

1ª Aula

1. HISTÓRICO DA PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS

1.1 - Principais Acontecimentos no Mundo

225 milhões de anos atrás

Primeiros relatos sobre a existência da árvore na terra.

2 milhões de anos atrás

Primeiros vestígios sobre o aparecimento do homem na terra.

16 mil anos atrás

Surgem os primeiros sinais sobre uso da madeira como combustível e as primeiras utilizações da madeira como arma de defesa e para fogo.

8 mil anos atrás

Estudos comprovam a invenção do machado e início do trabalho com a madeira.

Idade da Madeira

Uma época que alguns pesquisadores admitem ter ocorrido antes da idade da pedra.

Uso consciente da madeira preservada

Não existe uma época precisa sobre o uso consciente de algum tipo de técnica de tratamento contra a deterioração da madeira.

No Antigo Testamento

O Livro Levítico narra fatos sobre o apodrecimento em habitações de madeiras chamado de “Lepra de Habitações” onde se utilizavam rituais para eliminação através do sacrifício de pássaros.

A Arca de Noé

Noé foi instruído por Deus para proteger o casco da arca com piche como impermeabilizante ou repelente de água.

3500 anos atrás

Os Fenícios e Cartagineses já utilizavam o piche em suas embarcações. Os Gregos usavam o alcatrão, ceras ou chapas de chumbo.

Arquimedes de Siracusa 287 a 212 a. C. e os Romanos

Utilizavam chapas de chumbo em suas embarcações para proteção contra brocas marinhas e também como proteção do casco nas batalhas.

Os Gregos 1000 anos a. C.

Tinham o costume de colocar pilares de madeiras sobre pedras.

As civilizações antigas

Burma, da China, do Egito, da Grécia e da Itália usavam óleos vegetais, minerais e animais para proteção de madeiras de sarcófagos.

Os Gregos e Romanos

Injetavam óleos no interior da madeira através de orifícios previamente feitos.

Até o Século XVI

O progresso obtido na preservação de madeira foi lento.

Durante os séculos XV até XVIII

A proliferação das viagens marítimas ocasionou um aumento considerável do ataque de brocas marinhas e um conseqüente apodrecimento das embarcações da época.

A Companhia das Índias orientais

As suas embarcações faziam viagens regulares à Índia, as quais após a quarta viagem deterioravam.

A Armada Espanhola 1590

Perdeu mais de 100 embarcações devido ao ataque de brocas marinhas.

Vasco da Gama 1469 a 1524

Nesta época tinha-se por hábito carbonizar os cascos das embarcações como meio de proteção contra o apodrecimento.

De 1500 até o Início do Século Passado

Muitos produtos químicos que apresentavam alguma barreira física contra a deterioração foram testados, porém a maioria fracassou.

Em 1590

A invenção do microscópio.

Em 1600

As primeiras observações e caracterizações de células de madeira ao microscópio.

A Partir do Início de 1800

Com o advento do desenvolvimento científico e industrial a preservação de madeiras apresentou seus primeiros sucessos.

A Partir de 1830

Já havia disponibilidade de creosoto, contudo não havia um processo eficaz para aplicá-lo.

Uma Evolução Paradoxal

Primeiro foram desenvolvidos processos mais sofisticados para depois serem desenvolvidos outros mais simples e rudimentares.

Em 1831

Patenteado o primeiro processo de tratamento sob pressão, pelo francês Jean Robert Bréant.

Em 1838

Inaugurada definitivamente a era industrial da preservação de madeiras com a descoberta do processo de Célula Cheia patenteado por John Bethell. Paralelamente o Dr. Auguste Boucherie patenteava o seu processo sem vácuo/pressão.

Neste Mesmo Período

Surge o advento da Teoria da Geração Espontânea que trouxe duas teorias sobre o apodrecimento de madeiras: (1a) Resultado de metamorfoses naturais que ocorrem durante o envelhecimento da madeira e (2a) Uma combustão lenta provocada pelo oxigênio.

Entre 1850 e 1860

Pasteur derrubava a Teoria da Geração Espontânea.

Em 1863

O alemão Hermann Schacht descobre que o fungo apodrece a madeira.

Em 1881

O processo Boulton é patenteado por Samuel Bagster Boulton.

Em 1902

O processo Rueping é patenteado por Max Rueping.

Em 1906

O processo Lowry é patenteado por C. B. Lowry.

Em 1950

Descobrem-se os fungos da classe ascomicetos, fungos imperfeitos e bactérias deterioradoras de madeiras. Surgimento de uma nova fase nas pesquisas em preservação de madeiras que perduram até hoje.

1.2 - Principais Acontecimentos no Brasil

Documento mais antigo 1587

Um senhor de engenho relata infestações de cupins subterrâneos em habitações e faz observações sobre brocas de madeiras e brocas marinhas. Faz observações sobre a durabilidade natural de diversas madeiras em diferentes tipos de ambientes. Também verifica que o cerne é mais durável que o alburno.

3 Séculos mais Tarde em 1854

É inaugurada a primeira ferrovia brasileira no RJ com abundância de madeiras duráveis próximo as ferrovias.

De 1865 a 1868

A introdução do eucalipto no Brasil.

De 1880 a 1884

Importação de aproximadamente 50 mil dormentes creosotados vindos da Inglaterra pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro.

Em 1883

Campos - RJ é a primeira cidade do Brasil e da América Latina a receber iluminação elétrica.

Em 1889

Criação do Gabinete de Resistência de Materiais, futuro IPT.

Em 1990

A antiga Companhia Estradas de Ferro Central do Brasil importa da Inglaterra a primeira usina de tratamento de madeiras sob pressão.

Entre 1902 e 1904

Entra em funcionamento na Estação Francisco Bernardino em Juiz de Fora -MG a primeira usina para tratamento de dormentes com 14,4m de comprimento e 1,82m de diâmetro.

A partir de 1905

Início da utilização de eucaliptos para postes na Fazenda Araras - SP.

Em 1907

Importação de aproximadamente 80 mil dormentes tratados na Austrália para construção da Estrada de Ferro Madeira-Mamoré em plena selva amazônica.

Em 1916

Utiliza-se pela primeira vez madeira de *Eucalyptus longifolia* para telefonia, sem tratamento. Durou aproximadamente 6 anos.

De 1922 até 1929

Ocorre um aumento no uso de postes de eucalipto ainda não tratados devido a expansão da energia elétrica, telefonia e telegrafia.

Início da Década de 30

A usina da Estrada de Ferro Central do Brasil já trata dormentes com creosoto.

Em 1931

O Gabinete de Resistência de Materiais passa a chamar-se Laboratório de Ensaios de Materiais e inicia as primeiras pesquisas em preservação de madeiras.

Primeira Pesquisa

Avaliação da penetração de preservativo hidrossolúvel pelo método de imersão em estacas. O efeito nas propriedades mecânicas e o aumento da vida média.

Segunda Pesquisa

Efeito do tratamento de Banho Quente-Frio com creosoto em peças de eucalipto roliço. Edmundo de Andrade Navarro - Rio Claro - SP, 1935. Os mesmos após 26 anos em 1961 encontravam-se em bom estado de conservação.

Em 1936

Fundação da primeira empresa de capital privado chamada Preservação de Madeiras Ltda. Fornecia madeira tratada com creosoto pelo método de Banho Quente-Frio. Após dificuldades na obtenção do produto mudou para o método de Boucherie utilizando produto à base de Fluoreto - Dicromato - Dinitrofenol.

Terceira Pesquisa

Ensaio de Campo sobre a resistência natural de várias espécies de madeiras contra o ataque de cupins e a eficiência do pentaclorofenol. Djalma Guilherme de Almeida em 1939.

Início da Década de 40

Primeiros ensaios em laboratório Avaliação da Eficiência de Produtos químicos contra fungos. Avaliação de ensaios de campo sobre a resistência natural de madeiras contra o ataque de cupins e ensaios sobre a eficiência de preservativos.

Mesmo Período

Entrou em funcionamento a primeira usina do setor privado utilizando vácuo-pressão. Inauguração da usina de tratamento do IPT - ex. Laboratório de Ensaio de Materiais.

Em 1944

A empresa Preservação de Madeiras Ltda. põe em funcionamento a primeira usina de tratamento usando vácuo-pressão e o mesmo produto químico Fluoreto - Dicromato - Dinitrofenol. Após 1961 passou a utilizar o CCB.

Início da Década de 50

Novos estudos e testes de campo sobre a durabilidade natural de madeiras em contato com o solo e também sobre a eficiência de preservativos.

Mesmo Período

Pesquisas sobre a preservação do bambu, sobre a durabilidade natural de madeiras em ambiente marinho e a eficiência de preservativos.

Em 1958

Entra em funcionamento a segunda usina de tratamento de madeiras sob vácuo-pressão em Governador Valadares - MG preservando dormentes para a CVRD.

Final da Década de 50

3 usinas de tratamento de capital privado entram em funcionamento preservando postes, moirões, etc. Inicia-se a fabricação de produtos químicos preservativos no Brasil.

Início da Década de 60

Aumento das pesquisas e a primeira tese de mestrado e doutorado em preservação de madeiras.

Mesmo Período

Mais de 10 usinas de tratamento inauguradas Aquidauana - MS, Mateus-Leme - MG, Cruz Alta - RS, Ponta Grossa - PR, Juiz de Fora - MG, Fortaleza - CE, Goiânia - GO, Iaçú - BA, Casimiro de Abreu - RJ e Tubarão - SC.

De 1965 a 1967

Promulgação dos decretos Lei 58.016 de 18/08/66 e 61.248 de 30/05/67 obrigando o uso de madeira tratada.

Em 1967

28 de fevereiro é criado o IBDF, o qual passa a aplicar as Leis e Decretos.

Em 1969

25 de agosto é fundada a ABPM, sociedade civil de direito privado.

Início da Década de 70

Uma retrospectiva sobre os trabalhos de pesquisa na área.

Mesmo Período

Início do ensino de preservação de madeiras em universidades. Aumento dos problemas com postes tratados inadequadamente, de usinas funcionando sem respaldo técnico, ausência de especificações técnicas e um rígido controle de qualidade ocasionaram uma queda no uso de madeiras tratadas especialmente os postes de eucalipto.

Períodos	Trabalhos
1910 – 1919	01
1920 – 1929	01
1930 – 1939	10
1940 – 1949	16
1950 – 1959	16
1960 – 1969	37

1970 – 1979	92
-------------	----

Em 1972

Regulamentada a produção de madeira preservada e de preservativos de madeira através das portarias do IBDF 2474 - DN e 2748 - DN de 16/03.É celebrado o convênio entre IBDF/IPT/ABPM.

Em 1973

Divulgadas as normas ABNT EB-569 Postes de Eucalipto Preservados Sob Pressão e MB-790 Penetração e Retenção de Preservativo em Postes de Madeira.

Início da Década de 80

Novas pesquisas como a eficiência do óleo de castanha de caju contra brocas marinhas e cupins. Inauguração da usina da CNO - Construtora Norberto Odebrecht S/A a qual até 84 havia tratado um total de 1.126.685 dormentes de madeiras da Amazônia.

Mesmo Período

Total de usinas de tratamento são de 10 RFFSA, 01 FEPASA, 01 CVRD e 01 CNO.

Em 1982

Realização do 1º Encontro Brasileiro em Preservação de Madeiras, de 25 à 27/10, com a participação de 142 pesquisadores.

Em 1985

O Brasil sediou dois eventos internacionais da área: o IRG (The International Research Group on Wood Preservation), e o IUFRO (The International Union of Forestry Research Organizations).

Em 1986

De 27 à 29/10 – 2º Encontro Brasileiro em Preservação de Madeiras.

Em 1989

De 25 à 27/10 – 3º Encontro Brasileiro em Preservação de Madeiras.

2ª Aula

2. LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS

2.1 Normas que Já Receberam Número NBR

NBR 6229

Postes de Eucalipto Preservados sob Pressão. Especificação

NBR 6232

Penetração e Retenção de Preservativos em Postes de Madeira. Método de Ensaio.

NBR 6236

Madeiras para Carretéis para Fios, Cordoalhas e Cabos. Especificação.

NBR 8456

Postes de Eucalipto Preservados para Redes de Distribuição de Energia Elétrica. Especificações.

NBR 8457

Postes de Eucalipto Preservados para Redes de Distribuição de Energia Elétrica - Dimensões. Padronização.

NBR 8764

Madeiras para Embalagens para Isoladores. Especificação.

2.2 Normas que Ainda Não Receberam Número NBR

EB 474/1986

Moirões de Madeira Preservada para Cercas. Especificação 11: 01.02.001

2.3 Leis e Decretos Relacionados à Preservação de Madeiras

Lei n.º 4.797 de 20/10/65

Torna obrigatório, pelas empresas concessionárias dos serviços públicos, o emprego de madeiras preservadas.

Decreto-Lei n.º 58.016 de 18/03/66

Regulamenta o dispositivo na lei n.º 4797 de 20/10/65 e dá nova redação. Uso obrigatório em todo o território nacional em serviços de utilidade pública, explorados por empresas estatais, paraestatais e privadas destinadas aos transportes ferroviário e rodoviário, serviços telegráficos, telefônicos e de fornecimento de eletricidade, o emprego de madeiras preservadas, especialmente preparados e trabalhados para esse fim.

Decreto-Lei n.º 61.248 de 30/08/67

Dá nova redação ao artigo 4º do decreto n.º 58.016 de 18/03/66. Artigo 4º Na preservação de madeira, será dada preferência aos produtos de fabricação nacional, observadas as condições de similaridade, nos termos da seção V do Decreto-Lei n.º 37, de 18/11/66 e sua regulamentação.

2.4 Portarias do IBAMA (ex. - IBDF)

Portaria n.º 2748 - DN de 16/03/72

Dá competência às D.E. do IBAMA para fiscalizar a indústria e comércio de equipamentos e instalações de preservação de madeiras, registro de empresas de tratamento e de fabricantes de preservativos bem como dos seus produtos químicos dentre outras atribuições.

Portaria n.º 055/82 - P de 08/03/82

Regulamenta a forma de registro de usinas de preservação de madeiras:

- Tipo de Usina (com ou sem pressão);
- Capacidade Técnica atestada por Engenheiro Florestal, Engenheiro Agrônomo, Químico ou Químico Industrial, no exercício legal de sua profissão;
- Histórico;
- Material Tratado;
- Planta Detalhada de Instalação;
- Preservativos a serem utilizados;
- Método de tratamento;
- Área total do imóvel;
- Planta topográfica de situação e;
- Comprovação de condições técnicas de combate a incêndios e prestação de primeiros socorros de emergência.

2.5 Portaria do Ministério da Agricultura**Portaria n.º 329 de 02/09/85**

Proíbe em todo o território nacional, a comercialização, o uso e a distribuição dos produtos agrotóxicos organoclorados, destinados à agropecuária: Aldrin, BHC, Canfeno Clorado (Toxafeno), DDT, Dodecacloro, Endrin, Heptacloro, Lindane, Endosulfan, Metoxicloro, Nona-Cloro, Pentaclorofenol, Dicofol e Clorobenzilato.

2.6 Leis e Decretos de Leis Estaduais sobre Agrotóxicos (1986)

- Lei nº 7.747 de 22/12/82 (Rio Grande do Sul)
- Projeto de Lei nº 330/83 de 21/09/83 (Minas Gerais)
- Lei nº 398 de 01/11/83 (Mato Grosso)
- Lei nº 7.827 de 29/12/83 (Paraná)
- Lei nº 4002 de 05/01/84 (São Paulo)
- Lei nº 6.452 de 19/11/84 (Santa Catarina)

2.7 Entidades Internacionais de Normalização

- AFNOR** - Association Française de Normalisation
- NF** - Normes Françaises
- ANSI** - American National Standard
- ASTM** - American Society for Testing and Materials
- AWPA** - American Wood-Preserver's Association
- BSI** - British Standards Institution
- BS** - British Standard
- COPANT** - Comisión Panamericana de Normas Técnicas
- CAN** - National Standard of Canada
- SCAN** - Standards Council of Canada

DIN - Deutsches Institut für Normung

DIN - Deutsches Norm

IRAM - Instituto Argentino de Racionalización de Materiales

ISO - International Organization for Standardization

JSA - Japanese Standards Association

JAS - Japanese Agricultural Standards

JIS - Japanese Industrial Standards

NP - Norma Portuguesa

SAA - Standards Association of Austrália

3ª Aula

3. BIODETERIORAÇÃO DE MADEIRAS

3.1 Definições Preliminares

Biodegradação: Alteração indesejável de uma ou mais propriedades de um material, como resultado da ação de organismos vivos. Ex.: ataque de cupins em componentes de madeira de edificações ou apodrecimento de moirões de cerca, etc.

Biocida: Substância utilizada para matar organismos. Inseticidas, Fungicidas, Herbicidas, etc.

Bactéria: Grupo de organismos microscópicos constituídos de uma ou várias células, sem formação de micélios definidos. Estima-se que no solo existam cerca de 100.000 bactérias por cm³.

Bolor: Espécies de fungos que se desenvolvem na superfície de materiais, produzindo estruturas de reprodução que conferem à superfície uma aparência lonosa ou empoeirada.

Fungo: É um grupo de organismos unicelulares ou providos de filamentos tubulares (hifas), sem clorofila. Apresentam reprodução sexuada e assexuada, com produção de esporos. Vivem como saprófitas ou parasitas de plantas e animais.

Mancha: Coloração produzida na madeira como consequência da ação dos microrganismos.

Degradação Biológica da Madeira (como acontece):

Madeira → polímeros naturais da parede celular.



Organismos → reconhecem como fonte de nutrição.



Alguns Organismos → sistemas enzimáticos específicos



Metabolizar os polímeros em unidades digeríveis.

3.2 Principais Agentes Deterioradores de Madeiras

3.2.1 Agentes Mecânicos

Toda e qualquer peça de madeira sujeita a qualquer tipo de movimento. A ação do movimento mecânico provoca um desgaste na madeira. Nada mais é que uma alteração indesejável na sua estrutura. Ex.: dormentes de estrada de ferro; degraus de uma escada; blocos de madeira usados para pavimentação de cais, etc.

3.2.2 Agentes Físicos

Os principais agentes físicos que podem ocasionar a deterioração da madeira são:

- Fogo: é o principal responsável pela destruição de grandes peças de madeira.
- Calor: O aumento da temperatura ocasiona transformações químicas e estruturais na madeira, conferindo-lhe um aspecto semelhante a carbonização.
- Umidade: Peças de madeira situadas em locais de abundante umidade facilmente são atacados por fungos.

3.2.3 Agentes Químicos

Ácidos fortes, bases fortes, óxidos de ferro e enxofre, dentre outros, quando em contato com a madeira ocasionam uma redução nas suas propriedades físico-químicas, sendo os responsáveis pela sua decomposição. A madeira torna-se normalmente amolecida, com aparência desfibrada em forma de cabeleira. Identifica-se o agente químico utilizando um papel indicador umedecido (Tornassol). Pressiona-se este contra a área afetada e caso o pH estiver entre 2,0 e 8,0 pode-se concluir que o agente é de origem química. Alguns exemplos são madeiras em contato com ferragens; pregos cravados em madeiras; pisos de madeira de fábricas de produtos químicos.

3.2.4 Agentes Biológicos

Da estrutura anatômica da madeira, podemos destacar três principais componentes de fundamental interesse para a biodeterioração de madeiras, quais sejam: celulose, hemicelulose e lignina. Em segundo plano temos os materiais nitrogenosos, pectina, amido, açúcares, etc. que se encontram em menor quantidade, conforme apresentado no Quadro 1.

QUADRO 1. Composição quantitativa da madeira

COMPONENTE/ESPÉCIE	CONÍFERAS (%)	FOLHOSAS (%)
Celulose	40 – 45	40 – 55
Hemicelulose	20 – 30	20 – 40
Lignina	25 – 35	15 – 25
Extrativos	02 – 10	01 – 05
Compostos Minerais	0,1-1,0	0,1 - 1,0

Diversos organismos na natureza podem, de uma forma direta ou indireta, utilizar estes componentes da madeira como fonte de energia, ocasionando com isso a chamada biodeterioração da madeira. Estes organismos são chamados “organismos xilófagos”.

Os principais agentes biológicos causadores da maioria dos danos e perdas em estruturas de madeira são os: insetos, fungos, moluscos, crustáceos e bactérias. Dentre estes, os principais responsáveis pela maioria das perdas em vários tipos de produtos florestais são os fungos e insetos.

3.3 - Bactérias: Produzem um ataque vagaroso podendo levar até anos para notar-se alterações consideráveis na estrutura da madeira.

Inicialmente → atacam materiais de reserva das células dos raios.

Posteriormente → atacam as próprias células dos raios.

Estágio mais avançado → atacam as fibras e os traqueídeos.

Além disso, exercem outros dois papéis importantes quais sejam:

- São os primeiros a colonizar em ambientes úmidos.
- Exercem influência sobre outros organismos, atacando-os ou até inibindo-os.

3.4 - Fungos: Dos vários tipos de fungos existentes na natureza, os principais responsáveis pela deterioração de madeiras são os fungos apodrecedores, fungos manchadores e os fungos emboloradores. Estes fungos necessitam de determinadas condições favoráveis para poderem desenvolver o ataque na madeira.

3.4.1 Condições Favoráveis para o Desenvolvimento de Fungos em Madeiras

- 1ª) Umidade: -Em condições normais acima de 20% em relação ao seu peso seco.
-Em condições ótimas acima do PSF (30%)

-Valor máximo de umidade varia de acordo com a espécie da madeira, sempre abaixo da umidade de saturação.

2ª) Temperatura: - Ideal $\pm 25^{\circ}\text{C}$, com intervalo de ataque entre 10 a 40°C .

3ª) Oxigênio (aeração): -Resistente a concentrações baixas, inferiores a 20%.

-Algumas chegam até a 1% de oxigênio.

-A ausência de oxigênio inibe o ataque do fungo.

4ª) pH : -Valores ótimos para o desenvolvimento entre 4,5 e 5,5 (a maioria do pH das madeiras).

-Valor mínimo de 2,0 e máximo de 7,0.

5ª) Ausência de substâncias tóxicas:

-Extrativos formados durante a transição do alburno em cerne.

-Microrganismos onde algumas bactérias produzem antibióticos que inibem o desenvolvimento do fungo.

-Produzidas pelo homem como a impregnação de produtos químicos.

3.4.2 Tipos de Fungos

3.4.2.1 Fungos Apodrecedores

Na sua maioria são constituídos por basidiomicetos, ascomicetos e fungos imperfeitos os quais são responsáveis por diferentes tipos de podridão nas madeiras, tais como:

A. Podridão Branca

Pertence aos basidiomicetos. A madeira perde progressivamente seu peso bem como sua resistência física e mecânica. O fungo destrói a celulose, hemicelulose e a lignina da madeira.

Aspectos visuais:

- A madeira perde seu aspecto lustroso e a cor natural.
- Torna-se esbranquiçada devido a destruição dos pigmentos.
- Alguns casos linhas escuras demarcam a região atacada.

Em nível celular:

- O ataque inicia no lúmen e progride em direção a lamela média.
- Pode ocorrer ainda:
 - aumento no diâmetro das pontuações;
 - fissuras radiais na parede celular;
 - separação entre as células na região da lamela média e;
 - pequenas cavidades rombóides na parede secundária.

Exemplos:

- *Coriolus versicolor* L.ex Fr.
- *Polyporus versicolor* L.ex Fr.
- *Ganoderma applanatum* Pers. ex Walh.
- *Polyporus sanguineus* L. ex Fr.

B. Podridão Parda

Pertence aos basidiomicetos. A madeira perde progressivamente seu peso bem como sua resistência física e mecânica. O fungo destrói a celulose e a hemicelulose ficando a lignina praticamente intacta.

Aspectos visuais:

- Aspecto de levemente queimada, adquirindo uma coloração parda.
- Apresenta inúmeras rachaduras perpendiculares e ao longo da direção das fibras.
- A madeira colapsa com facilidade.

Em nível celular:

- A lignina mantém a estrutura da célula, por isso não ocorre a degradação da célula na direção lúmem/lamela média.
- A hifa do fungo no lúmem, secreta enzimas e difundem-se através da parede celular destruindo os carboidratos.
- O colapso ocorre porque a lignina residual não suporta as forças exercidas sobre a célula.
- O fungo produz perfurações na parede celular.

Exemplos:

- *Lentinus lepideus* Fr.
- *Lenzites trabea* Pers. ex Fr.
- *Poria monticola* Murr.

C. Podridão Mole

Pertence aos ascomicetos e fungos imperfeitos. Compromete as características físicas-mecânicas da madeira. Classe de fungo estudada por W.P.K. Findlay e J.G. Savory do “Princes Risborough Laboratory” da Inglaterra desde 1950.

Aspectos visuais:

- O ataque muitas vezes é confundido com o de agentes químicos.
- Capazes de atacar madeiras em situações que outros são inibidos, sendo mais tolerantes a preservativos de madeira.
- Seu ataque cria condições para o ataque de outros fungos xilófagos.
- O ataque se restringe a superfície da madeira não ultrapassando mais que 20 mm de profundidade.
- A região atacada é facilmente destacada.
- A madeira úmida quando atacada apresenta sua superfície amolecida, daí o nome “soft rot” por J.G. Savory.
- Quando seca, a parte apodrecida, apresenta-se escurecida lembrando ataque de podridão parda.

Em nível celular:

- As hifas do fungo colonizam o lúmem das células e passam de uma para outra através das pontuações.
- Utilizam as substâncias de reserva como fonte de energia.
- Algumas vezes a hifa inicia a degradação da parede celular pelo lúmem.
- No caso da degradação em forma de “V”, hifas de diâmetro diminuto nascem lateralmente na hifa mãe, as quais atravessam a parede celular.
- No caso da degradação em forma de “T” (típica), da hifa mãe, presente no lúmem, parte uma hifa de diâmetro menor que penetra na camada S₂ da parede secundária.
- Cada braço do “T” cresce em sentido oposto e penetra na camada S₂ no sentido das microfibrilas da celulose, formando cavidades rombóides.
- Visto longitudinalmente ao microscópio óptico sob luz polarizada visualiza-se inúmeras cavidades rombóides.
- Visto transversalmente, as células da madeira apresentam cavidades na camada S₂ da parede secundária.

-Em estágio avançado de ataque toda a parede secundária e primária é destruída.

Exemplos:

- *Chaetomium globosum*
- *Trichoderma viride*

3.4.2.2 Fungos Manchadores

Na sua maioria são constituídos por fungos imperfeitos e ascomicetos. Alimentam-se basicamente de amido e açúcares do lúmem das células de reserva da madeira.

Aspectos visuais:

- Restringem seu ataque ao alburno ficando o cerne praticamente intacto.
- Iniciam o ataque logo após a derrubada da árvore e prolonga-se até a secagem.
- Algumas vezes as manchas não são visíveis na superfície da madeira, porém existem em camadas mais profundas (ocorrem devido a secagem rápida).

Em nível celular:

- Eventualmente podem afetar a parede celular em estágio avançado de ataque.
- Alguns fungos desta classe, em fase avançada de ataque, podem provocar podridão mole, afetando a parede celular da madeira.
- A colonização é efetuada através do lúmem e as hifas atravessam a parede celular através das pontuações ou diretamente através de pequenos orifícios feitos pelas hifas.
- Em alguns casos a extremidade da hifa aumenta de volume formando um apressório, daí sai uma hifa de diâmetro menor que atravessa a parede celular readquirindo seu diâmetro normal ao ultrapassar a parede celular.

Exemplos:

- *Aureobasidium pululans*
- *Alternaria alternata*

3.4.2.3 Fungos Emboloradores

Pertencente aos fungos imperfeitos e ascomicetos. Alimentam-se basicamente dos materiais de reserva das células. Não afetam a estrutura da parede celular a não ser quando há a formação de apressório e conseqüente perfuração da parede da célula em estágio avançado de ataque.

Aspectos visuais:

- Muito comum em árvores recém abatidas devido a alta umidade e grande quantidade de materiais de reserva.
- Em estágio avançado de ataque pode produzir podridão mole.
- Apesar dos esporos estarem na superfície da madeira as hifas penetram fundo na madeira.
- Mesmo quando o teor de umidade for baixo (20%), se a U.R.A. for alta (90%) a madeira pode embolorar.
- São resistentes a vários tipos de preservativos de madeira.

3ª Aula (continuação)

3.5 - Insetos:

São organismos da Classe Insecta, popularmente conhecidos como “Brocas de Madeiras”, causam enormes danos às madeiras, sendo que seu ataque é superado apenas pelos fungos. Os principais insetos que atacam as madeiras estão distribuídos dentro das 5 Ordens abaixo relacionadas, dentre as 26 existentes:

- Isoptera (Cupins)
- Coleoptera (Besouros, Carunchos, Brocas)
- Hymenoptera (Vespas, Abelhas, Formigas)
- Diptera (Moscas e Mosquitos)
- Lepidoptera (Borboletas e Mariposas)

Contudo, as principais ordens que causam danos à madeira são:

3.5.1 Isoptera (Cupins)

Existem mais de 2.000 espécies de cupins no mundo, sendo que apenas algumas tem hábito xilófago. São considerados insetos sociais que vivem em colônias, cujas atividades são distribuídas entre as diferentes castas da colônia.

Os cupins digerem a madeira através do auxílio de um protozoário que vive no seu intestino em perfeita simbiose. A eliminação deste protozoário implica na morte do cupim, pois este não terá como digerir seu alimento. Em uma colônia de cupins existem basicamente quatro castas:

- 1ª) Rainha: é a responsável pela deposição dos ovos.
- 2ª) Reprodutores: são os responsáveis pela dispersão da espécie e formação de novas colônias.
- 3ª) Soldados: são os responsáveis pela defesa da colônia.
- 4ª) Operários: são os responsáveis pela construção dos ninhos e também os que atacam a madeira alimentando as outras castas.

A formação de novas colônias inicia com a revoada, onde ocorre o cruzamento entre um casal alado e posterior transformação da fêmea em rainha. De acordo com os seus hábitos os cupins são agrupados em diferentes categorias, quais sejam:

- 1ª) Cupins de madeira seca (Família *Kalotermitidae*)
 - Normalmente encontrados em regiões de clima quente.
 - Instalam-se e constroem seus ninhos em madeira com baixo teor de umidade.
- 2ª) Cupins de madeira úmida (Família *Hodotermitidae*)
 - Atacam a madeira pelo ar durante o vôo, não entrando em contato com o solo.
 - Atacam madeiras úmidas com alto teor de umidade e com início de apodrecimento.
 - Seu ataque pode estender-se a peças ainda não atacadas.
- 3ª) Cupins de solo ou subterrâneos (Gênero *Coptotermes*, Família *Rhinotermitidae*):
 - Responsáveis pelo maior volume de madeira destruída no mundo.
 - São os tipos mais destrutivos de cupins, encontrados principalmente em zonas de clima temperado e tropical.
 - Seu corpo não é revestido de quitina, por isso necessitam de elevada umidade relativa, pois, quando em contato com o ar seco perdem muita umidade.
 - Constroem seus ninhos a partir do subsolo em forma de tubos, mantendo as condições necessárias de umidade para desenvolver o ataque às estruturas da madeira.
 - Uma evidência do seu ataque é que eles mantêm uma fina camada externa da madeira intacta, a qual quando pressionada facilmente se romperá.
 - Ao perceber que uma peça de madeira está atacada por este tipo de cupim, pouco ou quase nada pode ser feito para recuperá-la, pois esta já se encontrará em estado avançado de ataque.

3.5.2 Coleoptera (Besouros)

▪ *Lyctus* sp. Ataca alburno contendo reservas de amido, gomas ou leite, umidade abaixo de 40%. Atacam madeira seca ou parcialmente seca até destruição total. Ele deposita os ovos nos vasos da madeira, oito dias depois nasce à larva que escava túneis, a fase de larva dura aproximadamente 7 meses, período no qual a madeira é atacada, passando depois para ninfa e por último como indivíduo adulto. Exemplo: *Lyctus brunneus* Steph.

- Ambrósia: perfurador de nome “pinhole”.
- *Anobium punctatum*: besouro que ataca alburno de madeiras de interiores.
- *Xestobium rufovillosum*: besouro de móveis que ataca construções antigas.
- *Hylotrupes bajulus*: “serrador” ou “serra-pau” ataca alburno de coníferas.

3.5.3 Hymenoptera (Formigas destruidoras de madeiras)

▪ Também chamadas formigas carpinteiras.

▪ Não se alimentam da madeira, utilizando-a apenas para se abrigarem.

▪ Iniciam a escavação em partes já apodrecidas da madeira, podendo se estender a outras áreas não atacadas.

3.5.4 Outros perfuradores de madeira

▪ Vespas e abelhas: escavam a madeira apenas para efetuarem a postura dos ovos.

▪ Outros insetos da família dos Cerambicideos, Platipodideos, Scolytideos e Anobideos, os quais atacam a madeira tanto na fase larval como na fase adulta, preferencialmente em madeira verdes e troncos recém abatidos.

- Perfuradores mais Comuns Encontrados em Coníferas
Prospheres aurantiopictus, *Calymmaderus incisus*, *Mitrostethes australiasiae*

3.6 - Moluscos e Crustáceos:

São vulgarmente conhecidos como “Brocas Marinhas”. São pequenos animais que produzem grandes danos em peças de madeira fixas ou flutuantes que permanecem submersas em água salgada.

3.6.1 Moluscos

▪ Atacam a madeira para abrigarem-se e complementar sua alimentação de plâncton através da celulose e especialmente hemicelulose digerida.

▪ Infestam a madeira na fase larval e permanecem nela até atingirem a fase adulta.

▪ Seu ataque é severo no interior da madeira porém dificilmente perceptível na superfície.

▪ Para inspecionar uma peça atacada faz-se necessário limpá-la dos organismos incrustantes como algas, cracas, etc.

▪ Exemplos: *Teredo* spp. (*Teredo navalis*); *Bankia* spp. e *Martesia* spp.

3.6.2 Crustáceos

▪ Atacam a madeira para abrigar-se e efetuar a postura de ovos.

▪ Produzem vários túneis logo abaixo da superfície da madeira.

▪ Infestam a madeira com dezenas de indivíduos/ cm².

▪ O animal recém-nascido difere-se do adulto apenas pelo tamanho, pois já apresenta capacidade para escavar a madeira.

▪ Os mais vorazes destruidores de madeiras pertencem ao gênero *Limnoria* sp.

4ª Aula

4. MÉTODOS PARA IMPEDIR A DETERIORAÇÃO DE MADEIRAS

4.1 Características Gerais

Existem na natureza espécies de madeira naturalmente mais resistentes a deterioração do que outras. Estas espécies mais resistentes, normalmente apresentam mecanismos de autodefesa, como por exemplo: a presença de extrativos, os quais, são tóxicos aos organismos xilófagos. Contudo a grande maioria destas espécies naturalmente mais resistentes a deterioração, além de serem mais raras, geralmente necessitam de algumas dezenas de anos para poderem tornar-se economicamente aproveitáveis.

Desta forma alguns mecanismos de proteção foram desenvolvidos com a intenção de tornar as espécies madeiras menos resistentes à deterioração mais úteis, pois na maioria das vezes estas são os que se encontram em maior abundância na natureza, como também, aquelas de mais fácil obtenção através de reflorestamentos. Os principais métodos para impedir a deterioração de madeiras são os abaixo relacionados.

4.2 Alteração ou Remoção de Substâncias Presentes na Madeira

Remoção: Algumas substâncias como a Tiamina (Ti + amina) apesar de encontrar-se em pequenas quantidades na madeira é um elemento essencial para o desenvolvimento dos fungos apodrecedores. Sua remoção da madeira impede o ataque destes organismos, sendo esta feita através do aquecimento da madeira a 100°C por 1 ou 2 horas.

Alteração: As enzimas dos fungos são as responsáveis pela degradação das moléculas de celulose, hemicelulose ou lignina. Pode-se impedir esta degradação através da adição destas substâncias alteram o substrato, desta forma as enzimas não conseguem reagir com as moléculas de celulose ou lignina por estas estarem estruturalmente modificadas.

4.3 Controle da Umidade da Madeira

Em termos de umidade da madeira, a quantidade mínima necessária para que ocorre o desenvolvimento de fungos apodrecedores é de 20% em relação ao seu peso seco. Já a quantidade máxima varia de acordo com a espécie, massa específica e tamanho da amostra, contudo esta nunca deverá ultrapassar a umidade de saturação. Sendo assim, um método prático para impedir o desenvolvimento de fungos apodrecedores em madeiras é o de manter sua umidade abaixo de 20% em relação ao seu peso seco ou então manter as amostras imersas na água onde a taxa de oxigênio é praticamente nula. Esta prática é muito utilizada nos EUA e na Europa onde as madeiras são armazenadas em lagos, principalmente as destinadas a produção de papel.

4.4 Controle Biológico

No controle biológico, a utilização de microrganismos pode inibir o desenvolvimento de fungos apodrecedores na madeira através de alguns mecanismos quais sejam:

- Devido ao desenvolvimento mais rápido e a competição pelo espaço disponível;
- Devido a competição com os fungos apodrecedores pelo alimento (substâncias presentes no lúmen das células) e;
- Devido a produção de antibióticos que inibem o desenvolvimento dos fungos apodrecedores.

Destes três mecanismos apenas o terceiro tem mostrado resultados satisfatórios quando aplicado em ensaios de campo. Fungos como *Scytalidium* FY e *Trichoderma* spp ao serem inoculados em postes com apodrecimento incipiente produzem antibióticos que inibem o desenvolvimento dos fungos apodrecedores. Este experimento foi desenvolvido na Suécia por J.L. Ricard.

4.5 Uso de Biocidas

Do ponto de vista comercial, os métodos anteriormente citados tem sido pouco utilizados, principalmente devido aos altos custos operacionais. Desta forma o método mais amplamente utilizado para prevenir o ataque de organismos xilófagos é o da introdução na madeira, de substâncias químicas tóxicas aos organismos xilófagos que impedem o seu desenvolvimento. Estas substâncias químicas tóxicas ou biocidas são conhecidos como preservantes para madeira e são agrupados em duas grandes classes: os oleossolúveis e os hidrossolúveis, conforme o solvente utilizado para introduzi-los na madeira.

Exemplos de Preservativos Oleossolúveis: Creosoto, Pentaclorofenol, TBTO, Naftenato de Cobre, Quinolinolato de Cobre-8, etc.

Exemplos de Preservativos Hidrossolúveis: Arseniato de Cobre Amoniacal (ACA), Cromato de Cobre Ácido, Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), Cloreto de Zinco Cromatado, Sulfato de Cobre e outras combinações.

Para a aplicação destes produtos químicos existem vários métodos tradicionalmente conhecidos e amplamente divulgados, tais como: Pincelamento, aspersão, imersão, difusão, banho quente-frio, tratamento sob pressão, etc.

Sendo que a escolha do melhor método depende sempre de fatores tais como: preservativo a ser utilizado, quantidade a ser introduzida na madeira e uso final do material a ser tratado.

5ª Aula

5. PRESERVATIVOS DE MADEIRA

Preservativos de madeira é toda e qualquer substância química capaz de provocar o envenenamento dos nutrientes celulares da madeira, tornando-a resistente ao ataque e desenvolvimento de organismos xilófagos.

5.1 Propriedades que os Preservativos de Madeira devem apresentar:

- ser tóxico a um grande número de organismos xilófagos;
- ter baixa toxidez aos organismos não xilófagos;
- possuir ação duradoura;
- possuir alta fixação na madeira;
- não alterar as características da madeira;
- não provocar alterações nos materiais que estejam em contato com a madeira;
- de preferência, ser incolor, inodoro e insípido;
- não ser inflamável e;
- econômico e de fácil obtenção no mercado.

Difícilmente encontraremos um preservativo que reúna todas estas características, entretanto dependendo do tipo de material a ser tratado somente algumas destas características serão necessárias.

-Creosoto:

um dos mais eficientes preservativos de madeira. Entretanto, deixa a madeira escurecida e oleosa, impedindo a aplicação de acabamento (tinta, verniz, etc.)`

-Compostos de Boro:

Um dos preservativos de madeira de mais baixa toxidez ao homem. Entretanto, não se fixam na madeira adequadamente.

-Compostos de Cobre:

Apresentam problemas de corrosão em metais, principalmente o alumínio.

5.2 Tipos de Preservativos de Madeira

Dependendo do tipo de solvente utilizado na diluição da solução preservativa, teremos dois tipos de preservativos. Os que utilizam óleo como solvente, são chamados de preservativos oleossolúveis, e aqueles que utilizam água é denominado de preservativo hidrossolúvel.

5.2.1 Preservativos Oleosos ou Oleossolúveis

São denominados oleossolúveis o creosoto, pentaclorofenol, TBTO (óxido de estanho tributílico), naftenato de cobre, quinolinolato de cobre-8, compostos de mercúrio, naftenato de zinco e hidrocarbonetos clorados (clordane, dieldrin, lindane, etc.)

Creosoto

- obtido através da destilação de alcatrão de hulha;
- substância oleosa de cor escura;
- contém uma mistura de mais de 200 substâncias diferentes;
- basicamente hidrocarbonetos(90%), ácidos e bases de alcatrão (3 a 5%);
- solúvel em óleo queimado ou óleo de petróleo;
- repelente a água;

- não provoca corrosão em metais, ao contrário, atua como protetor à corrosão;
- não aceita pintura e possui um forte cheiro característico.

Concentração de uso:

- postes: 130 kg/m³ de madeira;
- moirões: 100 kg/m³ de madeira.

Observação:

- Hidrocarbonetos → possuem apenas átomos de hidrogênio e carbono na sua estrutura química;
- Ácidos de Alcatrão → são as estruturas fenólicas com ou sem cadeiras secundárias sempre com uma hidroxila (OH) presa ao anel benzênico.
- Bases de Alcatrão → constituídas principalmente pelos compostos orgânicos aromáticos.

Pentaclorofenol

- Obtido através da reação entre o fenol e o cloro, até completa substituição dos átomos de hidrogênio pelos de cloro;
- Solúvel em vários tipos de óleos, desde petróleo bruto até óleo diesel.

Concentração de uso:

- postes: 6,5 kg/m³ de madeira;
- moirões: 5,0 kg/m³ de madeira.

TBTO (óxido de estanho tributílico)

- insolúvel em água e solúvel em solvente orgânicos;
- aproximadamente 10 vezes mais tóxico a fungos que o pentaclorofenol;
- pouco eficiente nas madeiras em contato com o solo;
- eficiente contra brocas marinhas e bastante caro

Naftenato de Cobre

- obtido através da reação entre o ácido naftênico previamente neutralizado e o sal de cobre;
- preservativo de madeira muito eficiente, porém de preço elevado;
- mais empregado através de pincelamento ou imersão;
- madeiras utilizadas em horticultura e embarcações de luxo;
- a madeira apresenta coloração esverdeada.

Quinolinolato de Cobre-8

- toxidez extremamente baixa ao homem;
- recomendado para madeiras que entrarão em contato com gêneros alimentícios;
- preço elevado restringe muito seu uso para situações especiais.

Compostos de Mercúrio

- Exemplo: Oleato de fenil mercúrio: preço muito elevado, apresenta efeitos deletérios ao meio ambiente devido a presença do mercúrio, é instável em contato com o solo, usado basicamente para tratamento por pincelamento em madeiras que não entrarão em contato com o solo.

Naftenato de Zinco

- não altera a cor da madeira, por isso, muitas vezes é substituto do naftenato de cobre;
- sua baixa toxidez contra os organismos xilófagos limita muito seu emprego.

Hidrocarbonetos Clorados

- Exemplos: clordane, dieldrin e lindane: inseticidas muito eficientes na erradicação e prevenção de insetos xilófagos. Muito empregados para tratamento do solo, sendo as vezes adicionados a outros preservativos para aumentar a eficiência inseticida dos mesmos.

5.2.2 Preservativos Hidrossolúveis

Compreendem geralmente compostos químicos com mais de uma molécula na sua formação, objetivando com isso:

a) a precipitação de um composto insolúvel na madeira a partir da reação dos componentes originais e;

b) a presença de mais de uma substância na madeira aumenta a sua eficiência contra um número maior de organismos xilófagos.

Boro e Ácido Bórico

- quando separados são praticamente insolúveis em água;
- sua mistura torna a solução bastante solúvel em água;
- tratamento por difusão em madeiras recém cortadas;
- tratamento por pressão em madeiras secas;
- a mistura é tóxica a um grande número de fungos xilófagos;
- facilmente lixiviável, não devendo ser empregado em contato com o solo ou água.

Arseniato de Cobre Amoniacal

- utilizado em tratamento sob pressão, é tóxico a um grande número de fungos xilófagos;
- após a secagem da madeira tratada ocorre a precipitação do arseniato de cobre e a evaporação da amônia;
- a amônia torna a solução mais solúvel em água e forma um complexo com o cobre que diminui o seu efeito corrosivo sob os metais.

Cromato de Cobre Ácido

- é uma mistura de sulfato de cobre e dicromato de sódio;
- dicromato de sódio tem duas funções: a) reduz o efeito corrosivo do sulfato de cobre e b) precipita o cobre na forma de cromato de cobre insolúvel;
- é empregado sob pressão e oferece excelente proteção.

Arseniato de Cobre Cromatado

- comercialmente é conhecido como CCA;
- possui diferentes formulações, nas quais varia a porcentagem tanto de cobre como de cromo e arsênico;
- o cromo provoca a precipitação de grande parte do cobre e arsênico na madeira;
- recomendado para as mais variadas situações, pois, apresenta propriedades tanto fungicidas como inseticidas;
- empregado sob pressão confere uma excelente proteção.

Cloreto de Zinco Cromatado

- é pouco corrosivo e também apresenta propriedades de retardante de fogo;
- composto por Cloreto de Zinco (75,5%) e Dicromato de Sódio (22,5%);
- não é recomendado para locais de alta temperatura e baixa umidade relativa, pois, pode provocar a degradação química da madeira.

Sulfato de Cobre

- não pode ser empregado sob pressão em usinas de tratamento construídas com aço e aço doce, porque o sulfato de cobre causa a sua corrosão;
- mais utilizado através do processo de difusão;
- a presença de carbonatos de cálcio ou magnésio precipitam o sulfato de cobre, por isso não se deve utilizar água que contenham estes carbonatos no preparo da solução;
- a presença destes carbonatos no solo prejudica a eficiência do sulfato de cobre.

5.3 Inseticidas

- Organoclorados: DDT, HCH (BHC), Aldrin, Dieldrin, Endrin, Clordane e Heptacloro.
- Organofosforados: Clorpirifós, Phoxim, Acephate, Tetraclorvinfós
- Carbamatos: Carbaril.
- Piretrina e Piretróides: Aletrin, Tetrametrin, Fenotrin, Furametrio, Deltametrin (NRDC-161), Permetrin (NREC-143), Fenvalerato (S-5602).
 - Fumigantes: Fosfina (PH_3), Brometo de Metila (CH_3Br), Fluoreto de Sulfurila. Para postes em serviço → Cloropicrina, Vapam, Vorlex.

5.4 Novos Produtos

- Organoplúmbicos: Derivados orgânicos do chumbo (Acetato de Tributíil Chumbo).
- Derivados Imidazólicos: 5-cloro-1 metil-4-nitro-dimiadozol (fungicida).
- Clocosilanos: Diclorosilano (fungicida), com ação ainda não comprovada.
- ACA aditivado: melhora a ação do ACA já conhecido.
- Tiocianametilto Benzotiazol (TCMTB): Busan 30 (fungicida).
- Carboxilatos de Cromo: fungicidas.
- Azaconazol: fungicida 10 vezes mais tóxico que o pentaclorofenol.
- Sais de Sulfônio: fungicidas.
- Isotiazolonas: fungicidas.
- IPBC e Troysan: fungicidas.
- Captafol: fungicida.
- Bis-Tiocianato de Metileno + TCMTB = Busan 1009 (fungos)

6ª Aula

6. MÉTODOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE MADEIRAS

6.1 Métodos Preventivos

Constituem a essência da preservação de madeiras e englobam, de uma maneira geral, todos os métodos que visam prevenir a infestação da madeira por organismos xilófagos.

6.1.1. Pré - tratamentos

Englobam produtos químicos e métodos de tratamento com ou sem o auxílio de pressão.

A. Controle da Deterioração em Toras:

a) Desdobro rápido: entre 48 e 72 horas após o abate, mostrando baixa incidência de ataque, sempre devendo receber um tratamento superficial posterior.

b) Submersão em água: evita o ataque devido a falta de O₂. Contudo, por tempo muito prolongado poderá haver a infestação por bactérias e fungos de podridão mole.

c) Aspersão em água: manter as toras armazenadas sob ação de aspersores. Períodos de 6 minutos com intervalos de 10, mostraram ser eficientes no Canadá, não necessitando de uma aspersão constante.

d) Aspersão de fungicidas e/ou inseticidas: mais comumente utilizado a nível mundial. De preferência aplicar o produto nas extremidades, inserção de galhos, resinagem e onde a casca tenha sido danificada. Quando ocorre a incidência de Coleópteros, aplicar na peça toda.

B. Controle da Deterioração em Madeira Serrada

a) Secagem rápida em estufa: a temperatura acima de 100°C aplicada a espécies não susceptíveis ao colapso. Além de esterilizar a madeira, também proporciona uma rápida secagem. Algumas serrarias do sul aplicam esta técnica principalmente com *Pinus* spp.

b) Imersão manual: manualmente feita

c) Imersão semi-automática: as peças são levadas por esteiras rolantes até o tanque onde são mergulhadas, sendo retiradas manualmente. Serrarias com grande produção.

d) Imersão automática: correntes deslizantes sobre roletes levam as peças de madeira que passam por um tanque em forma de “V”, sendo submersas na solução e retiradas automaticamente após o banho. Serrarias com grande produção diária.

e) Pulverização: indicada para grandes peças de madeira e serrarias com grande produção. Pode ser pulverizador costal ou um sistema automático, onde as peças de madeira são movimentadas por roletes ou esteiras passando por um túnel adaptado com bicas pulverizadoras, banhando as peças completamente.

Observação: Mesmo após este pré-tratamento as peças necessitam de outro após o desdobro, pois, o pré-tratamento além de ser de curta duração é facilmente eliminado das peças, tanto pela ação da chuva como da evaporação. Além disso, as peças depois de tratadas devem ficar empilhadas sem entabamento por pelo menos 12 horas para maior fixação do produto.

C. Produtos Químicos Utilizados:

a) Fungicidas: Compostos de mercúrio (abandonados), pentaclorofenol, pentaclorofenato de sódio, bórax e ácido bórico.

b) Inseticidas: Organofosforados (Fention, fenitriton, protiofós e phoxim) e piretróides sintéticos (Captafol, Folpet, TCMBT (2-tiociano metiltio benzotiazol), MTB(bis tiocianato de metileno), quazatina e Troysan (3-iodo-2 propinil butil carbamato)

6.2 - Processo Sem Pressão ou Caseiros

São todos aqueles que envolvem de uma maneira geral os fenômenos a seguir:

- A. Difusão: é a diferença do potencial químico entre a solução preservativa e a solução nutriente da madeira. Desta forma só pode se realizar em madeira verde.
- B. Capilaridade: é a força de adesão de um líquido às paredes de um material (poros da madeira)
- C. Absorção Térmica: a diferença de temperatura induz a uma diminuição da pressão interna do ar na madeira, a qual é responsável pela absorção do preservativo.

6.2.1 Pincelamento ou Aspersão

São os mais simples e mais baratos. Preservativos hidrossolúveis ou oleossolúveis de baixa viscosidade. Penetração superficial atingindo poucos milímetros. Aplicado para madeiras secas em regiões de baixa incidência de ataque de organismos xilófagos.

6.2.2 Imersão Rápida

Varia de alguns segundos a minutos. Protege um pouco mais que o anterior.

6.2.3 Imersão Prolongada

Para madeira verde é utilizado produto hidrossolúvel ocorrendo penetra por difusão

Para madeira seca é utilizado produto oleossolúvel ocorrendo penetra por capilaridade

Segundo Purslow, a absorção é igual a raiz quadrada do tempo de imersão. Pode ser de até vários dias sendo que a maior absorção ocorre no primeiro dia diminuindo gradativamente.

6.2.4 Difusão Simples

Empregado para madeira com elevado teor de umidade. Migrações de íons d solução preservativa para o interior da madeira até o equilíbrio das concentrações dentro e fora da madeira. Após o tratamento recomenda-se um período de 3 a 4 semanas de armazenagem a sombra com pouca ventilação. Ex.: sais de boro, compostos de flúor.

6.2.5 Difusão Dupla

É a imersão da madeira ainda verde em duas soluções diferentes, objetivando formar uma terceira no interior da madeira altamente resistente a lixiviação.

Exemplo: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, na proporção de 1:1, em teores de 3.5%. Dependendo da retenção do sal, a vida média útil pode ultrapassar os 10 anos. Muito utilizado para moirões.

6.2.6 Substituição da Seiva:

Muito utilizado para moirões e postes recém abatidos. Desloca-se a seiva por meio de uma solução hidrossolúvel com baixa massa molecular (Ex. de produto: CCA), existem dois tipos:

A. Transpiração Radial

Empregado para madeira roliças com elevado teor de umidade. Utiliza-se solução hidrossolúvel entre 2 a 5% em massa. A penetração ocorre de acordo com a evaporação da seiva das peças colocadas em pé dentro de um tambor. Após o tratamento as peças devem ser armazenadas durante 20 a 25 dias para boa fixação do preservativo. A penetração ocorre tanto por difusão como por capilaridade. Mais ou menos 7 dias numa posição e depois 2 a 3 dias na outra para completar o tratamento.

B. Boucherie

Indicado para postes onde estes são colocados no chão com uma extremidade levemente mais alta. A esta extremidade é adaptada uma capa de borracha que está ligada à solução preservativa hidrossolúvel, colocada em um lugar elevado. A pressão hidrostática da solução força a saída da seiva pela outra extremidade podendo levar até vários dias para que o alburno seja completamente tratado.

Gewecke aprimorou este processo, empregando sucção em uma das extremidades.

6.2.7 Banho Quente-Frio

Indicado para madeiras secas com preservativo oleossolúvel ou oleoso ou ainda hidrossolúvel que seja estável quando aquecido. Utiliza-se dois tanques, um para banho quente e outro para banho frio. No banho quente a temperatura gira em torno de 90 a 100°C dependendo sempre do “Flesh Point” da solução. Período de 4 a 6 horas dependendo das dimensões das peças e o banho frio não deve ser inferior a 2 horas.

Existe experimento em campo de apodrecimento por este método já com mais de 20 anos no IPT em São Paulo.

6.3 - Processos Com Pressão ou Industriais

Necessitam equipamento adequado, mão-de-obra especializada e investimento inicial elevado, entretanto, são mais eficientes que os sem pressão, podem ser empregados par qualquer espécie de madeira de preferência seca e podem ser utilizados preservativos hidrossolúveis e oleossolúveis.

6.3.1 Processo de Célula Cheia

O que o distingue dos tratamentos de célula vazia, é a aplicação de um vácuo inicial para extrair, tanto quanto possível, o ar das células, facilitando deste modo, a penetração do preservativo na madeira. Dentre os principais tratamentos de célula cheia, destacam-se:

A. Processo Bethell (John Bethell / Inglaterra / 1838)

B. Processo Burnett: Patenteado por Burnett em 1838, compreendendo as mesmas etapas que o Processo Bethell com uma única diferença, é que o preservativo utilizado é hidrossolúvel e aplicado à temperatura ambiente.

C. Processo Boulton: Submete a madeira a uma secagem sob vácuo na fase inicial na própria solução preservativa oleosa aquecida entre 80 - 100°C. As outras fases são idênticas aos outros dois processos.

6.3.2 Processo de Célula Vazia

Não há a aplicação do vácuo inicial, portanto, não ocorre a retirada do ar do interior da madeira. Com a aplicação da pressão há uma compressão deste ar que após aliviada expande e expulsa parte do preservativo. Com isso obtém-se uma boa penetração e economia no consumo de preservativo. Por isso é dito de célula-vazia. Os principais são:

A. Processo Lowry

B. Processo Rüeping

6.4 - Outros Processos

6.4.1 Processo de Duplo Vácuo

Semelhante aos processos de célula cheia.

Apropriado somente para aplicação de preservativos de solventes orgânicos de baixa viscosidade (LOSP- Light Organic Solvent Preservatives). Preferencialmente hidrossolúveis.

Apropriado para situações onde a penetração limitada é requerida.

Muito usado na Europa para tratamento de peças de madeira como armação de portas e janelas (batentes).

6.4.2 Método das Pressões Oscilantes (OPM)

Método desenvolvido na Suécia e aperfeiçoado no EUA.

Consiste na aplicação de ciclos curtos e periódicos de vácuo e pressão.

Método semelhante ao de célula cheia.

Pressão é de 7,5 atm e Vácuo de 95%.

Os ciclos aumentam progressivamente em duração de 1 a 7 minutos.

Madeira permeáveis (40 ciclos)

Madeiras impermeáveis (400 ciclos)

6.4.3 Processo MSU

Após o período de pressão o preservativo é descarregado, mantendo-se a pressão interna da autoclave. As serpentinas da autoclave são cobertas com água, a pressão baixada para 35 psig e a temperatura interna elevada para 100 - 105°C; essas condições são mantidas durante 3 horas, sendo este tempo suficiente para que ocorram as reações de fixação no interior da madeira. Posteriormente aplica-se o vácuo final como em qualquer outro processo de tratamento.

Vantagem: a madeira pode ser imediatamente manuseada e colocada em uso.

6.4.4 Tratamento com Jatos de Alta Energia

Tem por objetivo efetuar um tratamento no qual utiliza-se alta pressão (30.000 - 60.000 psig). Esta alta pressão tem dois objetivos: o de preservação e o de incisão da madeira. Numa mesma operação. Melhores resultados foram obtidos com soluções hidrossolúveis.

6.4.5 Processo “Q”

Consiste num tratamento com vapor e vácuo, cuja duração depende das dimensões das peças. Após um período de retenção da carga em local coberto o tratamento é complementado através do processo Bethell. Mais utilizado para madeiras verdes.

6.4.6 Métodos de Alta Pressão

É um método semelhante aos de célula cheia (Bethell) diferindo apenas na grandeza da pressão aplicada que é da ordem de 10Mpa (100Kgf/cm²). Utilizado primeiramente na Austrália em 1960 para tratamento de eucalipto. Essa madeira lá apresenta muito pouco alburno por isso a única maneira de se conseguir uma penetração no cerne é através de alta pressão.

7ª Aula

7. FATORES QUE INFLUENCIAM O TRATAMENTO PRESERVATIVO

A eficiência de um tratamento preservativo está em função de três fatores básicos:

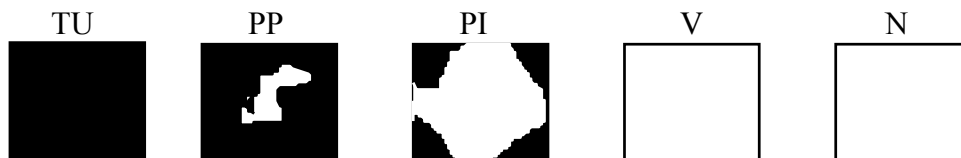
- produtos preservativos
- técnica de aplicação
- espécies de madeira

A avaliação de um tratamento é feita em função de dois parâmetros básicos:

- retenção;
- penetração.

Retenção: é a quantidade de produto químico retido num determinado volume de madeira, expressa em kg/m^3 (peso final - peso inicial da amostra tratada).

Penetração: indica a distribuição do produto no interior da madeira, podendo ser classificada em:



Onde: TU: Total Uniforme; PP: Parcial Periférica; PI: Parcial Irregular; V: Vascular e N: Nula.

7.1 Fatores Físicos

São fatores que estão diretamente ligados ao processo de tratamento.

1) Pressão: responsável principalmente pela penetração do líquido na madeira. Quanto maior a pressão, maior a penetração e vice-versa.

2) Temperatura: em termos de retenção e penetração do preservativo na madeira a temperatura é diretamente proporcional a viscosidade do líquido preservante.

Quanto maior a temperatura, maior será a viscosidade e melhor a penetração e vice-versa.

- Temperatura para oleossolúveis = $\pm 90^\circ\text{C}$
- Temperatura para hidrossolúveis $\leq 60^\circ\text{C}$, porque pode haver a decomposição dos sais preservantes.

3) Tempo: Quanto maior o tempo, maior será a penetração e retenção do preservativo de madeira. Entretanto, também serão maiores os custos do tratamento.

Os preservativos podem sofrer influências de outros fatores, tais como:

- ação da temperatura;
- luz ultravioleta;
- substâncias químicas;
- fungos e bactérias.

7.2 Fatores Mecânicos

Incisões: propiciam uma penetração mais uniforme e profunda do preservativo. Utilizado para o tratamento do alburno de postes pelo processo de banho quente-frio ou em madeiras de cerne muito resistente à penetração.

7.3 Fatores Biológicos

Exemplos:

- Pseudomonas creosotensis* = metaboliza alguns componentes do creosoto.
- Culturas mistas de bactérias = metabolizam o creosoto como um todo.
- Pentaclorofenol = pode ser biodeteriorado por enzimas como: Lacase, tirosinase e peroxidase, que são produzidas por fungos.
- Trichoderma viride*(fungo que causa bolor) = pode deteriorar o pentaclorofenol em baixa concentração.
- Alcaligines* e *Pseudomonas* (gêneros de bactérias) = provocam a deterioração do pentaclorofenol.
- Merulius lacrymas*, *Poria monticola* e *Poria vaillantii* (fungos apodrecedores) = transformam o sulfato de cobre em oxalato de cobre.
- *Phoma* sp e *Graphium* sp (fungos de podridão mole) = deterioram o arsênico em soluções em que este elemento faz parte do composto.

8ª Aula

8. DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PRESERVATIVOS DE MADEIRA

As mais diferentes normas internacionais sugerem que antes de um produto químico preservativo ser lançado no mercado, este deva passar por diferentes testes.

1º. Que seja provado que a sua formulação não provoque problemas à saúde humana e ao meio ambiente. Vencida a primeira etapa, passa-se então para a seguinte,

2º. Verifica sua toxidez contra os organismos xilófagos e seu grau de fixação na madeira, dentre outros.

Para tanto, são realizados os seguintes testes:

8.1 Teste Rápido

É realizado com o objetivo de se obter em um curto período de tempo (poucos dias) o grau de toxidez de preservativo necessário à inibição de organismos xilófagos.

Para o teste contra fungos, por exemplo, são preparadas diferentes soluções do produto químico preservativo, as quais são misturadas ao meio de cultura BDA. Posteriormente, os fungos são inoculados neste meio de cultura contendo o preservativo e então são encubados por 10 (dez) dias. Das soluções testadas, aquela mais baixa capaz de inibir o desenvolvimento do fungo no meio de cultura é que representa o “ponto de inibição” do fungo.

Calcula-se, então, a quantidade de preservativo em quilograma por volume ou quilograma de meio de cultura, como sendo o valor do ponto de inibição. Este valor é importante, pois nos dará uma noção do emprego ou não do produto químico.

Caso a quantidade necessária seja grande demais, seu preço seja elevado e não estiver facilmente disponível no mercado, dentre outros fatores, o melhor é optar pelo não uso deste produto. Por outro lado, se for constatado que baixas quantidades de produtos inibem o desenvolvimento do fungo, passa-se então para outro teste.

8.2 Teste Acelerado

Apesar do BDA (Batata, Dextrose e Agar) ser um meio adequado para o desenvolvimento de fungos, estes possuem algumas enzimas que somente são estimuladas na presença do substrato madeira. Para tanto, ao contrário do teste rápido, no teste acelerado os fungos são inoculados diretamente na madeira.

Sabe-se, por outro lado, que o preservativo inibe o fungo das seguintes formas:

- a) inibe a produção de enzimas e;
- b) inativa a ação das enzimas.

Desta forma se na madeira o preservativo inibe tanto a produção como a ação das enzimas, a ausência da fonte de alimento provoca a morte do fungo, ao passo que, num meio de cultura os resultados poderão não ser os mesmos, pois o fungo poderia estar se desenvolvendo devido a difusão dos nutrientes do BDA para o interior da hifa.

O teste consiste basicamente na impregnação de pequenos blocos de madeira com diferentes concentrações do produto químico, os quais posteriormente são expostos ao ataque dos fungos apodrecedores, em condições de temperatura e umidade controladas.

Geralmente, usam-se duas séries de blocos de madeira para cada concentração, uma lixiviada e outra não lixiviada.

A comparação entre lixiviadas e não lixiviadas nos dá uma noção do grau de fixação do produto na madeira.

O mesmo tipo de teste pode ser feito para se avaliar a eficiência do preservativo contra insetos.

8.3 Teste em Campo

Mesmo após um preservativo ser aprovado no teste acelerado, faz-se necessário testá-lo em condições mais adversas e que também sejam mais próximas da realidade de uso.

Por um lado, no teste acelerado o fungo tem condições ideais para o seu desenvolvimento, o preservativo não está sujeito a interferências dos agentes físicos ou químicos do meio ambiente, além disso, os corpos de prova têm dimensões reduzidas, o que interfere nos parâmetros de retenção e penetração do produto, como também na colonização da madeira pelo fungo.

No teste de campo, a madeira tratada sofre a influência de um número maior de situações adversas. Para tanto são realizados diferentes ensaios como por exemplo:

A. Testar um preservativo em contato com o solo \Rightarrow estacas, moirões ou postes com diferentes retenções de preservativos.

B. Testar um preservativo em contato com a água \Rightarrow utiliza-se placas, estacas ou blocos de madeira de diferentes formatos com diferentes concentrações de preservativo.

A área onde o experimento é instalado chama-se de “Campo de Apodrecimento”, onde são feitas inspeções periódicas para avaliar-se o desempenho de cada tratamento, podendo durar até vários anos.

8.4 Teste em Serviço

É um teste de campo na sua forma mais perfeita. Consiste em expor a peça de madeira tratada às suas condições reais de serviço. No campo de apodrecimento as peças não recebem um acabamento final como no caso de poste, que não apresenta suas furações, cruzetas, fios e demais implementos, sendo apenas uma madeira roliça.

Neste tipo de experimento são realizadas inspeções periódicas, onde as peças são analisadas detalhadamente. No caso de postes de madeira a área mais sujeita à deterioração é a localizada a 20 cm acima e 30 cm abaixo da linha de afloramento. Esta é a área mais rigorosamente inspecionada. Cava-se cerca de 50 cm de profundidade e após procede-se a inspeção, que pode ser feita das seguintes formas:

A. Exame visual: quando a superfície estiver amolecida ou apresentar orifícios, a presença de fungos ou insetos é certa.

B. Instrumentos de percussão: quando visualmente não se detecta algum sinal de ataque, utiliza-se um pequeno martelo, por exemplo, sendo que ao bater na peça, o som resultante for claro e característico, esta se encontra em bom estado. Se ao contrário, o som resultante for meio surdo ou abafado, a peça apresenta ataque. Contudo, deve-se tomar o cuidado para não confundir com a excessiva umidade da peça ou a presença de fendas.

C. Trado de incremento: com este instrumento retira-se uma amostra de madeira (bagueta) da peça a qual poderá ser analisada microscopicamente para detectar possíveis ataques de organismos. Também pode ser verificado o grau de retenção do preservativo através de análise química.

D. Radiografia: consiste num equipamento portátil para radiografia com o qual podem ser tiradas chapas da peça de madeira. A chapa de uma madeira sadia evidenciará uma estrutura claramente bem definida e a densidade óptica relativamente uniforme. Já através da radiografia de uma madeira deteriorada, evidencia-se a perda da estrutura da madeira bem como sua densidade óptica apresenta-se não uniforme.

E. Ultra-som: a alteração da emissão de som através de uma peça de madeira pode evidenciar ataque de fungos ou insetos. Este princípio é utilizado para se detectar o estado de sanidade da madeira.

F. Medidor de corrente elétrica: a resistência elétrica da madeira vai diminuindo conforme o seu grau de apodrecimento. Desta forma utiliza-se esta técnica para avaliar-se o grau de apodrecimento da madeira.

9ª Aula

9. ASPECTOS ECONÔMICOS DO TRATAMENTO PRESERVATIVO

9.1 Vantagens do Uso de Madeira Tratada

- A base do desenvolvimento de qualquer empresa ou indústria é o lucro.
- É lógico e aceitável que a preservação de madeiras só terá razão de ser se for vantajosa sob o ponto de vista econômico.
- Não é verdadeiro afirmarmos que o custo inicial de uma peça de madeira tratada seja inferior ao de uma não tratada. Entretanto, podemos afirmar com certeza que a médio e longo prazo o custo com as despesas das peças tratadas são inferiores.
- O custo anual de uma peça de madeira tratada é igual ao total do investimento inicial, mais juros, dividido pelo número de anos de vida útil do material. Este será sempre inferior ao custo anual de qualquer outro material não tratado.

$$A = p \frac{r (1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Onde:

- A = custo anual (R\$)
 p = custo do material instalado
 r = taxa de juros (6,5% ano)
 n = número de anos em serviço

Observação:

Quanto maior o “n” menor o “A”.

9.2 Exemplo Prático

- A. Moirão de Eucalipto Tratado
 2,20 m x 14 cm (diâmetro) = \$ 137,29
 n estimado = 10 anos
 r = 10%

$$A = 137,29 \times \frac{0,1 \times (1+0,1)^{10}}{(1+0,1)^{10} - 1}$$

$$A = \$22,34$$

- B. Moirão de Eucalipto não Tratado
 2,20 x 14 cm (diâmetro) = \$ 135,90
 n estimado = 2 anos
 r = 10%

$$A = 135,90 \times \frac{0,1 \times (1+0,1)^2}{(1+0,1)^2 - 1}$$

$$A = \$78,30$$