

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC

CONTROLE DE MANCHADORES E APODRECEDORES DA MADEIRA DE PÍNUS

Washington Luiz Esteves Magalhães¹

¹ Dr., Pesquisador da Embrapa Florestas, wmagalha@cnpf.embrapa.br.

Resumo

Controle de manchadores e apodrecedores da madeira de pinus. A madeira de pinus é muito suscetível ao ataque de fungos que acarretam sua descoloração, perda de valor estético e depreciação dela e de seus produtos. Os fungos podem ser classificados como emboloradores, manchadores e apodrecedores. Os principais fungos que degradam a madeira de pinus encontrados em nosso país são listados nesta revisão. Também são descritos os tratamentos e os produtos preservativos mais difundidos para controle dos fungos manchadores e apodrecedores em nossas indústrias e usinas. Muitos desses produtos e tratamentos deverão, em futuro próximo, serem banidos do mercado por questões ambientais e várias opções alternativas, ainda em avaliação, são apresentadas.

Palavras-chave: bolor, manchamento, apodrecimento, biodegradação, tratamento preservativo.

Abstract

Controlling of moulding, blue stain and rot fungi in solid wood pine. Pine wood is very susceptible to fungi attack that discolor, detract from its appearance and decrease the value of wood and wood products. The fungi can be classified as mould, sapstain and rot. The main important pine decay fungi encountered in our country are listed in this review. Also, the most diffused process and chemical preservatives, for controlling of sapstain and rot decay fungi, are described. In a near future, the major part of these products and treatments will be banned from the Brazilian market by environmental reasons, thus a number of alternative strategies are presented, although, their merits were not analyzed.

Keywords: mould, blue stain, rot, biodegradation, preservative treatment.

INTRODUÇÃO

Dentre as diversas causas da degradação em produtos de madeira, a que acarreta maiores prejuízos é o ataque por organismos xilófagos. No caso da madeira de pinus, os fungos são os principais microorganismos degradadores. Esses fungos podem, a grosso modo, serem divididos entre emboloradores, manchadores e apodrecedores. Os dois primeiros grupos são formados por microorganismos que não decompõem a parede celular da madeira. Usam principalmente o amido e os açúcares das células parenquimáticas como fonte de alimentos. Os fungos apodrecedores são decompositores lignocelulíticos, o que causa perda de resistência mecânica das peças de madeira.

A maioria das manchas, mofo, bolor e apodrecimento em madeira são causadas por fungos. Os fungos penetram e se alastram na madeira na forma de fio ou filamento chamado de

hifa que consiste de várias células conectadas nas suas terminações.

Os fungos emboloradores (moulds) são responsáveis por uma importante alteração na superfície da madeira, conhecida popularmente por bolor. O bolor é resultante de intensa produção de esporos, que possuem cores variadas, de acordo com a espécie de fungo. Deixam a madeira com aspecto algodoado (figura 1). Geralmente não causa degradação mas prejudica o acabamento (Ibach, 1999).

Os fungos manchadores (staining fungi) provocam manchas profundas no alburno das madeiras, que resultam da presença de hifas escuras do próprio fungo, que podem ser vistas recobrimdo camadas da superfície da madeira ou de pigmentos liberados por ele. Este tipo de ataque, também conhecido como mancha azul, é responsável por consideráveis prejuízos, principalmente de ordem estética, em madeiras como o pinus (figura 2).



Figura 1 - Tábua de Pinus taeda atacada por fungo embolorador.

Figure 1 - Lumber of Pinus taeda attacked by mould.

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC

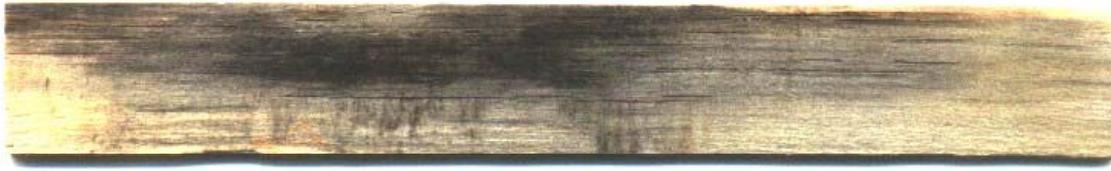


Figura 2 - Parte de uma lâmina de Pinus taeda com mancha azul.

Figure 2 - Piece of blue stained Pinus taeda veneer.

Os fungos emboloradores e manchadores colonizam profundamente o alborno, principalmente logo após o abate da árvore e durante o período de secagem; utilizam substâncias de fácil assimilação, como açúcares simples, proteínas e gorduras, encontradas no lúmen das células da madeira; toleram altas concentrações de preservantes, podendo inclusive destoxificar alguns destes produtos. As propriedades mecânicas da madeira, como sua resistência à tração e à flexão, são pouco alteradas, pois estes fungos não possuem complexos enzimáticos capazes de degradar as moléculas de celulose, hemicelulose e lignina que constituem as paredes celulares. Entretanto, madeiras intensamente atacadas por fungos emboloradores e manchadores apresentam redução de resistência ao impacto e considerável aumento em sua permeabilidade, bem como afetam significativamente o meio ambiente microbial da madeira (de Lelis *et al.* 2001).

Em geral, as hifas dos fungos emboloradores que penetram no interior da madeira são incolores, de forma que um aplainamento ou lixamento superficial é suficiente para recuperar a aparência inicial da madeira.

Por outro lado, os fungos manchadores apresentam hifas coloridas ou secretam substâncias com coloração azulada ou cinza. As hifas penetram principalmente através dos raios da madeira, de forma que mesmo após a sua morte a madeira continua manchada, ainda que a camada superficial seja retirada. Algumas pesquisas estão em andamento com o objetivo de se conseguir a eliminação de manchas causadas por fungos (Croan, 1996). Os fungos manchadores causam muitos prejuízos ao setor industrial madeireiro em virtude de, por razões estéticas, a madeira azulada ter baixa aceitação pelo mercado. Em uma seção reta da madeira, os fungos manchadores

freqüentemente aparecem em forma de cunha, orientados radialmente.

A causa inicial da infecção por esporos ou hifas de fungos manchadores e emboloradores pode ser os danos causados à casca da árvore durante o abate ou a remoção e a transmissão dos fungos por vetores como os besouros. Ou a retirada da casca, que expõe toda a superfície à infestação. Os fungos da mancha azul são disseminados por esporos, os quais são produzidos em abundância. Apesar dos esporos dos outros fungos serem normalmente espalhados pelo vento, os esporos dos fungos da mancha azul são pegajosos e são carregados para a madeira por insetos. Uma vez instalados na superfície de um ambiente rico em nutrientes, os esporos crescem rapidamente. Os fungos da mancha azul podem sobreviver, mas não crescem, em madeira com umidade abaixo de 20 % ou em temperaturas alta ou baixa. Temperaturas acima de 65 °C são letais aos fungos da mancha azul e não crescem em temperaturas abaixo de 1,7 °C.

Tanto os fungos emboloradores como os manchadores causam aumento da permeabilidade da madeira mas a perda de resistência mecânica é reportada como pequena mesmo no caso de grave infestação.

Muitas normas de classificação de tábuas limitam, não apenas a presença de fungos apodrecedores, principalmente para madeira estrutural, como as quantidades de mancha azul e bolor permitidas (NBR 9194). Todavia, muitas pessoas gostam do aspecto produzido na madeira pelo fungo manchador. No mercado de madeira decorativa internacional tem alta demanda por madeira até mesmo com ataque de fungo (Knaebe, 2002) da podridão branca (figura 3), que pode diminuir a sua resistência mecânica dependendo do grau de infestação.

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC

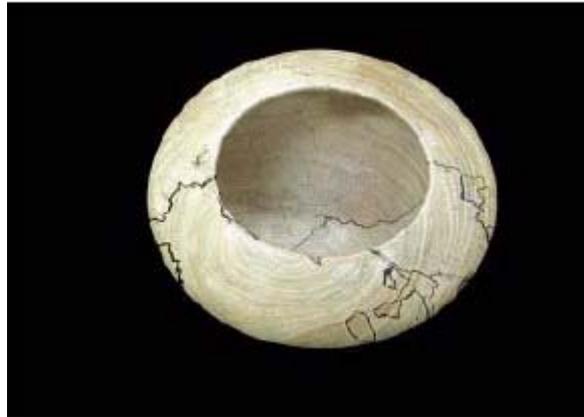


Figura 3 - Aparência decorativa em vaso de madeira atacada por fungo.

Figure 3 - Decorative bowl made from white-rot decayed wood.

Os produtos preservativos para tratamento de madeira são regulados pelo IBAMA (Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), que proíbe a venda direta no varejo, exigindo que tanto os fabricantes quanto os usuários sejam cadastrados naquele órgão. O IBAMA é o órgão fiscalizador das atividades das indústrias de preservativos de madeira e das empresas produtoras de madeira preservada, incluindo o comércio de seus produtos.

FUNGOS MAIS COMUNS

Os fungos manchadores e emboloradores de madeiras recém-abatidas são, na maioria, microfungos dos tipos ascomicetos, deuteromicetos e zigomicetos. Em madeiras de zonas temperadas, os gêneros mais comuns de manchadores, segundo Kaarik (1980), são: *Ceratocystis*, *Graphium*, *Leptographium*, *Phialophora*, *Verticicladiella*, *Diplodia*, *Phoma*. E os emboloradores: *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Giocladium* e *Paecilomyces*. Em madeiras de zonas tropicais, os gêneros de manchadores mais frequentemente encontrados são: *Lasiodiplodia*, *Botryosphaeria*, *Diplodia*. E os emboloradores: *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*.

Em adição ao escurecimento da madeira após o abate, outros fungos provocam colorações variadas. Em muitos casos a coloração é devida à pigmentação extracelular de gêneros como o *Chlorociboria*, *Trichoderma* (esverdeada), *Cytospora* (amarelada) e *Thielaviopsis* (acastanhada).

As manchas azuis são comumente causadas por *Aureobasidium pullulans*, que é onipresente em substratos celulósicos, e também por *Cladosporium herbarum*, *C. cladosporioides*, *Cladosporium herbarum*, *Alternaria tenuis*, *A. alternata*, *Stemphylium verrucosum*, *Phialophora spp.* entre outros. Espécies deste último gênero também são classificadas como fungos da podridão mole (soft-

rot fungi). Alguns fungos emboloradores também podem exsudar pigmentos, como o *Fusarium spp.* (rosada à púrpura) (Eaton & Hale, 1993). Furtado (2000) reporta os fungos da mancha azul comuns no Brasil como sendo os mitosporicos da Classe-forma *Coelomycetes: Lasiodiplodia*, *Ophiostoma*, *Graphium* e *Diplodia*.

Alguns trabalhos com biodegradação de madeira por emboloradores no Brasil usaram os fungos mitosporicos dos gêneros *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* (Ozaki, 2004; Furtado, 2000) e o da podridão mole *Chaetomium spp.* (Ozaki 2004).

Os fungos apodrecedores segregam enzimas que são capazes de decompor o material lignocelulósico estrutural das paredes celulares da madeira. Essa decomposição acarreta alteração de propriedades físicas e químicas com diminuição de resistência mecânica da madeira deteriorada.

A grosso modo os fungos apodrecedores podem ser divididos em Podridão Branca, Podridão Parda e Podridão Mole.

Os fungos da podridão branca atacam preferencialmente as madeiras de folhosas, embora possam decompor também as coníferas (Figura 4). Esses fungos degradam a lignina e os carboidratos deixando macroscopicamente a superfície da madeira de cor mais clara tornando-a esbranquiçada. Às vezes as áreas apodrecidas podem apresentar delimitações por linhas escuras (Figura 2). A madeira atacada pela podridão branca ao ser friccionada sofre uma desfibrilação.

Os fungos da podridão parda degradam preferencialmente as coníferas; na parede celular decompõem os carboidratos deixando quase intacta a lignina. Por esse motivo, as superfícies da madeira atacada por essa podridão têm coloração parda mais escura e se for friccionada transforma-se em fino pó.

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC



Figura 4 - Tora de Pinus taeda atacada por fungo da podridão branca.

Figure 4 - Log of Pinus taeda attacked by white-rot fungi.

Os fungos da podridão mole desenvolve-se em geral em condições bastante inibitórias para os demais fungos, como alta umidade. A superfície atacada por este fungo fica bem amolecida. A degradação por esse fungo é um dos principais problemas nas madeiras das torres de resfriamento. A madeira atacada por fungos de podridão mole, quando seca, apresenta-se com aparência de levemente queimada e com fissuras transversais e longitudinais ao sentido das fibras. Ao ser friccionada se transforma em pó fino, assim como no caso da podridão parda.

Jesus e Luciano (1993) reportaram 22 fungos apodrecedores em toras e em madeira serrada de *Pinus spp.* da Floresta Nacional de Capão Bonito, sendo que a maioria pertence às famílias *Corticaceae* e *Polyporaceae*. As espécies *Schizopora carneolutea* (Rodw. & Clel.) Kotl. Pouz., *S. paradoxa* (Fr.) Donk, *Gloeoporus dichrous* (Fr.) Brés., *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jül. e *Trametes membranacea* (Schw.: Fr.) Kreisel foram as que surgiram com maior frequência. A maioria das toras estocadas com alta umidade e sombreamento apresentou alta suscetibilidade ao gênero *Schizopora* e a *T. membranacea*, enquanto as toras estocadas em ambiente ensolarado e com maior ventilação demonstraram alta suscetibilidade a *P. gigantea* e a *S. commune*. *G. dichrous* apresentou um ataque significativo nas madeiras serradas.

TRATAMENTO E PRODUTOS PRESERVATIVOS CONTRA FUNGOS EMBOLORADORES E MANCHADORES

A prevenção do azulão requer a manutenção de condições desfavoráveis para o fungo, ou seja, manter a madeira seca, com temperaturas abaixo ou acima da ideal ao crescimento, e proteção da madeira contra infestação por insetos. Os operadores de estufas de secagem devem usar programas de secagem adequados para controlar a mancha azul. No verão recomenda-se o tratamento da madeira com fungicida além do uso de programa correto de secagem. Mesmo no interior do secador

por poucos dias à temperatura ideal ocorre o crescimento dos fungos. Assim, deve-se atingir a temperatura de 130F no interior da estufa tão cedo quanto possível. Todavia, infelizmente pode ocorrer a mancha marrom em madeiras que tenham permanecido estocadas por algum tempo e depois secas em altas temperaturas. Para evitar tais problemas, o mais indicado é levar a tora para o desdobra e secar o mais rápido possível.

O pentaclorofenato de sódio tem sido um dos mais efetivos fungicidas e largamente usado para controle dos fungos manchadores em madeira. Todavia, a pressão dos órgãos ambientalistas e dos importadores (principalmente os Europeus) vai cerceando o seu uso devido aos efeitos adversos aos trabalhadores e ao meio ambiente.

Novas formulações químicas com baixos níveis de toxicidade com promissoras perspectivas de controle dos fungos manchadores deverão surgir em breve no mercado.

O Chile proibiu (Mayorga et al 2000) o uso do pentaclorofenato de sódio desde 1999. Ante este novo panorama, as empresas foram obrigadas a usar novos produtos, sendo que o fungicida mais usado atualmente é o tribromofenato de sódio, ocupando cerca de 90% do mercado, e também o quinolinolato de cobre. O produto quinolinolato de cobre é o único permitido pelo FDA Americano para tratamento de peças de madeira que entrarão em contato com alimentos. No Brasil, apenas a empresa Montana Química tem um produto comercial fungicida com esse princípio ativo registrado no IBAMA.

Os princípios ativos de fungicidas com registro no IBAMA são: tribromofenol, pentaclorofenol, dicromato de sódio, carbendazim, prochloraz, CCA, quinolinolato de cobre, cipermetrina, 3-iodo-2-propinil butil carbamato (IPBC), CCB, óleo creosoto.

O trabalho de Fernandes *et al.* (1982) concluiu que o pincelamento de topo das toras de *Pinus elliottii* com solução fungicida (pentaclorofenato de sódio e tetraborato de sódio) a

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC

4 % foi ineficiente em evitar a mancha azul na madeira para produção de lambris. A fase de pré-secagem ao ar livre de madeira serrada permite o aparecimento das manchas azuis, mesmo que a madeira tenha sido submetida ao banho fungicida em solução a 2 %. O tratamento mais eficiente, com madeira totalmente isenta de manchas azuis, é aquele em que a madeira é conduzida para secagem em estufa imediatamente após o seu desdobro, mesmo sem a aplicação de solução fungicida.

Penna (2000) estudou o controle químico da mancha azul em *Araucaria angustifolia* relatando bom desempenho dos fungicidas tribromofenato de sódio e quinolinolato de cobre principalmente na época menos úmida.

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. Para a manutenção da sanidade biológica das toras são indicados quatro tipos de medidas: desdobro imediato, submersão em água, pulverização com água e aspersão de fungicida.

O controle em madeira serrada pode ser feito de duas maneiras: secagem em alta temperatura para diminuir rapidamente a umidade abaixo de 20 % e tratamento com solução preservativa (Highley 1999). O tratamento com solução preservativa pode ser realizado por imersão ou aspersão imediatamente após o desdobro. Esses tratamentos são sempre superficiais e servem para proteger a madeira apenas durante a secagem. O tratamento por imersão pode ser classificado em manual, semi-automático ou automático. Todos eles consistem em dar um banho de imersão na peça de madeira por cerca de dez segundos na solução preservativa e deixar escorrer o excesso de solução. A aspersão tanto pode ser feita manualmente, por meio de pulverizadores costais, como automatizada em túneis com bicos pulverizadores. As peças tratadas com fungicida devem permanecer empilhadas sem tabicamento por cerca de 12 horas, para uma melhor fixação dos produtos.

Bactérias

A maior parte de madeiras que ficaram molhadas por um longo período de tempo provavelmente conterá bactérias. O cheiro acre de toras que ficaram submersas por muitos meses, ou da madeira desdobrada delas, são indícios da ação de bactérias. De um modo geral, as bactérias têm pequeno efeito nas propriedades da madeira, exceto por longos períodos, mas torna a madeira com grande poder de absorção de água. O que gera, durante tratamentos ou usos, absorção excessiva de água, adesivos, tintas, ou preservativos. Existem também evidências (Highley 1999) de que o desenvolvimento de bactérias em lâminas de pinus

submersas em barcos ou sob aspersão com água causam alterações de propriedades físicas e perda de resistência mecânica. Adicionalmente, uma mistura de diferentes bactérias, assim como de fungos, é capaz de acelerar o apodrecimento de madeiras tratadas em toras de resfriamento e em minas. As bactérias também podem ser usadas como auxiliar em processos de polpação para a diminuição de extrativos da madeira (Burnes *et al.* 2000).

Testes de Eficiência de Tratamentos Preservativos Contra Fungos Emboloradores e Manchadores

Testes em laboratório para determinar o potencial de compostos fungicidas contra fungos manchadores e emboloradores são freqüentemente feitos pela inoculação de madeira previamente tratada com uma suspensão de esporos preparadas a partir culturas de fungos isolados de madeira em decomposição. A escolha dos fungos a serem testados deveria ser ditada pelas espécies com maiores ocorrências na região geográfica de interesse, sua facilidade de isolamento, manutenção e cultivo em laboratório, e sua atividade de crescimento quando for inoculado artificialmente em amostras de madeira (Eaton e Hale 1993).

Algumas espécies crescem muito lentamente sofrendo competição de espécies com rápido crescimento que dominam a superfície da madeira. Como a maioria dos testes são qualitativos, os organismos devem ser escolhidos entre aqueles com habilidades saprófitas competitivas e que sejam representativos da microflora local. Outra possibilidade de ensaio laboratorial é colocar amostras de madeira tratada em contato com amostras manchadas ou emboloradas de forma a permitir a transferência de infestação.

Uma diversidade de testes têm sido adotada para avaliar o desempenho de fungicidas nos tratamentos de madeira verde pós-colheita. Nenhuma metodologia recebeu aceitação geral e irrestrita. A maior parte dos ensaios é baseada em pequenas amostras de madeira verde não-esterilizada como substrato para tratamento por imersão em diferentes concentrações de fungicidas. Uma mistura de inóculos de fungos é então aplicada na superfície da madeira por aspersão ou pipetagem. A incubação é conduzida em temperatura ideal para o desenvolvimento do fungo sendo as amostras de madeira colocadas sobre papel de filtro molhado, pó de madeira úmida, terra úmida, ou ágar para manter condições de umidade que evitem a secagem da amostra. O desempenho dos produtos usados como fungicida é avaliado pela extensão e intensidade da colonização dos fungos comparados a amostras testemunhas após o período de incubação. Os fungicidas com melhores desempenhos são submetidos a testes de campo.

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC

Muitos pesquisadores acreditam que os testes de campo são tão rápidos para serem realizados que

não há necessidade de se testar o desempenho em laboratório.



Figura 5 - Ensaio de biodegradação acelerada em laboratório.

Figure 5 - Accelerated biodegradation test for wood decay resistance.

Hellwig e Wegen (2000) propõem testes laboratoriais para avaliar o desempenho de revestimento de madeira frente ao intemperismo e inoculação de fungos da mancha azul. Nesse trabalho fica evidenciado que os fungos manchadores podem infestar madeira pintada através de pequenos defeitos no filme aplicado, mesmo se a tinta tiver em sua composição fungicidas como o IPBC e o dichlofluânid.

TRATAMENTO PRESERVATIVO CONTRA APODRECEDORES

Os produtos usados nos tratamentos preservativos de madeira podem ser classificados em oleossolúveis e hidrossolúveis. Diversos são os produtos empregados para tratamento de madeira, todavia os mais usados no mundo inteiro são quatro: creosoto, pentaclorofenol, CCA (arseniato de cobre cromatado) e ACA (arseniato de cobre amoniacal). Todos vêm recebendo pressões contra o seu uso, sendo que em diversos países já foram proibidos. No Brasil o mais usado é o CCA e depois o CCB (borato de cobre cromatado), sendo que o creosoto e o pentaclorofenol está praticamente em desuso.

A ABNT (NBR 6232 e 9840) possui normas que padronizam os tratamentos preservativos de postes e mourões. A retenção mínima preconizada deve ser de: a) 6,5 kg de ingredientes ativos por metro cúbico de madeira tratada para os preservativos hidrossolúveis; b) 100 kg de creosoto por metro cúbico de madeira tratada; c) 5 kg de pentaclorofenol por metro cúbico de madeira tratada. Essas normas também estabelecem a composição química e a base de cálculo para os ingredientes ativos.

Conforme o método usado para aplicação dos produtos preservativos os processos dividem-se entre sem pressão, ou método prático, e com pressão, ou método industrial.

Métodos de tratamento sem pressão

Os processos de tratamento preservativo sem pressão podem ser por: a) pincelamento, aspersão ou pulverização; b) imersão; c) banho quente-frio; d) substituição de seiva; e) Boucherie ou Boucherie modificado; e f) difusão. Destes métodos os mais eficientes são a substituição de seiva, para preservativos hidrossolúveis, e o banho quente-frio, para os oleossolúveis.

Pincelamento, aspersão ou pulverização

São métodos indicados para madeiras muito permeáveis e não proporcionam uma longevidade da madeira assim tratada. A penetração e retenção de solução preservativa são pequenas. Estes processos servem para madeiras que serão utilizadas em circunstâncias de baixa incidência de ataque por organismos xilófagos. Os produtos usados nesses tratamentos são os hidrossolúveis ou os oleossolúveis de baixa viscosidade.

Imersão

Neste processo a retenção e penetração dos preservativos é maior que no caso anterior, todavia, ainda é um tratamento não indicado para madeiras que serão enterradas ou estarão em contato com umidade. No caso de se tratar madeira verde, recomenda-se usar preservativos hidrossolúveis, e para madeira seca, abaixo do ponto de saturação das fibras, é melhor o emprego de preservativos oleossolúveis com baixa viscosidade. O tempo de imersão pode variar de alguns segundos até muitos dias, depende do produto empregado e da permeabilidade da madeira.

Banho quente-frio

Este processo é indicado para tratamento de madeira seca com a utilização de preservativos oleossolúveis, ou um hidrossolúvel que permaneça estável sob aquecimento. É mais usado com preservativos oleossolúveis e se bem executado

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC

serve para madeiras que ficarão em contato com o solo ou água. O método consiste em aquecer a madeira em um banho quente por cerca de duas horas e em seguida submetê-la a um banho frio. O aumento da temperatura do banho quente, além de diminuir a viscosidade do preservativo, expulsa o ar do interior das células da madeira e também parte da água. O banho frio provoca a contração do ar com formação de um pequeno vácuo que promove a absorção do preservativo frio. Este método pode ser mecanizado e se tornar quase um processo industrial. Existem três caminhos para a mudança de banhos: 1) transferência das madeiras de um banho quente para o frio, em recipientes distintos; 2) drenar o preservativo quente e substituí-lo pelo preservativo frio; e 3) descontinuar o aquecimento e esperar que o preservativo se resfrie até a temperatura ambiente.

Substituição de seiva

É um processo que serve apenas para madeira roliça e verde recém-abatida. Consiste em substituir a seiva da madeira ainda verde pela solução preservativa. Desta forma, é importante que o tratamento seja realizado no máximo 24 horas após o corte da árvore. Outro fator importante, é

garantir que os sais estejam totalmente solubilizados na solução preservativa e que a proporção dos ingredientes seja mantida. A mistura de sais conhecida como CCB é especialmente recomendada para este caso, em virtude da reação de fixação ser lenta, permitindo um tempo maior para o tratamento prático. A solução de impregnação deve ser ácida, pH baixo, para manter a mistura de sais em completa solubilidade. Somente durante a secagem lenta dos mourões, à sombra, é que a reação de fixação deverá ocorrer no interior da madeira. Durante a reação de fixação ocorre uma mudança do pH no interior da madeira e os produtos impregnados ficam insolúveis, impedindo a lixiviação do preservativo durante o uso dos mourões. Para um tratamento eficiente a solução aquosa preservativa, além de penetrar profundamente no alburno, atingindo-o todo, deve também reagir com a madeira. A quantidade de ingrediente ativo por volume de madeira é de fundamental importância na preservação, influenciando no tempo de serviço do mourão tratado.



Figura 6 - Tratamento preservativo pelo método prático da substituição de seiva.

Figure 6 - Non-pressure treatment of fence posts by sap replacement.

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC

Boucherie modificado

É uma variante do processo de substituição de seiva, onde as peças já preparadas são colocadas no chão. 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, perfeitamente ajustada ao diâmetro da peça. A pressão hidrostática da solução força o preservativo ao longo da peça, deslocando a seiva que sai pela outra extremidade. O processo leva vários dias para penetrar completamente no alburno.

Difusão

Neste método a madeira com elevado teor de umidade é colocada em contato com soluções salinas concentradas. Por difusão os íons da solução migram para a madeira. A madeira para ser tratada por difusão deve ser preferencialmente de árvore recém-abatida e apresentar umidade acima de 50 %. Após o tratamento, sempre se recomenda que a madeira seja armazenada a sombra, com pouca ventilação, por um período de três a quatro semanas antes de seu uso. Esse período de armazenamento é para que o produto se distribua uniformemente por toda a peça. É comum o uso de produtos à base de sais de boro e flúor. São três os métodos para o uso do processo de difusão: submersão em um preservativo, submersão em dois preservativos, e aplicação do preservativo em forma de pasta (em

breve teremos a opção no Brasil de bastões sólidos).

Métodos de tratamento com pressão

Os métodos com aplicação de ciclos de vácuo e pressão em autoclave são os mais eficientes para tratamento preservativo de madeira (Barillari, 2002). Em um processo típico, a madeira é colocada em um cilindro horizontal de até 40 m de comprimento e 2,8 m de diâmetro. As instalações possuem ainda tanques de armazenamento, tanque misturador de soluções preservativas, bomba de vácuo, bomba de pressão, compressor de ar, bomba de transferência, tubulações, válvulas, sistema de aquecimento. Além disso, é necessário um sistema de vagonetas que deslizam sobre trilhos para carregar e descarregar a madeira da autoclave. Os métodos de tratamento por pressão são classificados em dois grupos básicos: célula cheia e célula vazia (Montana, 2000).

O processo de célula cheia começa com o estabelecimento de vácuo na autoclave para retirada do ar do cilindro. Depois o tanque é cheio com a solução preservativa e aumenta-se a pressão para 140-150 psi por várias horas, terminado esse tempo, drena-se a solução e aplica-se novo vácuo para a retirada do excesso de preservativo da superfície da madeira.



Figura 7 - Carregamento de autoclave para tratamento por pressão em usina de preservação de madeiras.
Figure 7 - Loading of pressure treatment tank.

O processo da célula vazia pode ser subdividido em dois grupos: Lowry e Rueping. Diferem do processo de célula cheia pelo vácuo inicial, o preservativo é injetado na madeira sem a retirada do ar de seu interior. Como consequência ocorre uma compressão do ar dentro da madeira durante o período de impregnação e, quando a pressão é aliviada, esse ar se expande e expulsa

parte do preservativo. No processo de Lowry o preservativo é injetado na madeira contra o ar já existente nas células, portanto à pressão atmosférica. No processo Rueping a fase inicial do tratamento consiste na compressão do ar já existente na madeira, até uma pressão de 35-40 psi, e só então o preservativo é recalçado para a autoclave, sem que seja permitida a queda de pressão do ar.

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC

Os problemas de apodrecimento em madeira nas construções civis são quase sempre um sinal de defeito de projeto ou práticas construtivas inapropriadas, falta de cuidados mínimos com o manuseio da madeira, ou manutenção inadequada da estrutura (Williams, 1997; Robbins e Morell, 2001).

Princípios construtivos que garantam uma longa vida em serviço e evita o apodrecimento das madeiras nos prédios incluem: 1) uso, na construção, de madeira seca e livre de apodrecimento incipiente, assim como de fungos emboloradores e manchadores, 2) emprego de técnicas e projetos construtivos que mantenham a madeira exterior seca, 3) uso de madeira tratada por fungicida onde existe algum risco de apodrecimento, e 4) uso de madeira tratada sob pressão em locais que o risco de apodrecimento é alto.

TRATAMENTOS ALTERNATIVOS

Uma outra forma de prevenir os fungos manchadores utiliza de características ecológicas dos fungos da mancha azul. Se a madeira for inoculada com um fungo mutante sem cor e disponível comercialmente, as manchas que se desenvolvem a partir de outros fungos podem ser evitadas. Esses fungos incolores são mutantes do fungo *Ophiostoma piliferum* que foram inicialmente desenvolvidos para a indústria de papel e celulose (Croan, 2000). O problema com essa técnica está se a madeira tiver que sofrer acabamento com tingidores comerciais. Fungos manchadores alteram a porosidade da madeira, que pode resultar em uma aparência cheia de manchas. O uso de seladores antes do tingimento pode resolver este inconveniente.

Crawford e Green III (1999) e Green III *et al.* (1996) apresentaram o produto preservativo hidrossolúvel N'N-naptaloilhidroxilamina (NHA) que é um agente precipitador de íons cálcio e tem ação preservativa contra fungos da podridão branca e parda e também contra cupim. O comportamento do novo preservativo foi semelhante ao do CCA em diversos testes de laboratório, mas não apresentou resistência ao fungo amolecedor.

A nanotecnologia também apresentará soluções inovadoras para a proteção de madeiras. Existe uma emulsão extremamente hidrofóbica anunciada por empresa Australiana. Pode-se também acrescentar pós inorgânicos em creosoto para que após a impregnação em madeira não ocorra a exsudação do preservativo além de permitir o revestimento com tintas. Também existem trabalhos com nanopartículas poliméricas contendo biocidas que impregnadas em madeira liberam lentamente o fungicida.

Outra tecnologia no campo da nanotecnologia é a deposição de filmes sólidos por

plasma frio. A técnica quase não tem emissão de poluentes e o consumo de materiais é reduzido, mas é extremamente eficiente na modificação química da superfície da madeira, sem alterar sua características morfológicas. Conseguem-se madeira com alta repelência e dureza superficiais sem além de grande resistência a produtos químicos (Magalhães, 2002; Magalhães e Souza, 2002a e b).

Outros tratamentos dignos de nota são a impregnação com monômeros e polimerização *in situ* (Magalhães, 1998, Magalhães e Silva, 2004; Ibach e Rowell, 2001) que conferem além da resistência à biodegradação aumento de resistência mecânica e de estabilidade dimensional. Existem ainda a impregnação da madeira com alcoóxidos metálicos, como o tetra etil ortosilicato (TEOS) e outros (Mai e Militz, 2004; Magalhães, 1998; Saka e Ueno, 1997), que conferem proteção anti-chama além da resistência à biodegradação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Madeira serrada em bruto acondicionamento e embalagem. NBR 9194. Rio de Janeiro, 1985. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Mourões de madeira preservada para cercas. NBR 9480. Rio de Janeiro, 1986. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Penetração e retenção de preservativo em postes de madeira. NBR 6332. Rio de Janeiro 1973. 19p.

BARILLARI, C. T. Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. ESALQ. Piracicaba. 68p. 2002.

BURNES, T. A.; BLANCHETTE, R. A., FARRELL, R. L. Bacterial biodegradation of extractives and patterns of bordered pit membrane attack in pine wood. *Applied and Environmental Microbiology*, v.66, n.12, p.5201-5205. 2000.

CRAWFORD, D. M.; GREEN III, F. Protection of Southern Pine using N'N-Napthaloydroxylamine: field tests, soft-rot cellars and aquatic bioassay leach testing. The International Research Group on Wood Preservation. 30th Annual Meeting, Rosenhein, Germany, 6-11 June. 1999.

CROAN, S. C. Destaining wood sapstains caused by *Ceratocystis coerulea*. The International Research Group on Wood Preservation. 27th Annual Meeting, Guadaloupe, French West Indies, 19-24 May. 1996.

II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal

Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais

06 a 09 de Junho de 2005 – Blumenau - SC

- CROAN, S. C. Evaluation of white rot fungal growth on Southern Yellow Pine wood chips pretreated with blue stain fungi. The International Research Group on Wood Preservation. 31st Annual Meeting, Kona, Hawaii, USA, 14-19 May. 2000.
- De LELIS, A. T. (coord.) Biodeterioração de Madeiras em Edificações. Manual IPT, São Paulo, 54p., 2001.
- EATON, R. A.; HALE, M. D. C. Wood – Decay, Pests and Protection. Chapman & Hall, London, p.546. 1993.
- FERNANDES, P. S.; BAENA, E. S.; SUSIN, L. Um estudo sobre o tratamento preventivo de toretes de *Pinus elliottii* contra fungos manchadores. p. 772-773. 1982.
- FURTADO, E. L. Microorganismos manchadores da madeira. Série Técnica IPEF, v. 13, n.23, p. 91-96. 2000.
- GREEN III, F.; KUSTER, T. A.; HIGHLEY, T. L. Inhibition of wood decay and termite damage by calcium precipitation. The International Research Group on Wood Preservation. 27th Annual Meeting, Guadeloupe, French West Indies, 19-24 May. 1996.
- HIGHLEY, T. L. Biodegradation of wood. Forest Products Laboratory. Wood handbook – Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rp.FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463p. 1999.
- IBACH, R. E. Wood preservation. Forest Products Laboratory. Wood handbook – Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rp.FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463p. 1999.
- IBACH, R. E.; ROWELL, R. M. Wood Preservation Based on In situ Polymerization of Bioactive Monomers Part 1. Synthesis of Bioactive Monomers, Wood Treatments and Microscopic Analysis. *Holzforschung*, v.55, p.358-364. 2001.
- JESUS, M. A. DE; LUCIANO, J. A. Contribuição para o conhecimento dos fungos apodrecedores de madeira do Brasil. III. 7^o Congresso Florestal Brasileiro. SBS-SBEF:Set., p.180-182. 1993.
- KAARIK, A. Fungi causing sap stain in wood. Intl. Research Group on Wood Preservation, Doc. IRG/WP/199. 1980.
- KNAEBE, M. Decay processes and bioprocessing. TechLine.U.S.Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. 2002.
- MAGALHÃES, W. L. E. Deposição de filmes protetores sobre madeira pela técnica do plasma frio. 82 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Departamento de Interunidades, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002.
- MAGALHÃES, W. L. E. Impregnação de *Pinus caribaea hondurensis* com álcool furfúrico e tetra-etil-ortossilicato. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Departamento de Interunidades, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.
- MAGALHÃES, W. L. E.; SILVA, R. R. da. Treatment of caribbean pine by in situ polymerization of styrene and furfuryl alcohol. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 91, p. 1763-1769, 2004.
- MAGALHÃES, W. L. E.; SOUZA, M. F. de. Solid softwood coated with plasma-polymer for water repellence. *Surface and Coatings Technology*, v. 155, p. 11-15. 2002a.
- MAGALHÃES, W. L. E.; SOUZA, M. F. de. Solid wood treated by plasma jet. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES - ISNaPol/2002, 4, 2002, São Pedro. Proceedings. São Carlos: Empresa Instrumentação Agropecuária, 2002. Editado por Luiz Henrique Capparelli Mattoso, Alcides Leão e Elisabete Frollini. 2002b.
- MAI, C.; MILITZ, H. Modification of wood with silicon compounds. Treatment systems based on organic silicon compounds — a review. *Wood Sci Technol*, v.37, p.453-461. 2004.
- MONTANA QUÍMICA. Biodegradação e preservação de madeiras. 58p. 2000.
- OZAKI, S. K. Compósitos biodegradáveis de resíduos de madeira-PVA modificado por anidrido ftálico. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Departamento de Interunidades, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.
- SAKA, S.; UENO T. Several SiO₂ wood-inorganic composites and their fire-resisting properties. *Wood Sci Technol*, v. 31, p.457-466. 1997.
- WEGEN, W.; HELLWIG, V. Artificial weathering of coatings including blue stain infection under laboratory conditions. Second Woodcoatings Congress. 23-25 October 2000. The Hague. The Netherlands. Paper 26. 2000.