



CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA QUE AFETAM SUA RESISTÊNCIA NATURAL AO ATAQUE DE AGENTES XILÓFAGOS

Pedro Nicó de MEDEIROS NETO¹(pedroflorestal@gmail.com); Juarez Benigno PAES¹;
João Vicente de Figueiredo LATORRACA²; João Gabriel Missia da SILVA¹; José Clailson
Franco COELHO¹

1 - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil

2 - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: A madeira é susceptível a biodeterioração por uma variedade de agentes xilófagos, incluindo os fungos, térmitas, coleópteros e perfuradores marinhos. No entanto, algumas espécies florestais possuem resistência ou durabilidade natural ao ataque de agentes xilófagos. Assim, tendo em vista a importância da resistência biológica da madeira, para seu uso racional e sustentável, este trabalho trata de uma revisão bibliográfica acerca das características do lenho, que influenciam na sua biodeterioração. Os extrativos são a principal defesa das espécies florestais contra o ataque de agentes biodeterioradores. A utilização de madeiras naturalmente duráveis devem ser primordiais, não somente, para o uso industrial madeireiro, mas também em medidas de conservações ambientais.

Palavras - chave: Extrativos, biodeterioração, conscientização ambiental.

Abstract: The wood is susceptible to biodeterioration by a variety of xylophagous agents, including fungi, termites, beetles and marine borers. However, some forest species have resistance or natural durability to attack by xylophagous agents. Thus, in view of the importance of biological resistance of wood, for their rational and sustainable use, this work is a literature review about the wood characteristics that influence their biodeterioration. The extractives are the main defense of forest species against attack by xylophagous agents of wood. The use of naturally durable timber must be paramount, not only for the timber industrial use, but also in environmental conservations measures.

Keywords: Extractives, biodegradation, environmental awareness

1. INTRODUÇÃO

Os vegetais lenhosos têm sido empregados para diversos fins, sendo uma das fontes mais utilizadas para produção de energia, celulose e papel, material de construção para os meios urbano e rural, indústria moveleira e produtos para fins medicinais. A madeira evidencia sua importância por ser um produto renovável e mais acessível que as outras fontes de matéria-prima, como ferro, aço, alumínio, plásticos e combustíveis fósseis.

A madeira, por ser um material biológico, é susceptível a biodeterioração por uma variedade de agentes xilófagos, dentre estes os fungos, térmitas, coleópteros e perfuradores marinhos. Assim, a necessidade de proteger a madeira e evitar elevadas perdas econômicas constitui um grande desafio (SHANBHAG e SUNDARARAJ, 2013; MANTANIS et al., 2014). Esta característica biodegradável da madeira a torna um material diferente em relação às outras matérias-primas empregadas na construção civil.

No entanto, algumas espécies florestais possuem resistência ou durabilidade natural ao ataque de agentes xilófagos, característica que determina o nível de suscetibilidade da madeira



a estes biodegradadores (BURGER e RICHTER, 1991; SHMULSKY e JONES, 2011). O seu conhecimento, é de fundamental importância para que se possa recomendar o emprego adequado da madeira, e evita gastos desnecessários com a reposição de peças deterioradas e reduzir os impactos sobre as árvores remanescentes (PAES et al., 2009).

O uso de uma peça de madeira possui uma grande influência ao seu grau de susceptibilidade aos agentes xilófagos, principalmente fungos e insetos. Desta forma, madeiras com maior durabilidade natural, são preferenciais no uso comercial, sendo uma das propriedades mais importante em relação ao desempenho e vida útil (MORAIS e COSTA, 2007; PLASCHKIES et al., 2014).

Zabel e Morrel (1991); Arango et al. (2006) reforçam a utilização de madeiras com resistência natural, onde há preocupações sobre a segurança ambiental dos preservativos de madeira. Para Wang et al. (2011), a partir desta perspectiva ambiental, encontrar componentes naturais existentes em espécies altamente duráveis e compreensão dos seus mecanismos podem auxiliar na proteção da madeira com organismos xilófagos.

A biodeterioração natural da madeira é afetada pelas diferentes características dos preservativos naturais ou componentes secundários, conhecido como extrativos, que variam desde pequenas proporções a valores elevados, o agente xilófago responsável pelo ataque e, as condições de exposição do material (OLIVEIRA et al. 2005; CLAUSEN, 2010).

Neste contexto, Pala (2007) ressalta a madeira como uma das principais fontes de alimento natural dos fungos xilófagos, no entanto, a intensidade do ataque depende da composição química e morfológica do material. Em geral, a presença de concentrações mais elevadas de extrativos proporciona maior durabilidade. Estes componentes secundários da madeira podem ser tóxicos para os microrganismos, inibitórios do processo degradativo, exercer um efeito antioxidante e, ou, reduzir a permeabilidade da madeira à água, ao ar ou às hifas.

Assim, tendo em vista a importância da resistência natural da madeira ao ataque de agentes xilófagos para seu uso racional e sustentável, este trabalho trata de uma revisão bibliográfica acerca das características do lenho que influenciam na sua biodeterioração.

2. VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA À BIODETERIORAÇÃO

Em geral, em uma peça de madeira, há variação na resistência natural proveniente da porção interna do cerne, formada quando a planta era jovem, sendo menos resistente à decomposição que à proveniente do cerne externo, região fronteira com o alburno, formada pela planta mais madura. Porém, nem todas as espécies possuem este padrão de variação, e em algumas, a região próxima à medula é tão resistente quanto à região externa do cerne, enquanto a madeira de alburno é suscetível à deterioração biológica (SCHEFFER, 1973; PANSIN e DE ZEEUW, 1980; FINDLAY, 1985; PAES et al., 2007).

Estas diferenças na durabilidade natural estão associadas com modificações químicas e fisiológicas resultantes da formação do cerne, com o surgimento de substâncias tóxicas que conferem durabilidade a certas madeiras, além de modificar sua coloração (LUKMANDARU e TAKAHASHI, 2009; MOYA et al., 2014). A resistência nesta região é caracterizada por uma grande variabilidade entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie, que reflete o potencial genético de determinada árvore e as condições ambientais do seu desenvolvimento (ZABEL e MORRELL, 1992).

O cerne é normalmente a zona de cor mais escura na parte central da madeira na maioria das espécies florestais e fisiologicamente formado a partir do alburno, resultado na



diminuição do teor de umidade, morte das células do parênquima e aumento no teor de extrativos. Os componentes extraíveis presentes no parênquima são transportados a partir de células vivas para células próximas à zona de transição entre cerne e albúrnio, onde são convertidos em uma variedade de compostos fenólicos que são exsudados através de pontuações em células adjacentes (ZABEL e MORRELL, 1992; SCHMIDT, 2006; KRETSCHMANN, 2010).

Do outro lado, o albúrnio de praticamente todas as espécies de madeira demonstra alta susceptibilidade a deterioração por organismos xilófagos, independentemente da durabilidade do cerne. A proporção de cerne e albúrnio depende da espécie e varia na árvore, em função da idade, local, solo e condições climáticas (PAES et al., 2002; 2007). Esta baixa resistência do albúrnio pode ser decorrência de sua maior permeabilidade e a presença de carboidratos armazenados, que são fatores favoráveis ao ataque por organismos xilófagos (KOLLMANN e COTÊ JR, 1968).

Assim, a resistência à biodeterioração aumenta a partir do câmbio para a região de transição entre cerne/albúrnio e diminui próxima a medula. Este declínio é resultante provavelmente do reflexo de desintoxicação biológica ou oxidação natural de extrativos presentes no cerne, com a polimerização contínua destes compostos secundários que produzem substâncias menos tóxicas. Assim como, a atividade microbiana pode reduzir a durabilidade do cerne ao longo dos anos. A durabilidade também varia com a altura do tronco da árvore, com a madeira mais durável próxima a base da árvore (LEPAGE et al., 1986; ZABEL e MORRELL, 1992).

Na Tabela 1 pode ser observado a diferença de durabilidade natural da madeira a agentes xilófagos entre as posições cerne e albúrnio de algumas espécies nativas e exóticas em diferentes ensaios biológicos.

Tabela 1. Distinção da resistência natural da madeira a agentes xilófagos entre cerne e albúrnio de algumas espécies nativas e exóticas

(...continua...)

Espécie	Idade (anos)	Ensaio biológico	Origem	Perda de massa (%)		Fonte
				Cerne	albúrnio	
<i>Leucaena leucocephala</i>	----	Fungo xilófago	Paraíba	8,81	24,22	Paes et al. (2007)
<i>Cordia trichotoma</i>	----	Fungo xilófago	Paraíba	3,43	19,01	Paes et al. (2007)
<i>Mimosa tenuiflora</i>	----	Fungo xilófago	Paraíba	0,64	1,46	Paes et al. (2007)
<i>Caesalpinia echinata</i>	25	Fungo xilófago	São Paulo	0,35	5,68	Silva et al. (2007)
<i>Prosopis juliflora</i>	----	Simulador de campo	Paraíba	5,59	7,50	Paes et al. (2009)
<i>Anadenanthera colubrina</i>	----	Simulador de campo	Paraíba	4,73	5,37	Paes et al. (2009)
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	----	Simulador de campo	Paraíba	2,44	3,10	Paes et al. (2009)
<i>Luehea divaricata</i>	----	Campo de apodrecimento	Rio Grande do Sul	29,85	41,87	Melo et al. (2010)
<i>Carya illinoensis</i>	----	Campo de apodrecimento	Rio Grande do Sul	28,70	43,86	Melo et al. (2010)



Espécie	Idade (anos)	Ensaio biológico	Origem	Perda de massa (%)		Fonte
				Cerne	alburno	
<i>Platanus x acerifolia</i>	----	Campo de apodrecimento	Rio Grande do Sul	33,75	38,37	Melo et al. (2010)
<i>Pinus elliottii</i>	21	Térmita xilófago	Rio de Janeiro	3,85	-----	Rodrigues e Brito (2011)
<i>Corymbia citriodora</i>	21	Térmita xilófago	Rio de Janeiro	2,89	-----	Rodrigues e Brito (2011)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	21	Térmita Xilófago	Rio de Janeiro	2,89	-----	Rodrigues e Brito (2011)
<i>Luehea divaricata</i>	----	Fungo xilófago	-----	2,02	-----	Modes et al. (2012)
<i>Peltophorum dubium</i>	----	Fungo xilófago	-----	4,39	-----	Modes et al. (2012)
<i>Eucalyptus grandis</i>	----	Fungo xilófago	-----	6,06	-----	Modes et al. (2012)
<i>Tectona grandis</i>	15	Térmita xilófago	Minas Gerais	0,75	26,73	Motta et al. (2013)
<i>Tectona grandis</i>	15	Fungo xilófago	Minas Gerais	3,47	24,71	Motta et al. (2013)
<i>Anadenanthera colubrina</i>	----	Térmitas xilófagos	Paraíba	0,77	0,90	Paes et al. (2013)
<i>Amburana cearensis</i>	----	Térmitas xilófagos	Paraíba	17,54	50,77	Paes et al. (2013)
<i>Eucalyptus camadulensis</i>	----	Térmitas xilófagos	Paraíba	96,25	100	Paes et al. (2013)

Ali et al. (2011) ao avaliarem a durabilidade natural de cinco espécies de madeira originárias de Moçambique por métodos de laboratório e testes de campo com termitas e fungos xilofagos, concluíram que a madeira proveniente do cerne apresentou menor perda de massa quando comparada a madeira de alburno.

Está variação entre e dentro das espécies que afetam a durabilidade é proveniente de diversos constituintes químicos presentes na madeira. Dentre estes, o teor de extrativos desempenha o principal papel em termos de durabilidade, mas existe outras características da madeira que também exercem influência a susceptibilidade das árvores ao ataque de agentes xilófagos.

3. ESTRATÉGIAS DE DEFESA DA MADEIRA AOS AGENTES XILÓFAGOS

Os agentes xilófagos, principalmente os fungos, que biodegradam a madeira devem especialmente se adaptar para ultrapassar três principais estratégias de defesa presentes na madeira. Duas destas tem caráter biológico, enquanto a terceira é de origem química (READING et al., 2003).

Segundo os autores a primeira e segunda está relacionada com a disponibilidade de nutrientes e a presença de compostos tóxicos. Madeiras tipicamente tem um teor muito baixo de nitrogênio (N) e fósforo (P), dois elementos que são importantes para o crescimento de microrganismos. O teor médio de nitrogênio para espécies de folhosas e coníferas é de 0,09% da massa seca, com uma proporção média de carbono/nitrogênio de 600: 1. A presença de produtos químicos potencialmente tóxicos no cerne, tais como taninos em folhosas e uma variedade de compostos fenólicos em coníferas, previnem ou limita o ataque de fungos apodrecedores.



Uma terceira defesa natural da madeira está relacionada com a ultraestrutura da parede celular, em que, a lignina por ser uma substância altamente polimerizada, forma um complexo amorfo com hemicelulose para cobrir a celulose, reduz deste modo a biodisponibilidade destes dois componentes, e atua como uma barreira física eficaz contra o ataque microbiano (BLANCHETTE e BIGGS, 1992).

Zabel e Morrell (1992) destacam que este processo de lignificação proporciona rigidez aos tecidos lenhosos das árvores. O teor de lignina pode variar entre espécies e entre indivíduos e uma mesma espécie, em que, a parede celular primária e a lamela média são mais resistentes ao ataque de microrganismos.

Madeiras com elevados níveis de lignina do tipo guaiacil, proporcionam uma maior durabilidade natural, em relação a lignina siringil. As células da madeira também podem variar em grau e tipo de lignificação, em fibras de folhosas possui lignina siringil, enquanto, as paredes dos vasos tendem a possuir lignina guaiacil. De modo semelhante, as células do parênquima radial e raios a partir do alburno de coníferas tendem a ser não-lignificados e facilmente degradadas, enquanto traqueídeos radiais adjacentes são lignificados (DANIEL, 2003).

Outras características da madeira a serem destacadas são a massa específica e a porosidade, que podem ser utilizadas como fator de comparação entre as espécies florestais, com relação a durabilidade natural, no qual, madeiras mais densa e menores quantidades de poros oferecem maior resistência a deterioração por fungos xilófagos (PANSHIN e DE ZEEUW, 1980). Desta forma, pode ser calculado o potencial de resistência natural da madeira, que corresponde ao produto entre a massa específica básica e o teor de extrativos (CARNEIRO et al., 2009).

No entanto, a durabilidade natural está relacionada principalmente à presença de extrativos tóxicos que são formados e depositados no cerne, proveniente do alburno quando este cessar suas atividades fisiológicas. Estes são particularmente localizado no cerne e após o fermento e infecção microbiana também no alburno, como maneira de proteção (KLOCK e ANDRADE, 2013). Extrativos inibidores, que causam a durabilidade natural de muitas espécies são formados a partir de amido e carboidratos solúveis e estes penetram nas paredes celulares, os que se desenvolvem por influências exógenas, não impregnam nas paredes celulares (SCHMIDT, 2006).

No entanto, para conferir resistência aos agentes xilófagos os extrativos devem possuir propriedades antioxidantes e antifúngicas. O cerne de muitas madeiras não possuem extrativos com estas propriedades ou em níveis mais baixos, quando comparado com espécies que apresentam durabilidade natural, no qual esta região é caracterizada por nenhum ou apenas um mínimo de degradação (CLAUSEN, 2010; LEBOW, 2010).

Em estudo realizado por Kirker et al. (2013), com espécies de coníferas e folhosas, os autores explicitaram os extrativos como o principal responsável pela durabilidade da madeira aos agentes xilófagos. No entanto, a porcentagem de extrativos não foi diretamente correlacionada com a durabilidade. Assim, provavelmente o tipo dos componentes secundários conferem resistência natural as espécies.

Rowell et al. (2005) enfatiza que os extrativos estão presentes na madeira como monômeros, dímeros e polímeros, no qual, alguns são responsáveis também pela cor, cheiro, e outras propriedades organolépticas da madeira. Em geral, coníferas possui um maior conteúdo de extrativos que as folhosas.

Os extrativos presentes na madeira são classificados em compostos alifáticos (principalmente gorduras e cera), terpenos e terpenóides e compostos fenólicos. Estes



compostos produzem uma inibição química contra o avanço do ataque de organismos xilófagos (SJÖSTRÖM, 1981).

Os radicais livres de fenóis oxidados podem funcionar como inibidores não específicos que afetam indiscriminadamente muitas enzimas de origem fúngicas (BLANCHETTE e BIGGS, 1992). Para Oliveira et al. (2010), a durabilidade natural das espécies florestais é resultante principalmente de compostos fenólicos, particularmente taninos e flavonóides que inibem o crescimento fúngico. Dentre os principais grupos de extrativos que contribuem para a durabilidade da madeira, destacam-se: os polifenóis, terpenóides, tropolones e taninos (LEPAGE et al., 1986, SCHMIDT, 2006; MORRELL, 2012).

Os extrativos fenólicos produzidos no parênquima difundem para regiões que circundam os traqueídeos, fibras, ou vasos, onde são absorvidos pelas paredes celulares da madeira, que apresentam propriedades fungicidas e inseticidas. Algumas espécies produzem uma variedade de compostos tóxicos a fungos, insetos, ou brocas marinhas. Outras espécies, a produção de extrativos fenólicos são extremamente limitada ou ausente (LEPAGE et al., 1986, SCHMIDT, 2006; MORRELL, 2012).

Os polifenóis incluem os estilbenos e flavonoides, extrativos mais comuns no cerne, que ocorre neste em quase todas as espécies. Os estilbenos são sintetizados através da via do ácido chiquímico. Estilbenos isolados são tóxicos para bactérias, fungos e insetos, embora a sua capacidade para proteger a madeira variam consideravelmente. Flavonoides incluem muitas fitoalexinas importantes (compostos produzidos pelas plantas na resposta ao ataque microbiano e inibem, por exemplo, os fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor* (ZABEL e MORRELL, 1992; SCHMIDT, 2006).

Terpenóides são derivados da condensação de unidades isoprenóides C-5 e podem variar a partir de monômeros de isopreno relativamente voláteis para polímero. Monoterpenos, como pineno, que consistem de duas unidades de isopreno. Outro terpenóide importante é a terebintina, uma mistura de terpenos e *tall oil*, um subproduto no processo de polpação Kraft da madeira de coníferas resinosas, constituída por misturas de terpenos e dos ácidos graxos. Os terpenos são sintetizados por uma variedade de tecidos na plantas, tais como os canais resiníferos em coníferas (ZABEL e MORRELL, 1992).

Segundo estes autores compostos terpenóides são importantes precursores de extrativos mais tóxicos, tais como os tropolones. Dos extrativos do cerne, os componentes químicos que têm recebido maior atenção por sua resistência a biodeterioração são os tropolones. Estes são derivados de terpenóides, os quais são sintetizados a partir do acetilcoenzima A (Acetil- CoA).

Zabel e Morrell (1992) destacaram que outros componentes importantes localizados na madeira e casca das árvores são os taninos. Originalmente utilizados para o curtimento das peles dos animais, por causa da sua capacidade de precipitar e estabilizar proteínas. Estes são proantocianidinas, que são polímeros altamente complexos. Os taninos, por causa da sua capacidade de precipitar as proteínas, são avaliados como produtos em preservação de madeiras, no entanto, a sua solubilidade em água e toxicidade relativamente baixa tem aplicação limitada. Estes compostos surgem ao longo de vias sintéticas que são semelhantes aos da lignina e estilbenos.

4. AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA

Para avaliação da durabilidade natural das espécies florestais, estas são expostas aos organismos xilófagos responsáveis pela biodeterioração em ensaios de campo e laboratoriais.



O primeiro proporciona condições mais realistas, como desgaste natural e o segundo permite condições em períodos de teste mais curtos. Assim, são necessárias avaliações comparativas de testes de campo e laboratório para estimar o desempenho de um material específico em exposição (MEYER et al., 2014).

Paes et al. (2007) enfatizam que a avaliação da resistência natural das madeiras à agentes xilófagos é afetada pelas condições de uso e, o material lenhoso é melhor avaliado quando utilizado, por exemplo, em ensaios de campo, com exposição que representa as condições reais, composto de uma gama de agentes físicos, químicos e biológicos do solo.

A durabilidade natural da madeira e seus produtos manufaturados desempenham um papel fundamental no prolongamento de seu uso, e espécies de baixa resistência a biodegradabilidade limitam suas utilizações, e a proteção contra os agentes biológicos (principalmente, cupins, fungos e coleópteros), requerem a utilização de produtos químicos sintéticos para uma efetiva proteção da madeira que podem propiciar o surgimento de problemas ambientais, resultado dos preservativos químicos lixiviados da madeira tratada (ARENCO et al., 2006; CAO et al., 2011; TASCIOGLU et al., 2012; ISLAM et al., 2013).

Sundararaj et al. (2015) destacam que em virtude da madeira tratada não ser um produto biodegradável ao longo do tempo, a seleção e utilização de espécies vegetais naturalmente duráveis possuem esta vantagem adicional em não haver quaisquer problemas de eliminação no decorrer dos anos. Assim o termo durabilidade natural é um significativo fator no termo de conservação florestal.

Em virtude, da existência de diferenças na durabilidade mesmo do cerne entre uma árvore e um outro da mesma espécie, associadas com variações no teor de extrativos, que são provavelmente hereditários, como demonstrado anteriormente, a seguir estão listados alguns exemplos dos usos da madeira em diferentes classes de durabilidade, destacadas por Findlay (1985):

Madeira muito durável: Material desta classe pode ser utilizado para estruturas permanentes em contato com o solo ou água, por exemplo, postes de transmissão; dormentes; pontes de madeiras; madeiras de fundação; mourões e estacas.

Madeira durável: Usadas em partes expostas de estruturas permanentes, que não estão em contato direto com o solo. Estas são adequadas para molduras, *decks* de barcos; fabricação de tonéis e soleiras de janela.

Madeira moderadamente durável: Nunca devem ser usadas em contato direto com o solo, a menos que realizado um tratamento preservativo, mas por períodos curtos podem resistir à exposição nas condições de umidade. São adequadas para as partes de estruturas permanentes que são fornecidos a proteção contra fatores de intemperismo (precipitação pluviométrica, raios solares), com exemplo de uso destacam-se caibros, vigas e ripas.

Madeiras não duráveis: Devem sempre receber tratamento químico se houver qualquer risco do local de aplicação se tornar úmido. Podem ser seguramente usadas para carpintaria interna e móveis, no entanto, se têm uma alta proporção de alburno, podem exigir proteção em longo prazo contra o ataque de insetos, especialmente em regiões onde ocorrem os cupins de madeira seca.

Madeira perecível: Estas madeiras requerem, a extração rápida e realização de tratamentos químicos ou térmicos. Não devem ser usadas para obras de construção, mesmo sob a cobertura, a menos que tenham recebido tratamento preservativo. São frequentemente utilizadas em tornearia e como folheados em madeira compensada para uso interno; também para caixas de chá e cestos.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os extrativos são os principais componentes químicos da madeira responsáveis pela sua durabilidade natural a agentes xilófagos.

A utilização de madeiras naturalmente duráveis aos agentes xilófagos devem ser primordiais não somente no uso industrial madeireiro, mas também em medidas de conservações ambientais. O conjunto destes fatores justificam a avaliação contínua das espécies madeiras em relação a sua durabilidade natural.

AGRADECIMENTOS

À FAPES (Fundação de Amparo e Pesquisa do Espírito Santo), pela concessão da bolsa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, A. C.; UETIMANE JÚNIOR, E.; RÅBERG, U.; TERZIEV, N. Comparative natural durability of five wood species from Mozambique. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 65, p.768 – 776, 2011.

ARANGO, R. A.; GREEN III, F.; HINTZ, K.; LEBOW, P.K.; MILLER, R. B. Natural durability of tropical and native woods against termite damage by *Reticulitermes flavipes* (Kollar). *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 57, p. 146 - 150, 2006.

BLANCHETTE, R. A.; BIGGS, A. R. Defense mechanisms of woody plants against fungi. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 478 p.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. Anatomia da madeira. São Paulo. Nobel S.A. 1991, 154p.

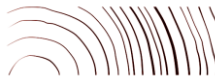
CAO, Y.; LU, J.; HUANG, R.; ZHAOAND, Y.; WU, Y. Evaluation of decay resistance for steam - heat treated wood. *BioResources*, v. 6, n. 4, p. 4696-4704, 2011.

CARNEIRO, J.S.; EMMERT, L.; STERNADT, G.H.; MENDES, J.C.; ALMEIDA, G.F. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. *Holzforschung*, v.63, p.767-772, 2009.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of wood. In: *Wood handbook: wood as an engineering material*. 100th ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, p.312 - 327. (General Technical Report, FPL-GTR, 190).

DANIEL, G. Microview of wood under degradation by bacteria and fungi. In: GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, P. (Org.). *Wood deterioration and preservation*. Washington: American Chemical Society, 2003. p. 34 - 72.

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



ISLAM, M. N.; ANDO, K.; YAMAUCHI, H.; KAMIKAWA, D.; HARADA, T.; HATTORI, N. Impregnation of preservative and fire retardants into Japanese cedar lumber by passive impregnation. *BioResources*, v. 8, n. 1, p. 395-404, 2013.

KIRKER, G.T.; BLODGETT, A.B.; ARANGO R.ALEBOW, P.K.; CLAUSEN, C.A. The role of extractives in naturally durable wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 82, p. 53 - 58, 2013.

KLOCK, U.; ANDRADE, A.S. Química da madeira. 4. ed. Curitiba: UFPR. 2013. 85p. (Manual Didático).

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. Principles of wood science and technology. New York: Springer – Verlag, v.1., 1968. 592 p.

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: *Wood handbook: wood as an engineering material*. 100th ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, p. 100 -145 (General Technical Report, FPL-GTR- 190).

LEBOW, S. T. Wood preservation. In: *Wood handbook: wood as an engineering material*. 100th ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, p.312 - 327. (General Technical Report FPL-GTR-190).

LEPAGE, E. S. Preservativos e sistemas preservativos. In: LEPAGE, E. S. (Coord.) *Manual de preservação de madeiras*. São Paulo: IPT, 1986, v.1., p. 41 – 330.

LUKMANDARU, G.; TAKAHASHI, K. Radial distribution of quinones in plantation teak (*Tectona grandis* L.f.). *Annals of Forest Science, Les Ulis*, v. 66, n. 6, p. 605- 614, 2009.

MANTANIS, G.; TERZI, E.; KARTAL, S. N.; PAPADOPOULOS, A. N. Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc and copper-based nanocompounds. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 90, p. 140 -144, 2014.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SUSIN, F. Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. *Ciência Florestal*, v. 20, n. 2, p. 357-365, 2010.

MEYER, L.; BRISCHKE, C.; MELCHER, E.; BRANDT, K.; LENZ, M. T.; SOETBEER, A. Durability of English oak (*Quercus robur* L.) e comparison of decay progress and resistance under various laboratory and field conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.86, p. 79 – 85, 2014.

MODES; K. S.; LAZAROTTO M.; BELTRAME R.; VIVIAN, M. A.; SANTINI, E. J.; MUNIZ, M. F. B. Resistência natural das madeiras de sete espécies florestais ao fungo *Pycnoporus sanguineus* causador da podridão-branca. *Cerne*, v.18 n.3, p. 407 - 411, 2012.

MORAIS, F. M.; COSTA, A. F. Alteração da cor aparente de madeiras submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, n.1 p.44-50, 2007.



MORRELL, J. J. Protection of wood-based materials. In: KUTZ, M. (Org.). Environmental degradation of materials. New York: Elsevier, 2012. p. 407 - 438.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, R. C.; VIDAURRE, G. B. Resistência natural da madeira de *Tectona grandis* em ensaio de laboratório. Ciência Rural, Santa Maria, v.43, n.8, p. 1393-1398, 2013.

MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. Wood Science and Technology, v. 48, n. 2, p. 411-433, 2014.

OLIVEIRA, J. T. S.; SOUSA, L. C.; DELLA LUCIA, R. M.; SOUSA JUNIOR, W. P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. Revista Árvore, v. 29, p.819-826, 2005.

OLIVEIRA, L. S.; SANTANA, A. L. B. D.; MARANHÃO, C. A.; MIRANDA, R. C. M.; LIMA, V. L. A. G.; SILVA, S. I.; NASCIMENTO, M. S.; BIEBER, L. Natural resistance of five woods to *Phanerochaete chrysosporium* degradation. International Biodeterioration & Biodegradation. v. 64, p. 711-715, 2010.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência das madeiras de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), cássia (*Senna siamea*) e ipê (*Tabebuia impetiginosa*) a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. Floresta e Ambiente, v. 9, n.1, p.135 - 144, 2002.

PAES, J. B.; LIMA C. R.; OLIVEIRA, E.; MELO, R. R. Resistência natural de sete madeiras ao cupim subterrâneo (*Nasutitermes corniger* Motsch.) em ensaio de preferência alimentar. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.2, n.1, p.57-62, 2007.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R.; SANTOS, G. J. C. Resistência natural de nove madeiras do Semiárido brasileiro a fungos xilófagos em simuladores de campo. Revista Árvore, v.33, n.3, p.511-520, 2009.

PAES, J. B.; MEDEIROS NETO, P. N.; LIMA, C. R.; FREITAS, M. F.; DINIZ, C. E. F. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. Cerne, v.19, n.3, 2013.

PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. Construção Magazine. n.20, p.54-62, 2007.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. Textbook of wood technology. 4th ed. New York: McGraw-Will, 1980. 722p.

PLASCHKIES, K.; JACOBS, K.; SCHEIDING, W.; MELCHER, E. Investigations on natural durability of important European wood species against wood decay fungi. Part 1: Laboratory tests. International Biodeterioration & Biodegradation, v.90, p. 52 -56, 2014.



READING, N. S.; WELCH, K. D.; AUST, S. D. Free radical reactions of wood-degrading fungi. GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, P. (Org.). Wood deterioration and preservation. Washington: American Chemical Society, 2003. p. 16 - 31.

RODRIGUES, R. B.; BRITO, E. O. Resistência natural de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora* à *Coptotermes gestroi* (Isoptera; Rhinotermitidae) em laboratório. Floresta e Ambiente, v. 18, n.1, p. 9-15, 2011.

ROWELL, R. M. PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. ROWELL, R. M (Org.). Wood chemistry and wood composites. New York: CRC Press, 2005. 43 - 82 p.

SCHEFFER, T. C. Microbiological deterioration and its causal organisms. In: NICHOLAS, D. D. (Ed.). Wood deterioration and its prevention treatments: degradation and protection of wood. Syracuse: Syracuse University, 1973. v. 2, p. 31-106.

SCHMIDT, O. Wood and tree fungi: biology, damage, protection and use. Berlin: Springer-Verlag, 2006. p. 135 -146.

SHANBHAG, R. R.; SUNDARARAJ, R. Imported wood decomposition by termites in different agro-eco zones of India. International Biodeterioration & Biodegradation, v. 85, p. 16 - 22, 2013.

SHMULSKY, R.; P. JONES, P. D. Forest products and wood science: an introduction. 6th ed. Wiley-Blackwell. 2011. p. 229 - 252.

SILVA, C. A.; MONTEIRO, M. B. B.; BRAZOLIN, S.; LOPEZ, G. A. C.; RICHTER, A.; BRAGA, M. R. Biodeterioration of brazilwood *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae - Caesalpinioideae) by rot fungi and termites. International Biodeterioration & Biodegradation, v.60, p. 285–292, 2007.

SJÖSTROM, E. Wood Chemistry: fundamentals and applications. New York: Academic Press, 1981. 231 p.

SUNDARARAJ, R.; SHANBHAG, R. R.; NAGAVENI, H. C.; VIJAYALAKSHMI, G. Natural durability of timbers under Indian environmental conditions - An overview. International Biodeterioration & Biodegradation, v.103, p.196-214, 2015.

TASCIOGLU, C.; YALCIN, M.; TROVA, T.; SIVRIKAYA, H. Termiticidal properties of some wood and bark extracts used as wood preservatives. BioResources, v. 7, n. 3, p.2960-2969, 2012.

WANG, J.; LI, J.; SHUJUN LI, S.; FREITAG, C.; MORRELL, J. J. Antifungal activities of *Cunninghamia lanceolata* heartwood extractives. BioResources, v. 6, n. 1, p. 606 – 614, 2011.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. Wood microbiology: decay and its prevention. Academic Press: California, 1992, p. 3 - 44.