor enrijecimento com o tempo que a tinta óleo (WILLIAMS et al., 1996).

Magalhães et al. (2006) trabalhando com desempenho de madeira de *Grevillea (Grevillea robusta)* revestida com verniz, tinta e stain exposta ao intemperismo natural verificaram a eficácia de Tinta a Óleo, Stain cor branca e o Impregnante GT, em relação a amostras sem tratamento. Esses produtos impediram completamente o surgimento de fungos em 100 % das amostras em madeiras expostas ao intemperismo por 45 dias.

Os vernizes poliuretânico são os mais empregados na madeira, pois seus componentes ativos previnem a deterioração da cor e geram uma proteção eficaz para a sua superfície dos efeitos nocivos da radiação e da água (VALVERDE; MOYA, 2013). Diante desse fato, Silva e Pastore (2004) compararam os processos de fotodecomposição de cinco madeiras tropicais e verificaram que o verniz poliuretânico e o stain retardaram o processo de deterioração, embora não o tenha impedido.

Os *stains* são misturas de resinas, fungicidas e pigmentos dissolvidos em óleo que penetram nas fibras da madeira. Geralmente, contêm filtro solar, e são impermeáveis, além de não formarem películas. Devido a isso, não apresentam problemas de trincas e o desgaste ocorre por erosão, sendo mais fácil para manutenção, dispensando raspagem. Com ação fungicida e inseticida, os *stains* protegem a superfície da madeira contra o ataque de fungos, mofos, cupins e brocas. Além disso, são repelentes à água, proporcionam maior proteção contra a chuva e o sol, podendo ser usados em ambientes internos e externos (WILLIAMS; FEIST, 1999).

Flórez (2016) verificou que o acabamento com stain proporcionou maior proteção à madeira de *Tectona grandis L.f.*, resultando em menores mudanças na cor, diminuindo a alteração da rugosidade ao longo dos ciclos de envelhecimento (24, 48, 84, 168 e 256 horas), quando comparada à madeira sem acabamento e com cera incolor.

TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA SE EVITAR INSETOS

LIMPEZA DO TERRENO

Todas as raízes, tocos e outros resíduos de madeira devem ser retirados da área da construção antes mesmo do início da obra. Enterrar esse material irá aumentar a probabilidade de uma infestação de cupins subterrâneos e de formigas. Estacas e formas de madeira também devem ser retiradas antes da cura do concreto. Nenhum resíduo de madeira deve ser abandonado no terreno também após a construção (BEAL et al., 1989).

Para prevenir um aumento da umidade do solo desfavorável abaixo da construção, sua superfície deve apresentar uma inclinação para que a água possa escorrer rapidamente. Quando há problema de má drenagem, como ocorre em terrenos planos ou ao redor de construções

com porões, por exemplo, o uso de canais de drenagem ao redor da casa/edifício pode ser de grande ajuda (BEAL et al., 1989).

Um exemplo de como resíduos de madeira podem ser maléficos à fundação está representado na figura 12.5. O concreto da fundação, que geralmente é betonado na obra, pode apresentar problemas que causam rachaduras, como excesso ou escassez de umidade dentre outros, e essas rachaduras podem servir de canais para os insetos. É dito que em uma rachadura com a espessura de uma folha de papel é o suficiente para um cupim conseguir se movimentar livremente.

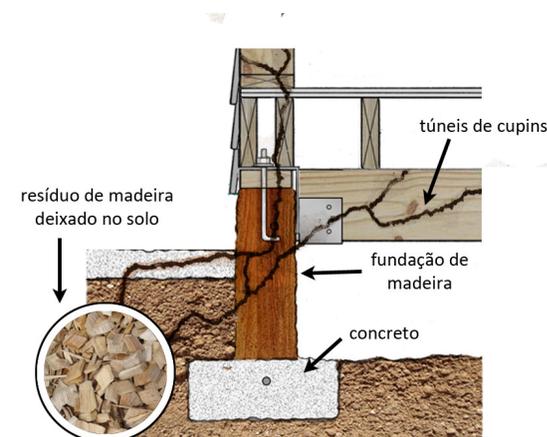


Figura 12.5. Colônias de cupins podem se desenvolver em resíduos de madeira no solo e entrar nas casas pelas fundações

Fonte: Autoria própria (2016)

VÃOS ENTRE MADEIRA E CONCRETO

Quando a madeira é usada na construção de elementos externos, alguns cuidados devem ser tomados. Por exemplo, degraus e varandas feitos de madeira e adjacentes à construção devem ser separadas da casa por um vão de 5 cm para se evitar a passagem de insetos. O último degrau de madeira deve ser colocado sobre uma base de concreto de aproximadamente 15 cm, para que não toque no solo. O mesmo cuidado

deve ser tomado em portas e batentes, sendo que a madeira não deve se estender até a base de concreto (BEALL et al., 1989).

TELAS DE PROTEÇÃO

Uma vez que cupins e formigas fazem revoadas, um método simples de se evitar que esses insetos façam uma colônia em madeiras no interior da casa é a utilização de telas de proteção em janelas e portas.

O MATERIAL DE CONSTRUÇÃO MAIS AVANÇADO DO MUNDO É... MADEIRA

Clay Risen

O edifício de nove andares Stadhaus não apresenta nada que salte aos olhos a uma primeira vista, seria apenas mais um prédio de fachada cinza e branca na paisagem de Londres, porém, é o que ele tem por dentro que o faz especial. Projetado pelo arquiteto Andrew Waugh e seu colega Anthony Thisleton, o edifício, em vez de concreto e aço, usa madeira não só para pisos e tetos, mas também para o poço do elevador e escadas. Para obter resistência suficiente para essa edificação, somente madeira não seria o bastante, o material usado é um produto de madeira engenheirado, chamado de *Cross Laminated Timber* (CLT). O produto é constituído de camadas de tábuas sobrepostas e coladas perpendicularmente uma às outras, para distribuir e aumentar a resistência mecânica. O que poderíamos chamar informalmente de “um painel compensado com esteroides”.

O edifício Stadthaus foi considerado a construção moderna mais alta de madeira quando inaugurado em 2009. Desde então, torres de CLT surgiram em todos os lugares. Em 2011, o Stadhaus já havia perdido seu recorde para o Forté, um edifício de apartamentos de 10 andares construído em Melbourne, Austrália.

Existem planos de alcançar alturas ainda maiores que essa. Autoridades suecas já aprovaram uma torre de madeira de 34 andares em Stockholm, enquanto em Chicago a firma Skidmore, Owings & Merrill publicou sobre a possibilidade de um edifício de 42 andares composto predominantemente de painéis CLT.

Mas porque esse interesse em madeira? A resposta é simples, painéis de CLT, quando comparados a concreto e aço, são mais fáceis de construir, mais baratos, e mais resistentes a incêndios (devido à capacidade de carbonização da madeira), além de ser uma opção sustentável. A madeira é renovável, assim como qualquer cultura agrícola e é um sumidouro de carbono. Segundo Thistleton, no edifício Stadhaus, a madeira reteve 186 toneladas de carbono, enquanto a mesma obra se feita de aço e concreto geraria 137 toneladas de dióxido de carbono. Isso significa que, com a escolha da madeira no edifício Stadhaus, 323 toneladas do gás associado ao efeito estufa não foram liberados na atmosfera.

Muitas pessoas associam construções de madeira com o risco de incêndio, devido a terríveis incêndios urbanos ocorridos nos séculos XIX e XX em cidades como Chicago, Baltimore e São Francisco. Esses incêndios, hoje em dia, são mais associados ao *Framing System* (com espaços vazios, canais de ar, por onde o fogo podia se mover livremente) do que com a madeira em si, inclusive essa associação errônea com a madeira é uma das razões pelas quais os materiais que compõem as cidades até hoje são aço e concreto. “Após um longo período sem uso, as pessoas simplesmente esqueceram como usar madeira”, Alex de Rijke, arquiteto da firma dRMM de Londres.

RISEN, C. **The world’s most advanced building material is... wood.** 2014. Disponível em: <<http://www.popsoci.com/article/technology/world%E2%80%99s-most-advanced-building-material-wood>>. Acessado em 01 de Junho de 2016.

REFERÊNCIAS

BEAL, R. H.; MAULDIN, J. K.; JONES, S. C. Subterranean termites - Their prevention and control in buildings. **Home and Garden Bulletin**, v. 64, 1989. 36p.

BITTENCOURT, R. M.; HELLMEISTER, J. C. **Concepção arquitetônica da habitação em madeira.** São Paulo: EPUSP, 1995. 20p.

BLANCHETTE, R. A. A guide to wood deterioration caused by microorganisms and insects. In: DARDES, K.; ROTHE, A. **The Structural Conservation of Panel Painting.** J. Paul Getty Museum. 1995. 55-68p.

CARLSEN, S. **A splintered history of wood.** New York: Harper perennial, 2008. 413p.

FLÓREZ, J. B. **Comportamento em serviço da madeira jovem de *Tectona grandis L.f* com diferentes acabamentos para uso em ambiente externo.** Lavras, 2016. 109f. Tese (Doutorado)– Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

LANNES, M, S. N. Esgoto pluvial. **Revista da DIRENG**, p. 9-14, 1992.

LENGEN, J. V. **Manual do arquiteto descalço.** Porto Alegre: Livraria do arquiteto, 2004. 692p.

LOUREIRO, A. M. V.; BORSCHIVER, S.; COUTINHO, P. L. A. Tendências tecnológicas de adesivos e selantes aplicados na construção civil. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 9, n. 2, p. 115-129, 2009.

MAGALHÃES, W. L. E. et al. Desempenho de madeira de grevélea revestida com verniz, tinta e stain exposta a intemperismo natural. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Paulo. **Anais...** São Pedro-SP: EBRAMEM, 2006.

MARTINS, C. M. **Fungos emboloradores e manchadores associado à madeira de *Pinus spp.***: gêneros, alterações e controle biológico. 2007. 182f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Londrina - UEL, 2007.

PADFIELD, T. **The role of absorbent building materials in moderating changes of relative humidity.** 1998 . 150f. Tese de PhD. Technical University of Denmark, 1998.

PROMPT, C. **Curso de bioconstrução.** Brasília: MMA, 2008. 64p.

SANTOS, J. A.; DUARTE, C. Degradação e proteção superficial da madeira em exterior. **Corrosão e Proteção dos Materiais**, Lisboa, v.32, n.1, p. 10-18, 2013.

SILVA, J. O. E; PASTORE, T. C. M. Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, v.11, n. 2, p. 07 - 13, 2004.

SILVA, J. P. A. G. **Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira.** 2008. 146f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, 2008.

SOUZA, M. F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações.** 2008. 54f. Monografia (Especialização). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SZUCS, C. P.; KRAMBECK, T. I.; VELLOSO, J. G. Avaliação de desempenho de protótipo em madeira de floresta plantada: cobertura. CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004. 11p.

UNGER, A., SCHNIEWIND, A. P., UNGER, W. **Conservation of wood artifacts: a handbook.** Berlim: Springer, 2001. 585p.

VALVERDE, J. C.; MOYA, R. Correlation and modeling between color variation and quality of the surface between accelerated and natural tropical weathering in *Acacia mangium*, *Cedrela odorata* and *Tectona grandis* wood with two coating. **Color Research and Application**, New York, v. 39, n. 5, p. 519- 529, 2013.

WILLIAMS, R. S.; FEIST, W. C. **Selection and application of exterior stains for wood.** Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 9p

WILLIAMS, S.; KNAEB, M.T.; FEIST, W.C. **Finishes for exterior wood. Selection, application and maintenance.** U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin, 1996.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 12

- Construções de madeira
- Eliminação da penetração da água na madeira de construção
- Beirais
- Calhas
- Impermeabilização
- Ventilação
- Envernizamento e pintura
- *Stains*
- Limpeza do terreno
- Telas de proteção

Questões do capítulo 12

1. Quais são as vantagens da utilização da madeira em construções?
2. As construções de madeira não estão livres do aparecimento de fungos manchadores e embolorados. Quais cuidados devem ser tomados com a madeira exposta na fachada externa?
3. Como a circulação de água danifica as construções de madeira?
4. Descreva as técnicas construtivas utilizadas para evitar o acúmulo de umidade.
5. As calhas com manutenção inadequada podem ser uma medida potencializadora para o acúmulo de água. Quais os eventuais problemas que uma calha inadequada ou não inspecionada pode provocar?
6. Por que se deve ter um cuidado especial com o bloqueio aos agentes deterioradores no sentido transversal da madeira?
7. Qual o motivo de não haver contato direto das paredes de madeira com o solo?
8. Explique a afirmação: “A utilização de acabamentos contribuem com o aumento da vida útil da madeira em construção”.

9. O que são *stains*?
10. A limpeza do terreno é primordial para a prevenção do ataque de cupins e formigas. Como os resíduos de madeira podem ser maléficos para a fundação da construção?

MODIFICAÇÕES QUÍMICAS

Pompeu Paes Guimarães
Vinicius Gomes de Castro

INTRODUÇÃO

Como foi visto no capítulo 8, o método clássico de preservação da madeira é baseado no princípio da toxicidade. Entretanto, cada vez mais, o uso irrestrito de substâncias biocidas passou a ser uma preocupação, muitas vezes refletindo em normas de uso e proibições de certos produtos. Além disso, outro problema resultante do tratamento da madeira é o descarte desta após sua vida útil, limitando o aproveitamento de resíduos para a produção de energia, por exemplo. Por isso, busca-se novos métodos para proteger a madeira da deterioração que focam na privação de elementos necessários para o desenvolvimento do agente ao invés de uso de substâncias tóxicas.

Os tratamentos que diminuem a tendência da madeira de absorver água podem ser classificados em duas categorias: repelentes de água ou estabilizadores dimensionais. A eficiência dos repelentes de água pode ser determinada como a habilidade do tratamento de prevenir ou controlar a taxa de absorção de água, tanto na parede celular quanto por capilaridade. Por outro lado, a eficiência dos estabilizadores pode ser determinada pela sua habilidade de reduzir o inchamento e a contração da madeira devido ao aumento de umidade. Como somente a água que entra na parede celular pode afetar a estabilidade dimensional, a água de capilaridade é permitida nesse caso (HYVONEN et al., 2005).

Repelentes de água geralmente não fazem ligações químicas com a madeira. Podem ser classificados nessa categoria ceras, óleos, resinas

naturais ou sintéticas, fungicidas e inseticidas e solventes, ou seja, os preservativos clássicos. Contudo, os estabilizadores removem os grupos hidroxilas dos polímeros da parede celular, em outras palavras, removem os pontos onde as moléculas de água iriam se ligar à parede por pontes de hidrogênio. Essa ligação ou modificação química dos estabilizadores tende a ser mais forte e, por isso, mais permanente do que as dos preservativos.

Resumindo, modificação química da madeira pode ser definida como um processo de ligação entre uma substância química simples reativa com a parte reativa dos polímeros da parede celular, com ou sem catalisador, para formar ligações covalentes entre os dois. Isso exclui impregnações químicas (imersão de produtos não reativos em solventes), inclusão de polímeros, acabamentos ou tratamento com calor (ROWELL, 2006).

Existe um grande número de reagentes capazes de fazer essa ligação covalente. Para que a substância química seja considerada um modificador químico, ela deve penetrar na parede celular e reagir com a hidroxila de seus polímeros em condições alcalinas ou neutras a uma temperatura abaixo de 120°C. Os principais tipos de ligações formadas pela reação com a madeira são éter, acetil e ester. Substâncias já testadas incluem cloretos ácidos e alcalinos, anidridos, ácidos carboxílicos, epóxidos e isocianatos, entre outros (KUMAR, 1994).

ACETILAÇÃO

Dentre as modificações químicas da madeira, a acetilação é provavelmente o processo mais estudado (SANDER et al., 2003). Sendo considerado o mais simples, seguro e barato, é aquele em que o anidrido acético é utilizado (LISPERGUER et al., 2007). A reação química resulta na modificação dos grupos hidrófilos da parede celular da madeira com a formação residual de ácido acético (SIMONSON; ROWELL, 2000).

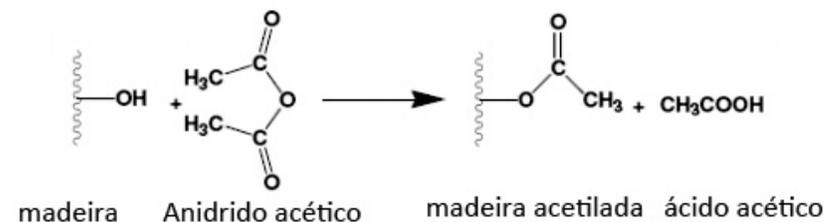


Figura 13.1. Esquema da reação química de acetilação com anidrido acético
Fonte: A autoria própria (2016)

Segundo Rowell et al. (1994), a reação ocorre de maneira rápida e eficiente nos grupos hidrófilos da lignina (aproximadamente 90%) e em cerca de 25% das hemiceluloses. A celulose apresenta um baixo teor de reação - menor do que 10% - geralmente a reação ocorre em baixa quantidade e somente na sua região amorfa (ROWELL et al., 2009). No caso do uso de anidrido acético como reagente, todo o ganho de peso da madeira após o processo está diretamente ligado a hidroxilas bloqueadas.

Atualmente, o método preferido de acetilação de madeira consiste em usar a quantidade limitada de anidrido acético líquido sem catalisador ou cossolvente. Variações no processo têm sido usadas para modificar fibras, partículas, lâminas e madeiras de vários tamanhos. O fato de que apenas uma quantidade limitada de anidrido acético ser usada significa que menos produtos químicos serão aquecidos durante a reação e menos produtos químicos terão que ser limpidos após a reação. Uma pequena quantidade de ácido acético parece ser necessária na reação para inchar as paredes celulares (ROWELL, 2006).

História da acetilação

A primeira acetilação em madeira foi realizada na Alemanha, em 1928, pelo pesquisador Fuchs. Ele submeteu a madeira ao anidrido acético

na presença de ácido sulfúrico como catalisador. Nos seus resultados, foi observado 40% de ganho de peso de acetil, ou seja, houve uma descristalização da celulose durante o processo. A reação foi utilizada para isolar a lignina de madeira de *Pinus*. No mesmo ano, outro pesquisador chamado Horn, usou um processo semelhante para acetilar *Fagus* e remover hemiceluloses (ROWELL et al., 2009).

A acetilação foi patenteada pela primeira vez na Áustria por Suida e Titsch, em 1930, mas foi somente em 1945, que outro pesquisador chamado Tarkow demonstrou que a madeira acetilada possuía maior resistência à deterioração. Um ano após esse trabalho, o mesmo pesquisador comprovou que madeiras acetiladas eram mais estáveis à absorção de água. A partir da década de 60, a madeira acetilada passou a ser comercializada em diversos países utilizando diferentes tipos de reagentes e catalisadores.

Durante o desenvolvimento do processo, foram testados vários catalisadores como cloreto de zinco, piridina, sulfato de amônia, dime-tilformaldeído, acetato de sódio, persulfato de magnésio, ácido tri-fluoracético, e trifluorido de boro (ROWELL et al., 2009). A reação também pode ocorrer com o uso do anidrido acético em fase gasosa e com o gás ceteno como catalisador. Nesse caso, há a vantagem de não se formar o ácido acético como produto secundário. Essa vantagem, porém, é contrabalanceada pelo fato do gás ter uma baixa penetração na madeira, sendo recomendado somente em caso de lâminas muito finas (SIMONSON; ROWELL, 2000). A maioria da acetilação hoje em dia é feita com o anidrido acético na fase líquida sem o uso de catalisador.

Atualmente, a madeira acetilada pode ser encontrada no mercado principalmente sob o nome comercial de Accoya em diversos países da Europa, América do Norte e Ásia (ROWELL et al., 2009).

Problemas encontrados para o desenvolvimento da indústria de acetilação

O principal gargalo para o desenvolvimento da indústria da acetilação de madeira ainda é o custo que reflete no valor do produto final. Para peças de aproximadamente 12 cm por 6 cm e comprimento de 2,5 m, por exemplo, o custo da madeira acetilada pode variar entre US\$3,50 a US\$4,50, enquanto uma madeira tratada com preservantes tradicionais tem o valor entre US\$0,50 a US\$0,65 (ROWELL, 2006). No entanto, embora com valor mais alto, a madeira acetilada ainda pode ser competitiva por apresentar vantagens se considerar sua vida útil, mas para isso, ainda é necessária uma maior aceitação no mercado que só acontecerá através da educação de engenheiros florestais, civis e arquitetos sobre esse novo produto.

Outra preocupação sobre madeira acetilada usando anidrido acético como reagente é o subproduto ácido acético. Muitas tentativas foram feitas para se eliminar o ácido acético, que deve ser removido do produto, pois o nariz humano é bem sensível ao seu odor. Enquanto isso é facilmente feito no caso das partículas e fibras de madeira, apresenta certa dificuldade de ser feito em madeiras sólidas (ROWELL, 2006).

A produção em alta escala de madeira acetilada, hoje, ainda esbar-raria em um problema de logística devido à limitada quantidade de anidrido acético produzido no mundo. Projeções indicam que se a produção mundial de anidrido acético do ano de 2006 fosse usada exclusivamente para produção de madeira voltada apenas para o mer-cado de decks, iria conseguir atender apenas 20% da demanda deste mercado tão específico (ROWELL, 2006).

Outro entrave para o desenvolvimento da indústria que envolve também o anidrido acético é seu uso em síntese de drogas ilícitas como heroína e cocaína. Devido a este fato, o comércio da substância é controlado em inúmeros países, inclusive no Brasil. De acordo com

a portaria nº 1.274, de 25 de agosto de 2003, a Polícia Federal controla e fiscaliza qualquer comercialização acima de um litro por mês.

EFEITO DA ACETILAÇÃO NA PRESERVAÇÃO DA MADEIRA

Fungos

Madeiras de *Pinus* acetiladas tiveram sua suscetibilidade testada contra fungos de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) e de podridão branca (*Trametes versicolor*). Após 12 semanas de teste, a perda de peso em madeiras com WPG de aproximadamente 18 foi abaixo de 2% para ambas as podridões, enquanto as testemunhas tiveram perda de 61% quando atacadas por podridão parda e 8% quando atacada por podridão branca (ROWELL, 2006).

A perda de massa resultante do ataque por fungos é o método mais frequente para se determinar a eficiência do tratamento preservativo para proteger a madeira da podridão. Em alguns casos, especialmente para ataque de podridão parda, a perda de resistência mecânica pode ser uma medida mais importante, uma vez que o ataque pode levar a um grande enfraquecimento mesmo com baixa perda de massa (ROWELL, 2006). Imamura e Nishimoto (1985) desenvolveram um teste que avalia a performance mecânica de madeira sólida, compensados ou aglomerados sob ataque de fungos. O teste ocorre até a falha na madeira ou atingir o tempo máximo de 100 dias.

Utilizando esse tipo de teste, Rowell et al. (1988) observaram que painéis feitos com partículas acetiladas de *Populus* não tiveram perda na resistência após o período máximo de 100 dias quando submetidos ao ataque de fungo de podridão parda *Tyromyces palustris*.

Outro teste para determinar a resistência ao ataque de fungos e bactérias em compósitos acetilados é a inoculação a 25°C em solo úmido não esterilizado contendo fungos de podridão branca, parda e mole e bactéria de túneis. Nilsson et al. (1988) observaram que painéis

testemunhas feitos de partículas de *Pinus sylvestris* foram destruídas em menos de 6 meses enquanto painéis de madeira acetilada com ganho de peso acima de 16 mostraram-se sem ataque após 12 meses. Rowell et al. (2009) relataram que as amostras continuaram a ser analisadas e, mesmo após 12 anos, os painéis com acetilação acima de 16% ainda não haviam sido deteriorados.

Larsoon-Brelid et al. (2000) testaram a resistência de madeiras acetiladas de *Pinus* submetidas a teste de solo em Simlångsdalen, Suécia e a compararam com testemunhas não acetiladas e com amostras tratadas com o preservante CCA. A madeira com acetilação com cerca de 20% mostrou resultados semelhantes às amostras tratadas com o preservativo químico em seu mais alto grau de retenção a 10,3 kg/m³ após 9 anos de exposição.

Existem diversas teorias que explicam o mecanismo de defesa da madeira acetilada contra o ataque de fungos. Ainda não é claro se a proteção é resultado da diminuição do teor de umidade das amostras acetiladas, pela modificação química ou pela combinação desses fatores (PAPADOPOULOS, 2010). Acreditava-se inicialmente que as modificações nas conformações e configurações do substrato impediam o ataque enzimático do fungo. Uma segunda teoria foi desenvolvida baseada no efeito de preenchimento das ligações covalentes dos grupos acetil. Papadopoulos e Hill (2002) concluíram que o efeito de preenchimento foi o fator primário de controle da podridão parda (*Coniophora puteana*) em madeira acetilada de *Pinus nigra* ao invés da quantidade de hidroxilas substituídas. Uma terceira teoria alternativa implica no bloqueio físico da entrada das enzimas dos fungos nos microporos da parede celular. Ainda no caso específico de podridão parda, pesquisadores sugeriram que a redução do TU da madeira acetilada previne o fungo de iniciar a quebra das hemiceluloses como fonte de energia. Esse mecanismo é consistente com os dados dos testes de solo e de resistência (ROWELL et al., 2009).

Mohebbi (2003) observou o comportamento microscópico de fungos basidiomicetos (*Trametes versicolor* e *Poria placenta*) e concluiu que suas hifas podem colonizar facilmente o lúmen e os raios das células. Ambas as espécies de fungos usam esse tipo de abertura para penetrar na madeira, preferencialmente os lúmens de vasos e raios no estágio inicial e depois nos lúmens das fibras, entre as fibras ou através das pontuações entre raios e fibras. Raios em madeira de *Fagus sylvatica* não acetilada ou com baixa porcentagem de acetilação possuíam quantidade suficiente de nutrientes para o crescimento das hifas. Contudo, em madeiras com acetilação moderada ou alta, esses nutrientes provavelmente foram removidos durante o processo impossibilitando o crescimento do fungo nas células do raio. A falta de nutrientes e a proteção dos raios contra os fungos podem ter sido as razões do baixo ou nenhum sinal de apodrecimento das amostras moderada ou altamente acetiladas, respectivamente.

Cupins

Rowell (2006) relatou resultados de 2 semanas de teste usando *Reticulitermes flavipes* (cupim subterrâneo) em diversos tipos de madeira modificada de *Pinus*. A perda de massa de amostras sem acetilação foi em média acima de 30%, enquanto amostras com acetilação acima de 20% tiveram perda em torno de apenas 5%. A falta de uma resistência completa ao ataque pode ser atribuída ao grau de severidade do teste. Contudo, cupins podem viver em ácido acético e decompor celulose até o acetato. A sobrevivência do cupim foi alta no fim do teste, o que indica que a madeira modificada não foi tóxica para esses insetos. O mecanismo de eficiência pode estar mais uma vez ligado ao TU baixo da madeira acetilada e ao aumento da dureza.

Imamura e Nishimoto (1986) avaliaram o efeito preservativo da madeira acetilada de três espécies de coníferas (*Picea jezoensis*, *Larix leptolepis* e *Pseudotsuga menziessi*) contra duas espécies de cupins

subterrâneos (*Coptotermes formosanus* e *Reticulitermes speratus*). A taxa de deterioração diminuiu de acordo com o aumento da acetilação. A mortalidade dos cupins demorou a acontecer indicando uma ação de toxicidade lenta. Também foi observada diminuição na fauna intestinal dos trabalhadores. A inabilidade dos protozoários simbiotes de quebrar a madeira acetilada consumida também pode ter colaborado com a mortalidade tardia, uma vez que o cupim não conseguiu digerir o material e pode ter morrido de fome.

Ibach et al. (2000) compararam o poder preservativo da madeira acetilada com a madeira preservada com TBTA contra ataque de cupins subterrâneos (*Coptotermes gestroi*) e cupins de madeira seca (*Cryptotermes cynocephalus*). Ambos os tratamentos obtiveram resultados semelhantes, sendo que a mortalidade do cupim subterrâneo foi próxima a 100% após 10 semanas de teste em laboratório, e 5 semanas no caso dos cupins de madeira seca.

Brocas marinhas

Madeira acetilada também já foi testada contra o ataque de brocas marinhas, mas, como o grau de deterioração depende tanto da espécie do molusco quanto de sua atividade e população, os resultados estão sempre correlacionados com os locais do estudo e podem apresentar diferenças. Larsson-Brelid et al. (2000), por exemplo, não observaram grandes efeitos preservativos nas águas da costa oeste da Suécia, região que geralmente apresenta duas espécies de moluscos (*Teredo navalis* e *Psiloteredo megotara*) e uma espécie de crustáceo (*Limnoria lignorum*).

Já Rowell (2006) apresentou dados de suas pesquisas instaladas na Flórida, Estados Unidos, que indicaram que, entre 6 meses a 1 ano, madeiras não acetiladas de *Pinus* foram destruídas principalmente por ataque de *Limnoria tripunctata*, enquanto a madeira acetilada mostrou boa resistência mesmo após 3 anos.

REFERÊNCIAS

HYVONEN, A.; PILTONEN, P.; NIINIMAKI, J. Biodegradable substances in wood protection. In: JALKANEN, A.; NYGREN, P. **Sustainable use of renewable natural resources - from principles to practice**. University of Helsinki Department of Forest Ecology Publications 34, 2005. 13p.

IBACH, R. E. et al. Termite and fungal resistance of in situ polymerized tributyltin acrylate and acetylated Indonesian and USA solid wood. **The international research group on wood preservation**. Document n. IRG/WP 00-30219, 2000. 1-13p.

IMAMURA, Y.; NISHIMOTO, K. Bending creep test of wood-based materials under fungal attack. **Journal of the Society of Materials Science, Japan**, v. 34, n. 383, p. 985-989, 1985.

IMAMURA, Y.; NISHIMOTO, K. Resistance of acetylated wood to attack by subterranean termites. **Wood Research: bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University**, v. 72, p. 37-44, 1986.

KUMAR, S. Chemical modification of wood. **Wood and Fiber Science**, v. 26, n. 2, p. 270-280, 1994.

LARSSON-BRELID, P. et al. Resistance of acetylated wood to biological degradation. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 58, p. 331-337, 2000.

LISPERGUER, J. et al. The effect of Wood acetylation on thermal behavior of Wood-polystyrene composites. **Journal of the Chilean Chemical Society**, v. 52, n. 1, p. 1073-1075, 2007.

MOHEBBY, B. **Biological attack of acetylated wood**. 2003. 147f. Tese de PhD. Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology. Georg-August-Universität Gottingen, 2003.

NILSSON, T. et al. Fungal resistance of pine particle boards made from various types of acetylated chips. **Holzforschung**, v. 42, n. 2, p. 123-126, 1988.

PAPADOPOULOS, A. N.; HILL, C. A. S. The biological effectiveness of wood modified with linear chain carboxylic acid anhydrides against *Coniophora puteana*. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 60, p. 329-332, 2002.

PAPADOPOULOS, A. N. Chemical modification of solid wood and wood raw material for composites production with linear chain carboxylic acid anhydrides: a brief review. **Bioresources**, v. 5, n.1, p. 499-506, 2010.

ROWELL, R.; YOUNGQUIST, J. A.; IMAMURA, Y. Strength tests on acetylated Aspen flakeboards exposed to a brown-rot fungus. **Wood and Fiber Science**, v. 20, n. 2, p. 266-271, 1988.

ROWELL, R. et al. Acetyldistribution in acetylated whole wood and reactivity of isolated wood cell-wall components to acetic anhydride. **Wood Fiber Science**, v. 26, p. 11-18, 1994.

ROWELL, R. M. Acetylation of wood, journey from analytical technique to commercial reality. **Forest Products Journal**, v. 56, n. 9, p. 4-12, 2006.

ROWELL, R. et al. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat treated and acetylated wood. **European Conference on Wood Modification**. p. 489-502, 2009.

SANDER, C. et al. Analysis of acetylated wood by electron microscopy. **Wood Science Technology**, v. 37, p. 39-46, 2003.

SIMONSON, R.; ROWELL, R. A new process for the continuous acetylation of lignocellulosic fiber. In: **Proceedings of the 5th pacific rim bio-based composites symposium**. Canberra, Australia. The Australian National University. p. 190-196, 2000.

CONCEITOS INTRODUZIDOS NO CAPÍTULO 13

- Repelentes de água
- Estabilizadores dimensionais
- Modificação química da madeira
- Acetilação da madeira
- Resistência à deterioração da madeira acetilada
- Gargalos da indústria da acetilação de madeira

Questões do capítulo 13

1. Por que tratamentos tradicionais com preservantes químicos não são considerados modificações?
2. Qual a diferença entre substâncias repelentes de água e estabilizadores dimensionais?
3. Como ocorre o processo de acetilação da madeira?
4. O que é uma madeira Accoya?
5. Por que o subproduto da acetilação é considerado um problema?
6. Quais problemas a indústria de acetilação podem encontrar em relação à sua principal solução de reação?
7. Quais teorias explicam o efeito preservativo ao ataque de fungos em madeira acetilada?
8. Quais teorias explicam o efeito preservativo ao ataque de cupins em madeira acetilada?
9. Por que pesquisas em relação ao efeito preservativo ao ataque de brocas marinhas em madeiras acetiladas apresentam resultados discordantes?

Editora Universitária da UFERSA (EdUFERSA)
Av. Francisco Mota, 572
Compl.: Centro de Convivência
Costa e Silva - Mossoró/RN - CEP: 59.625-900
(84) 3317-8267
<http://edufersa.ufersa.edu.br>
edufersa@ufersa.edu.br

Formato: PDF
Números de páginas: 213