

Resistência biológica e agentes deterioradores da madeira

Autoria:

Pedro Nicó de Medeiros Neto

Doutor em Ciências Florestais, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, Paraíba, Brasil

Joyce de Almeida Pinto

Universidade Federal do Espírito Santo

Flávia Maria Silva Brito

Universidade Federal do Espírito Santo

Juarez Benigno Paes

Universidade Federal do Espírito Santo

Glaucileide Ferreira

Universidade Federal do Espírito Santo

Nédia Pereira Correia Mendes Correia

Universidade Federal do Espírito Santo

Resumo

O estímulo para produção deste capítulo de livro se fundamentou na relevância cada vez maior do conhecimento da resistência biológica da madeira frente a utilização correta deste material que possui alta demanda no mercado. Utilizou-se como metodologia uma revisão integrativa da literatura, realizada a partir da busca por publicações científicas indexadas em bases de dados. Este artigo contempla um referencial teórico que versa sobre a resistência biológica relacionada com o grau de suscetibilidade da madeira principalmente, em relação ataque de agentes degradadores bióticos como fungos e insetos. Outro fator que o artigo aborda está relacionado com os fatores necessários para que a madeira seja biodeteriorada. A bioteriação pode ser conceituada como uma alteração indesejável, provocada pela atividade não controlada de agentes bióticos. Por fim o artigo traz conhecimentos sobre os agentes deterioradores, como cupins (madeira seca e solo), brocas (coleópteros) e formigas carpinteiras. O estudo tem por objetivo revisar a literatura clássica que é a base para todos os estudos sobre resistência biológica, e em conjunto com a literatura atual abordam pontos relacionados ao tema.

Palavras-chave: Biodeterioração. Fungos. Isópteros. Coleópteros.

Como citar este capítulo:

MEDEIROS NETO, Pedro Nicó *et al.* Resistência biológica e agentes deterioradores da madeira. In: ANDRADE, Jaily Kerller Batista (Org.). **Fundamentos e pesquisas em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, 2024, p. 73-89. ISBN: 978-65-85562-27-0. DOI: 10.58203/Licuri.22706.

INTRODUÇÃO

A madeira é um material heterogêneo e complexo, constituída a partir do câmbio vascular, formada por vários tipos de células lenhosas (EVANGELISTA *et al.*, 2010). A parede celular vegetal é constituída majoritariamente por polímeros amorfos, como celulose, hemicelulose e lignina (RAJINIPRIYA *et al.*, 2018). Esses compostos são reconhecidos como fonte de nutrientes para diversos agentes biológicos, como fungos apodrecedores, bactérias, insetos xilófagos, além das brocas marinhas que podem alterar a resistência biológica da madeira.

A resistência biológica da madeira pode ser conceituada como a capacidade inerente de uma espécie resistir à ação de agentes deterioradores, incluindo os agentes biológicos, físicos e químicos. Os organismos xilófagos causam a degradação biológica da madeira quando utilizam os polímeros naturais da parede celular, como fonte de alimento. Alguns destes organismos são providos de sistemas enzimáticos específicos, que são hábeis em metabolizá-los em unidades assimiláveis, bem como, utilizar os constituintes da madeira (até mesmo a casca) como fonte de energia. Estes organismos podem atuar em conjunto com agentes físicos e químicos para acelerar o processo de deterioração da madeira (VIVIAN *et al.*, 2014).

Os insetos podem ser considerados os animais de maior diversidade do mundo e tem destaque no processo de biodeterioração da madeira. Estima-se que já tenha sido identificado mais de 1 milhão de espécies, e que esse número pode representar apenas 10% de um possível número total. Os insetos pertencem a classe Insecta que pode ser subdividida em 31 ordens. Seis ordens podem agir como agentes deterioradores, e apenas três causam danos significativos a madeira, como Isoptera (cupins), Coleoptera (besouros) e Hymenoptera (formigas, abelhas e vespas) (SOUZA *et al.*, 2018).

Assim, o estudo tem por objetivo revisar a literatura clássica que é a base para todos os estudos sobre resistência biológica, e em conjunto com a literatura atual abordam pontos relacionados ao tema.

FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DA MADEIRA EM SERVIÇO

O termo resistência ou durabilidade natural refere-se ao grau de suscetibilidade da madeira ao ataque de agentes degradadores bióticos, como fungos, insetos e brocas marinhas, ou abióticos, entre estes, forças mecânicas naturais (ventos) e decomposição

física e química (TOMAZELI *et al.*, 2016). Esta é diretamente influenciada, pela interação das propriedades físico-químicas e anatômicas da madeira, condições ambientais e projeto estrutural (BRISCHKE *et al.*, 2013).

O seu conhecimento, é de fundamental importância para que se possa recomendar o emprego adequado da madeira, com orientação quanto a sua utilização principalmente na construção civil, e outros objetos madeireiros, e assim, evitam-se gastos desnecessários com a reposição de peças deterioradas e reduzem os impactos sobre as florestas remanescentes (PAES *et al.*, 2009). Oliveira *et al.* (2005) enfatizaram que madeiras com elevada durabilidade natural aos fungos podem ser destacadas por um alto grau de nobreza, conferindo-lhes um amplo espectro de utilização.

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

Segundo os autores anteriormente citados, a primeira e segunda defesas estão relacionadas com a disponibilidade de nutrientes e à presença de compostos tóxicos. O lenho 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, em folhosas e coníferas, previnem ou limitam o ataque de fungos apodrecedores.

Uma terceira defesa natural está relacionada com a ultraestrutura da parede celular, em que, a lignina por ser uma substância altamente polimerizada, forma um complexo amorfo com as hemiceluloses para interligá-las à celulose, o que reduz a biodisponibilidade da holocelulose, resultante da formação de um tipo de barreira física contra o ataque microbiano (BLANCHETTE; BIGGS, 1992). Zabel e Morrell (1992) destacam que este processo de lignificação proporciona rigidez aos tecidos lenhosos das árvores, em que, o teor de lignina pode variar entre espécies e entre individuais de uma mesma espécie, sendo a parede celular primária e a lamela média mais resistentes ao ataque de microrganismos.

Madeiras com elevados níveis de lignina do tipo guaiacila, proporcionam uma maior durabilidade natural, em relação à lignina siringila, em virtude, desta ser mais

condensada, que confere maior rigidez a parede celular. As células da madeira também podem variar em grau e tipo de lignificação. Em fibras de folhosas possui lignina do tipo siringila, enquanto as paredes dos vasos tendem a possuir lignina guaiacila. De modo semelhante, as células do parênquima radial, do alburno de coníferas, tendem a ser não lignificadas e facilmente degradadas, enquanto traqueídeos radiais adjacentes são lignificados (DANIEL, 2003).

Outras características a serem destacadas são a massa específica e a porosidade, que podem ser utilizadas como fator de comparação entre as espécies florestais com relação à durabilidade natural, em que madeiras mais densas e com menores quantidades de poros oferecem maior resistência à deterioração por fungos e insetos xilófagos (PANSIN; DE ZEEUW, 1980).

No entanto, a durabilidade natural da madeira está relacionada, principalmente, à presença de extrativos tóxicos (MOORE *et al.*, 2015; BRISCHKE *et al.*, 2013). Estes são particularmente localizados no cerne, proveniente do alburno quando este cessa suas atividades fisiológicas (KLOCK; ANDRADE, 2013). Extrativos que conferem a durabilidade natural de muitas espécies florestais são formados a partir de amido e carboidratos solúveis, que penetram nas paredes celulares (SCHMIDT, 2006).

Apesar da madeira ser uma das principais fontes de alimento natural de diversos agentes xilófagos, a intensidade do ataque depende da composição química e morfológica do material e, à presença de concentrações mais elevadas de extrativos proporciona maior durabilidade (PALA, 2007; REINPRECHT, 2016). Estes componentes secundários podem ser tóxicos para os microrganismos, inibitórios do processo degradativo, exercem um efeito antioxidante e, ou, reduzem a permeabilidade da madeira à água, ao ar ou às hifas dos fungos.

Os extrativos estão presentes na madeira como monômeros, dímeros e polímeros, na qual, alguns são responsáveis também pela cor, cheiro, gosto e durabilidade natural da madeira e inflamabilidade da madeira (ROWELL *et al.*, 2005). Estes são classificados em compostos alifáticos (principalmente gorduras e cera), terpenos, terpenóides e compostos fenólicos, que produzem uma inibição química contra o avanço do ataque de agentes xilófagos (SJÖSTRÖM, 1981).

Os radicais livres, dos fenóis oxidados podem funcionar como inibidores não específicos que afetam indiscriminadamente muitas enzimas de origem fúngicas (BLANCHETTE; BIGGS, 1992). As principais classes de extrativos que contribuem para a

durabilidade da madeira ao ataque de agentes xilófagos são principalmente os compostos fenólicos, dentre estes os polifenóis, terpenóides, tropolonas e taninos (ALMEIDA *et al.* 2012; MORRELL, 2012; LU *et al.* 2016).

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

Os polifenóis incluem, conforme Zabel e Morrell (1992) e Schmidt (2006), os estilbenos e flavonóides, extrativos mais comuns no cerne, que ocorre neste, em quase todas as espécies. Os estilbenos são sintetizados pela via do ácido chiquímico. Estilbenos isolados são tóxicos para bactérias, fungos e insetos, embora a sua capacidade para proteger a madeira varia consideravelmente. Flavonóides incluem muitas fitoalexinas importantes, compostos produzidos pelas plantas em resposta ao ataque microbiano e inibem, por exemplo, os fungos de podridão como *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*.

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 ácidos graxos. Os terpenos são sintetizados por uma variedade de tecidos nas plantas, como os canais resiníferos em coníferas (SJÖSTRÖM, 1981; ZABEL; MORRELL, 1992).

Segundo os autores acima citados, compostos terpenóides são importantes precursores de extrativos mais tóxicos presentes no cerne da madeira, como as tropolonas, que causam um aumento na resistência à biodeterioração. Estas são derivadas de terpenóides, os quais são sintetizados a partir da acetilcoenzima A (Acetil-CoA).

Assim, para conferir resistência aos agentes xilófagos, os extrativos devem possuir propriedades antioxidantes e antifúngicas e, quando as madeiras não possuem extrativos

com estas propriedades ou em níveis baixos, quando comparado com espécies que apresentam tais substâncias em maiores quantidades, essas são mais susceptíveis ao ataque de agentes xilófagos (CLAUSEN, 2010; LEBOW, 2010; KOCH; SCHMITT, 2013).

A utilização de espécies vegetais naturalmente duráveis possui vantagem adicional em relação à madeira tratada quimicamente, por não haver quaisquer problemas de eliminação no decorrer dos anos de sua utilização (SUNDARARAJ *et al.*, 2015). Assim o termo durabilidade natural é um significativo fator para a conservação florestal e ambiental.

Biodeterioração da madeira

Conforme mencionado anteriormente por ser um material de origem biológica, a madeira é susceptível a degradação por um conjunto de agentes (bióticos e abióticos); e o risco de degradação da mesma por um determinado tipo de organismo irá depender de condições propícias ao seu desenvolvimento, principalmente do teor de umidade presente na madeira (MACHADO *et al.*, 2003). Segundo a Norma Portuguesa e Europeia - NP EN 335-1 (1994), abaixo de 20% de umidade a madeira está protegida do ataque de fungos decompositores, porém, está sujeita à degradação por coleópteros e térmitas de madeira seca.

O teor de umidade é um fator de grande importância no uso da madeira, bem como no método de secagem do material, pois isso influenciará seus diversos usos, e também a sua maior ou menor suscetibilidade à biodeterioração. Segundo Almeida *et al.* (2016), a madeira possui grande variabilidade em suas propriedades físicas e mecânicas, as quais são diretamente influenciadas pelo teor de umidade. Como a madeira é um material anisotrópico e higroscópico, a caracterização completa dessas variações requer conhecimento de seus atributos dependentes da umidade, pois ela será exposta a diferentes condições climáticas nas diversas utilizações (OZYHAR *et al.*, 2012).

Conforme a Norma Europeia - EN 844-4 (1995), a utilização de termos inadequados para definição de “madeira seca” tem por consequência, a recepção de material com diferentes teores de umidade, que podem variar, geralmente, entre 7 e 25%. A madeira comercialmente seca deve estar abaixo de 25%, sendo necessário especificar o teor de umidade adequado ao uso pretendido (CRUZ; RODRIGUES, 1997).

No entanto, mesmo o produto com umidade inferior a 20%, ainda pode ser deteriorado, quando utilizado durante um período prolongado em local com umidade

relativa e temperatura, que proporcione umidade de equilíbrio superior a esse teor. Uma vez que, a incidência de ataques de organismos xilófagos pode estar diretamente relacionada ao teor de umidade, é essencial o controle dessa variável, que pode ser realizado de forma rápida, eficiente e não destrutiva em campo por medidores elétricos de umidade.

Segundo Melo *et al.* (2010), ocorrerá a instalação e o ataque de agentes biodeterioradores somente se houver condições favoráveis no ambiente, como a temperatura, oxigênio e umidade (do ar e da madeira); sendo a temperatura e umidade as de maior importância. Dependendo das circunstâncias, pode ocorrer o ataque de um ou vários organismos ao mesmo tempo. Outros fatores também afetam a biodegradação da madeira, como as suas características físicas e químicas, à concentração dos extrativos tóxicos presentes no lenho, e também os organismos presentes a comunidade onde a madeira está alocada (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979).

De acordo com Schmidt (2006), há diferenças entre biodegradação e biodeterioração. A biodegradação é definida como uma alteração desejável nas propriedades de um material, proporcionada por atividades de organismos vivos, sendo uma ação benéfica, transformando-o em formas utilizáveis pelo homem (como o processo de fermentação e biorremediação de áreas ou materiais contaminados, por exemplo). Já a biodeterioração é uma alteração indesejável, provocada pela atividade não controlada de agentes bióticos (ataque de cupins de madeira seca). A madeira está sujeita a biodeterioração durante as diferentes etapas industriais, até seu emprego definitivo, podendo ser atacada por diferentes agentes biodeterioradores.

Agentes biodeterioradores da madeira

A madeira, por ser um material biológico, é susceptível à biodeterioração por uma variedade de agentes xilófagos, e a necessidade de proteger a mesma e evitar elevadas perdas econômicas constitui um grande desafio (SHANBHAG; SUNDARARAJ, 2013). Esta característica biodegradável da madeira a torna um material diferente em relação aos outros principais materiais como, plástico, vidro e metais.

Para Ibach (2005), Brazolin (2007), Koch e Schmitt (2013), Mantanis *et al.* (2014), Mansour; Salem (2015) e Reinprecht (2016), os agentes biológicos são os principais responsáveis pela deterioração da madeira. Entre estes destacam os fungos que causam manchas, amolecimento e apodrecimento, brocas marinhas, principalmente moluscos e

crustáceos, bactérias e os insetos representados por térmitas e besouros (ARCHER; LEBOW, 2006). No entanto os maiores danos econômicos de biodeterioração resultam da decomposição por fungos apodrecedores, que são mais ativos em climas tropicais, em comparação às regiões temperadas e frias (POMETTI *et al.*, 2010; RÄBERG *et al.*, 2013; STIENEN *et al.*, 2014).

As bactérias surgem na madeira em associação com colonizadores primários e secundários, frequentemente, no contexto da sucessão por fungos (SCHMIDT, 2006). Em folhosas, movimentam-se nos vasos que não estão obstruídos por tiloses, e no lenho outonal das coníferas, apenas alguns traqueídeos são atacados, em virtude dos pequenos espaços livres dentro da membrana das pontuações.

Estes microrganismos degradam madeiras submersas em água ou em plataformas com pulverização de água. As coníferas são mais afetadas que as folhosas, e o alburno mais que o cerne. Dentro do tecido lenhoso, preferencialmente, alimenta-se de açúcares solúveis, presentes nas células do parênquima e também atacam a membrana da pontuação não lignificada (UNGER; SCHNIEWIND; UNGER, 2001; KLAASSEN, 2014). Daniel (2003) enfatiza que estas não degradam ativamente as regiões da lamela média que contêm altos teores de lignina, em coníferas e folhosas.

Os fungos podem ser divididos em emboloradores, manchadores e apodrecedores (MOTTA *et al.*, 2013). Os dois primeiros descolorem a madeira e ambos vivem dos nutrientes presentes nos lúmens das células do parênquima no alburno (sais minerais, amido, açúcares e proteínas). Podem atacar e colonizar coníferas e folhosas, por meio da madeira roliça, serrada e produtos em uso. Não causam nenhum dano, ou ataque severo à parede celular e são classificados como Deuteromicetos e Ascomicetos (SCHMIDT, 2006; MESQUITA *et al.*, 2006, REINPRECHT, 2016).

Entre os fungos apodrecedores, estes podem ser classificados em três principais grupos, de acordo com sua capacidade de degradação do material lignocelulósico, em podridão branca, parda e mole (BJORDAL; NILSSON, 2002; PALA, 2007).

A maioria destes fungos apodrecedores pertence à classe biológica dos Basidiomicetos, mas alguns são Ascomicetos e Deuteromicetos (fungos imperfeitos) (SHMULSKY; JONES, 2011; LI *et al.*, 2013; BOUSLIMI *et al.*, 2014). Os autores destacam como mais comuns os gêneros *Gloeophyllum*, *Polyporus*, *Neolentinus*, *Trametes* e *Coniophora*. O ataque destes gêneros varia amplamente quanto à espécie de madeira,

condições propícias para seu desenvolvimento (teor de umidade, temperatura, oxigênio e pH), estrutura e propriedades químicas da madeira e diferentes posições nas peças.

Entre estes fungos destacam-se os Basidiomicetos, que são os principais degradadores da madeira (MEYER; BRISCHKE, 2015) e causam danos econômicos consideráveis (STIENEN; SCHMIDT; HUCKFELDT, 2014).

A deterioração por estes ocorre de maneira extracelular, por meio da penetração de suas hifas pelo lume das células, as quais liberam uma variedade de metabólitos extracelulares que ocasionam a degradação dos constituintes da parede celular vegetal, que são inicialmente despolimerizados em componentes susceptíveis ao transporte, e apesar de degradarem holocelulose e lignina, estes exibem diferentes taxas de deterioração para estas substâncias (SILVA *et al.*, 2007; IBACH, 2005; ARANTES; MILAGRES, 2009).

Os fungos da podridão parda degradam os hidratos de carbono (celulose e hemiceluloses) da madeira, não deteriorando a lignina, que favorece para uma coloração marrom do material. Os de podridão branca decompõem todos os componentes estruturais (celulose, hemiceluloses e lignina) do material lenhoso, tornando-o esbranquiçado (IBACH, 2005; SCHMIDT, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2010; OKINO *et al.*, 2015).

Fungos de podridão mole pertencem às classes Ascomycetos e Deuteromicetos, os quais causam a degradação progressiva das superfícies da madeira para o interior. Os efeitos do ataque são mais lentos para surgirem e menos perceptíveis do que os fungos anteriormente citados (SHMULSKY; JONES, 2011).

Em relação aos insetos, os cupins são os principais biodegradadores da madeira, mas em uma escala, eles causam menos danos que os fungos (CLAUSEN, 2010). Estes utilizam materiais lenhosos tanto como abrigo ou para obtenção de celulose, como fonte de alimento (SHMULSKY; JONES, 2011, REINPRECHT, 2016).

Segundo Constantino (2002), há aproximadamente 400 espécies de cupins registradas para América do Sul, com cinco famílias presentes; Kalotermitidae (53 espécies), Rhinotermitidae (19), Serritermitidae (2), Termitidae (325), e Termopsidae (1). No Brasil constam-se aproximadamente 300 espécies, que se distribuem em quatro famílias; Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae e Termitidae (CONSTANTINO, 1999).

Entre as famílias citadas, a Termitidae possui uma vasta quantidade de indivíduos que incluem térmitas subterrâneos (arborícolas) e de montículos. Estes são capazes de

consumir a madeira, sem a presença de um simbiote intestinal, uma vez que estes podem depender de fungos para converter o material lignocelulósico de uma forma adequada para a sua própria digestão (RICHARDSON, 1993).

O mesmo autor destaca a família Kalotermitidae, que inclui as térmitas de madeira seca, as quais são capazes de se alimentarem da madeira que possui um baixo teor de umidade (< 15%). Nesta família, protozoários simbiotes no intestino grosso dos insetos fornecem enzimas celulases suficientes para permitir que os mesmos digiram a celulose, embora a lignina não seja consumida.

As espécies desta família, em especial, o *Cryptotermes brevis*, são encontradas principalmente no interior de locais domiciliares, com posterior ataque aos móveis, livros, estruturas de madeira, aglomerados e compensados (GONÇALVES *et al.*, 2013) e se instalam em madeiras com teores de umidade inferiores a 30%, com ninho dispostos em galerias e colônias formadas por algumas centenas de indivíduos (CABRERA *et al.*, 2001).

No geral, as térmitas subterrâneas geralmente penetram na madeira a partir do solo ou através de conexões que são construídas para alcançar a madeira, com formação de colônias que podem conter centenas de milhares a milhões de indivíduos (JEON; LEE, 2014). Os de madeira seca representam um risco diferente da variedade subterrânea por atacar a madeira acima do solo, diretamente a partir do ar, durante a revoada. Uma vez instalados, estes podem suportar teores de umidade entre 5 e 6 % (SHMULSKY; JONES, 2011).

Para Ragon, Nicholas e Schultz (2008) os extrativos presentes no material lenhoso, repelem o ataque de térmitas subterrâneas. No entanto, o mecanismo de como estes constituintes químicos proporcionam resistência às espécies florestais não está explicado.

Outros organismos que utilizam a madeira como fonte de alimento são os coleópteros, com várias famílias e subfamílias com espécies xilófagas, que apresentam uma ampla faixa de degradação da madeira em diversas fases de umidade, dentre estas, as principais são Cerambycidae (vivem em diversos tipos de madeira), Scolytinae e Platypodinae (árvores vivas ou recém-abatidas); Bostrycidae (madeira em processo de secagem); Lyctinae e Anobidae (madeira seca) (LEPAGE *et al.*, 1986).

Os coleópteros pertencem a maior ordem de insetos e uma variedade de espécies evoluiu para atacar a madeira. Os besouros podem causar danos diretamente como

galerias através da madeira ou como vetores de fungos que, posteriormente, mancham ou causam apodrecimento na mesma. Muitas espécies de besouros depositam seus ovos em árvores mortas ou recém-derrubadas, com formação de túneis, no qual as larvas degradam a madeira, contribuindo, assim, para a ciclagem de nutrientes (MORRELL, 2012).

Em relação a hymenoptera destacam-se os insetos da família Formicidae, e o gênero de maior importância é o *Camponotus*, onde as espécies são conhecidas como formigas carpinteiras. *Camponotus* tem distribuição mundial. Sua maior diversidade e a abundância é alcançada nas florestas tropicais e habitats de savana em baixas latitudes. As colônias são muito visíveis pelo número ou tamanho das operárias (ROSSI; FELDHAAR, 2020).

Ainda de acordo com os mesmos autores, os ninhos de *Camponotus* podem ser construídos no solo ou debaixo de pedras, em madeira ou em plantas vivas. Ao contrário da maioria das outras formigas, diversas espécies de *Camponotus* são capazes de escavar cavidades em madeira maciça (incluindo estruturas de madeira de casas) como espaço de nidificação, que deu ao gênero o nome comum “formigas carpinteiras”.

CONCLUSÕES

Essa pesquisa se insere no contexto de revisão bibliográfica sobre resistência biológica da madeira. A importância do tema está relacionada com a vida média útil em serviço quando a madeira é exposta a condições favoráveis a proliferação e ataque de organismos xilófagos, principalmente fungos, insetos. Os agentes degradadores associados às diversas condições de utilizações possuem grande importância na resistência natural e vida útil da madeira. Agentes como fungos possuem um mecanismo de degradação química que é influenciado por fatores como umidade e calor, enquanto os insetos como térmitas ou cupins, brocas e formigas utilizam mecanismos mecânicos. O conhecimento da resistência biológica da madeira é fundamental para a recomendação mais adequada, com isto é possível evitar gastos desnecessários substituindo peças e diminuindo os impactos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, N. A. *et al.* Biodeterioração de produtos à base da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*). *Cerne*, v.18, n.1, p.17-26, 2012.
- ALMEIDA, D. H. *et al.* Determinação da rigidez de *Pinus elliottii* em diferentes teores de umidade por meio de ensaios mecânicos não destrutivos. *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 110, p. 303-309, 2016.
- ARCHER, K.; LEBOW, L. Wood preservation. In: WALKER, J. C.F. (Ed). **Primary wood processing: principles and practice**. Berlim: Springer-Verlag, 2006. p. 297-338.
- BJORDAL, C. G.; NILSSON, T. Water logged archaeological wood - a substrate for white rot fungi during drainage of wetlands. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 50, n.1, p. 17-23, 2002.
- BLANCHETTE, R. A.; BIGGS, A. R. **Defense mechanisms of woody plants against fungi**. Berlin: Springer-Verlag, 1992, 478p.
- BOUSLIMI, B.; KOUBAA, A.; BERGERON, Y. Effects of biodegradation by brown-rot decay on selected wood properties in eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.). **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 87, p. 87-98, 2014.
- BRAZOLIN, S. Biodeterioração e preservação da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C. NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2007, p.343-365.
- BRISCHKE, C. *et al.* Natural durability of timber exposed above ground - a survey. *Drvna Industrija*, v 64, n.2, p.113-129, 2013.
- CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of Wood. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100 ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, p.312-327, (General Technical Report FPL-GTR-190).
- CONSTANTINO, R. The pest termites of South America: taxonomy, distribution and status. **Journal of Applied Entomology**, v.126, n.7, p.355-365, 2002.
- CONSTANTINO, R. Chave ilustrada para a identificação dos gêneros de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v.40, n.25, p. 387-448, 1999.
- CRUZ, H.; RODRIGUES, M. **Humidade da madeira**. Lisboa: LNEC, 1997. (Série Madeiras para Construção, Ficha 9).

DANIEL, G. Free radical reactions of wood-degrading fungi. In: GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, P. (Ed.). **Wood deterioration and preservation**. Washington: American Chemical Society, 2003. p. 34-72.

EUROPEAN STANDARD. **EN 844-4**: round and sawn timber - terminology. Part 4: Terms relating to moisture content. Brussels: CEN, 1995.

EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J. C.; VALLE, M.L.A.; XAVIER, B.A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, v.38, p.273-284, 2010.

GONÇALVES, F. G. et al. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Revista Floresta e Ambiente**, v.20, n.1, p. 110-116, 2013.

IBACH, R. E. Biological properties. In: ROWELL, R.M. (Org.). **Wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2005, p. 107-127.

JEON, W.; LEE, S. H. Effects of tunnel structures of two termite species on territorial competition and territory size. **Journal of Asia Pacific Entomology**, v.17, n.3, p.199-205, 2014.

KLAASSEN, R. K. W. M. Speed of bacterial decay in waterlogged wood in soil and open water. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.86, p.129-135, 2014.

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

KOCH, G.; SCHMITT, U. Topochemical and electron microscopic analyses on the lignification of individual cell wall layers during wood formation and secondary changes. In: FROMM, J. (Ed.). **Cellular aspects of wood formation**. Berlin: Springer-Verlag, 2013, p. 41-70.

LEBOW, S. T. Wood preservation. In: **Wood handbook**: wood as an engineering material. 100 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.

LI, Q.; LIN, J. G.; LIU, J. Decay resistance of wood treated with extracts of *Cinnamomum camphora* xylem. **BioResources**, v.8, n.3, p.4208-4217, 2013.

LU, J. et al. Stilbene impregnation retards brown-rot decay of scots pine sapwood. **Holzforschung**, v.70, n.3, p.261-266, 2016.

- MACHADO, J. S.; CRUZ, H.; NUNES, L. **Mitos e factos relacionados com o desempenho de elementos de madeira em edifícios.** LNEC, 2003. Disponível em: https://www.academia.edu/1359437/Mitos_e_factos_relacionados_com_o_desempenho_de_elementos_de_madeira_em_edif%C3%ADcios?auto=download. Acesso em: 21 jan. 2017.
- MANTANIS, G. et al. Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc-and copper-based nanocompounds. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.90, p.140-144, 2014.
- MANSOUR, M. M. A.; SALEM, M. Z. M. Evaluation of wood treated with some natural extracts and Paraloid B-72 against the fungus *Trichoderma harzianum*: wood elemental composition, in-vitro and application evidence. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.100, p.62-69, 2015.
- MEYER, L.; BRISCHKE, C. Fungal decay at different moisture levels of selected European-grown wood species. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 103, n.4, p.23-29, 2015.
- MELO, R. R. et al. Durabilidade da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 357-365, 2010.
- MESQUITA, J. B.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Micobiota associada à madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden durante a secagem ao ar livre. **Ciência Florestal**, v.16, n.1, p.45-50, 2006.
- MORRELL, J. J. Protection of wood and based materials. In: KUTZ, M. (Org.). **Environmental degradation of materials**. New York: Elsevier, 2012, p. 407-438.
- MOORE, R. K. et al. The effect of polarity of extractives on the durability of wood. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD, FIBER, AND PULPING. 18, 2015, Vienna, **Proceedings...** Vienna: ISWFPC, 2015, 4p.
- MOTTA, J. P. et al. Resistência natural da madeira de *Tectona grandis* em ensaio de laboratório. **Ciência Rural**, v.43, n.8, p.1393-1398, 2013.
- NORMA PORTUGUESA/EUROPEAN NORME STANDARD. **NP EN 335-1**. Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Definição das classes de risco de ataque biológico. Parte 1: generalidades. IPQ, 1994.
- OKINO, E. Y. A. et al. Accelerated laboratory test of three Amazonian wood species called tauari, exposed to white- and brown-rot fungi and color. **Ciência Florestal**, v.25, n.3, p.581-593, 2015.
- OLIVEIRA, J. T. S. et al. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.819-826, 2005.

- OLIVEIRA, L. S. et al. Natural resistance of five woods to *Phanerochaete chrysosporium* degradation. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 64, n.8, p.711-715, 2010.
- OZYHAR, T. *et al.* Moisture-dependent elastic and strength anisotropy of European beech wood in tension. **Journal of Materials Science**, v. 47, n. 16, p. 6141-6150, 2012.
- PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção Magazine**, n.20, p.54-62, 2007.
- PAES, J. B. et al. 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.
- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Will, 1980, 722p.
- POMETTI, C. L. et al. Durability of five native Argentine wood species of the genera *Prosopis* and *Acacia* decayed by rot fungi and its relationship with extractive content. **Biodegradation**, v.21, n.5, p.753-760, 2010.
- RAGON, K. W.; NICHOLAS, D. D., SCHULTZ, T. P. Termite-resistant heartwood: the effect of the non-biocidel antioxidant properties of the extractives (Isoptera: Rhinotermitidae), **Sociobiology**, v.52, n.1, p.47-54, 2008.
- RÅBERG, U. et al. Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe-an overview. **Journal Wood Science**, v.51, n.5, p.429-440, 2005.
- RÅBERG, U.; TERZIEV, N.; GEOFFREY, D. Degradation of scots pine and beech wood exposed in four test fields used for testing of wood preservatives. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.79, p.20-27, 2013.
- RAJINIPRIYA, M. et al. Importance of agricultural and industrial waste in the field of nanocellulose and recent industrial developments of wood based nanocellulose: A Review. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v.6, n.3, p.2807-2828, 2018.
- REINPRECHT, L. **Wood deterioration, protection and maintenance**. United Kingdom: Wiley Blackwell, 2016, 366p.
- READING, N. S.; WELCH, K. D.; AUST, S. D. Microview of wood under degradation by bacteria and fungi. In: GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D.; RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. 2. ed. New York: E & FN Spon, 1993, p.23-32.
- ROSSI, N., FELDHAAR, H. Carpenter Ants. In: Starr, C (Org.). **Encyclopedia of Social Insects**. Switzerland: Springer Nature: 2020, p. 1 - 6.

ROWELL, R. M. et al. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. (Org.). **Wood chemistry and wood composites**. Florida: CRC Press: 2005, p. 43 - 83.

SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use**. Berlin: Springer, 2006. 344 p.

SCHULTZ, P. (Org.). **Wood deterioration and preservation**. Washington: American Chemical Society, 2003, p.17-31.

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

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

SILVA, C. A. et al. Biodeterioration of Brazil wood *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae - Caesalpinioideae) by rot fungi and térmites. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 60, n.4, p. 285-292, 2007.

SOUZA, G. O. et al. **Deterioração e Preservação da Madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018, p. 67-84.

STIENEN, T.; SCHMIDT, O.; HUCKFELDT, T. Wood decay by indoor basidiomycetes at different moisture and temperature. **Holzforschung**, v.14, n.1, p.9-15, 2014.

SUNDARARAJ, R. et al. Natural durability of timbers under Indian environmental conditions-an overview. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.103, p.196-214, 2015.

SWIFT, M. J.; HEAL, D. W.; ANDERSON, J. M. **Studies in ecology-decomposition in terrestrial and aquatic ecosystems**. Oxford: Blackwell. p. 54-94, 1979.

TOMAZELI, A. J. et al. Durabilidade natural de quatro espécies florestais em campo de apodrecimento. **Tecnológica**, v.20, n.1, p.20-25, 2016.

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

VIVIAN, M. A. *et al.* Resistência biológica da madeira tratada de duas espécies de *Eucalyptus* em ensaio de campo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 425-433, 2014.

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