

## Molhabilidade da madeira de três espécies amazônicas submetidas a ensaios de apodrecimento acelerado

Diego M. Stangerlin<sup>1</sup>, Alexandre F. da Costa<sup>2</sup>, Tereza C. M. Pastore<sup>3</sup>,  
Cláudio H. S. Del Menezzi<sup>2</sup>, Rafael R. de Melo<sup>1</sup> & Alencar Garlet<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Avenida Alexandre Ferronato, 1200, Distrito Industrial, CEP 78550-000, Sinop-MT, Brasil. E-mail: diego\_stangerlin@yahoo.com.br; rrmelo2@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70919-900, Brasília-DF, Brasil. Caixa Postal 04357. E-mail: lucate@unb.br; cmenezzi@unb.br

<sup>3</sup> Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais, Sain Av. L4 Norte Lote 04, Asa Norte, CEP 70818-900, Brasília-DF, Brasil. E-mail: tereza.pastore@gmail.com; alencar.garlet@florestal.gov.br

### RESUMO

Objetivou-se avaliar a viabilidade do emprego de ensaios de molhabilidade na caracterização da biodeterioração das madeiras de marupá, jequitibá e cumaru submetidas ao ataque dos fungos de podridão branca e parda. Para tanto, corpos de prova de cada espécie amazônica foram submetidos a ensaios de apodrecimento acelerado, de acordo com a ASTM D2017 (2005), durante 20 semanas. A caracterização da molhabilidade foi realizada por meio de medições do ângulo de contato interno, entre a superfície da madeira e a gota d'água. As medições foram realizadas semanalmente até a quarta semana e posteriormente a cada duas semanas, até a vigésima semana. Adicionalmente foram determinadas as perdas de massa dos corpos de prova. Quanto aos resultados, pode-se destacar a viabilidade da molhabilidade no monitoramento da biodeterioração da madeira bem como para diferenciação da podridão branca e parda, em especial nos estágios iniciais. Apesar do alto desvio padrão dos valores do ângulo de contato, os corpos de prova apodrecidos apresentaram tendência de redução do espalhamento da gota d'água, proporcionando menor molhabilidade.

**Palavras-chave:** ângulo de contato, biodeterioração da madeira, podridão branca, podridão parda, qualidade da madeira

### *Wettability of the wood of three Amazonian species submitted to accelerated decay tests*

### ABSTRACT

This work aimed to evaluate the viability of wettability in the characterization of biodeterioration of marupá, jequitibá and cumaru wood submitted to white and brown rot. For this purpose, specimens of each wood species were to submitted accelerated decay tests, according to ASTM D2017 (2005), during 20 weeks. The characterization of the wettability was performed by internal contact angle measurements between the wood surface and the drop of water. The measurements were performed weekly until the fourth week, and then every two weeks until the twentieth week. Additionally, it was determined the mass loss. The results indicated the viability of wettability in monitoring the biodeterioration of wood, as well as for differentiation of white and brown rot, especially in the early stages. Despite the high standard deviation of the contact angle values, the rotten specimens tended to reduce the spread of the water drop, providing lower wettability.

**Key words:** contact angle, biodeterioration of wood, white rot, brown rot, wood quality

## Introdução

Dentre as diferentes propriedades da madeira pode-se destacar a resistência natural à deterioração, a qual é definida como sendo a capacidade intrínseca à espécie de resistir à ação de agentes deterioradores (mecânicos, físicos, químicos e biológicos).

Dependendo do local e do modo de emprego, a madeira pode ser deteriorada por uma gama de agentes biológicos, dentre os quais estão incluídos os fungos, os insetos, as bactérias e os organismos marinhos. Devido à frequência de sua ação os principais agentes biológicos são os fungos apodrecedores (Zabel & Morrell, 1992).

Por ser um material de origem orgânica, dependendo das condições ambientais (umidade, temperatura, pH e disponibilidade de oxigênio), a madeira é naturalmente suscetível ao ataque de fungos apodrecedores, podendo apresentar maior ou menor deterioração por esses micro-organismos (Archer & Lebow, 2006). Dentro do mercado madeireiro produtos à base de madeira que, reconhecidamente, são classificadas como resistentes à biodeterioração, apresentam ampla aceitação e difusão de emprego e, em contrapartida, agregam maior valor (Stangerlin et al., 2011).

Entre os fungos responsáveis pelo apodrecimento dos materiais lignocelulósicos, destaca-se a classe dos Basidiomicetos, na qual se encontram os fungos responsáveis pela podridão parda e branca, que possuem características enzimáticas próprias quanto à deterioração dos constituintes químicos. Os primeiros deterioram os polissacarídeos (celulose e polioses) da parede celular enquanto os últimos atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina (Zabel & Morrell, 1992).

Apesar de alguns estudos (Alves et al., 2006; Carneiro et al., 2009; Jesus et al., 1998) abordarem a caracterização da resistência biológica de madeiras amazônicas, os resultados ainda são escassos em função da diversidade de espécies; além disto, se destaca que, de modo geral, os estudos de apodrecimento acelerado têm mantido o foco apenas nos estágios finais de deterioração; apesar de que o conhecimento do comportamento de deterioração nos estágios iniciais e intermediários é de suma importância para que haja um controle mais efetivo sobre os possíveis danos à madeira.

A resistência natural a determinado tipo de fungo é frequentemente caracterizada apenas por meio da perda de massa. No entanto, deve-se ressaltar que a perda de massa, por vezes, não apresenta a mesma proporção de alteração que as demais propriedades da madeira (físicas, químicas e mecânicas) sendo, deste modo, de pouca utilidade quando avaliada isoladamente (Zabel & Morrell, 1992; Eaton & Hale, 1993).

Neste sentido torna-se conveniente avaliar as alterações que as demais propriedades da madeira possam sofrer mediante a exposição ao ataque de fungos apodrecedores, bem como a interação entre essas propriedades de modo a propiciar melhor caracterização da sua resistência natural.

Dentre os ensaios que têm por finalidade a caracterização de alterações superficiais da madeira, pode-se destacar a molhabilidade. De acordo com Berg (1993) o fenômeno de molhabilidade pode ser definido como sendo as manifestações

macroscópicas de interações moleculares entre líquidos e sólidos em contato direto na interface.

De modo geral, a caracterização da molhabilidade em madeiras tem sido estudada para otimizar os processos que envolvem a aplicação de produtos/processos de acabamento e a colagem de superfícies (Rowell, 2005; Ayrilmis et al., 2009).

Quando consideradas as influências de fatores externos nas propriedades da molhabilidade, os trabalhos têm focado apenas nos processos de intemperismo natural ou artificial (Kalnins & Feist, 1993; Kishino & Nakano, 2004; Brisolari, 2008), nos tratamentos térmicos (Hakkou et al., 2005; Oliveira, 2009) e nos métodos de secagem e estocagem (Payne et al., 2001).

Apesar do amplo emprego dos ensaios de molhabilidade, não são encontrados estudos relativos à caracterização de superfícies deterioradas por fungos xilófagos; deste modo, objetivou-se avaliar a viabilidade do emprego de ensaios de molhabilidade na caracterização da biodeterioração das madeiras de marupá, jequitibá e cumaru, submetidas ao ataque dos fungos de podridão branca e parda.

## Material e Métodos

### Coleta do material e preparo dos corpos de prova

Para realização deste estudo utilizaram-se seis pranchas com dimensões nominais de 0,04 x 0,25 x 3 m (espessura x largura x comprimento), para cada uma das três espécies amazônicas, marupá (*Simarouba amara* Aubl.), jequitibá (*Cariniana micrantha* Ducke) e cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), sendo as mesmas obtidas de forma aleatória, em diferentes estabelecimentos madeireiros do Distrito Federal (DF).

As pranchas de cada espécie amazônica foram anatomicamente identificadas na Área de Anatomia e Morfologia da Madeira do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) - Serviço Florestal Brasileiro (SFB), em Brasília, DF; posteriormente, procedeu-se à confecção dos corpos de prova, da região do cerne, com dimensões nominais de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm, sendo a menor dimensão no sentido axial, para os ensaios de apodrecimento acelerado.

### Ensaio de apodrecimento acelerado

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de apodrecimento acelerado em laboratório com dois tipos de fungos apodrecedores, sendo um de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum* (Pers.; Fr.) Murrill) e outro de podridão branca (*Trametes versicolor* (L.; Fr.) Pilát). Assim, os tratamentos foram estabelecidos na combinação das três espécies amazônicas e dois tipos de fungos, totalizando seis tratamentos, sendo utilizados 72 corpos de prova por tratamento; adicionalmente, para cada espécie foram avaliados blocos de correção (avaliação da perda de massa operacional), sem ataque de fungos, com 72 corpos de prova.

Os ensaios de apodrecimento acelerado foram realizados na Área de Biodegradação e Preservação da Madeira do LPF/SFB ao se empregar metodologia adaptada da ASTM D2017 (American Society for Testing and Materials - ASTM, 2005).

Em frascos de vidro com tampa rosqueável e capacidade de 150 mL foram adicionados 70 g de solo de horizonte B

(peneirado em malha de 30 mm de abertura e com pH corrigido para 6,0) e 20 mL de água destilada; posteriormente foi inserida uma placa suporte do alburno de madeiras de *Cecropia* sp. ou de *Pinus* sp., para desenvolvimento dos fungos de podridão branca e parda, respectivamente, com dimensões de 2,9 x 3,5 x 3 cm, as quais foram dispostas sobre o solo; por fim, os frascos foram autoclavados em temperatura de 120 °C e pressão de 1 atm durante 1 h, visando à esterilização e conseqüente restrição de possíveis contaminações.

O meio de cultura foi preparado à base de extrato de malte líquido procedendo-se, posteriormente, a autoclavagem do mesmo, nas condições citadas, durante 20 min; os inóculos dos fungos, de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>, foram adicionados ao meio de cultura líquido; em seguida, o material permaneceu em câmara de incubação, com temperatura de 27 °C e umidade relativa de 70%, pelo período de 15 dias, para o completo desenvolvimento do fungo.

Após o período de incubação prévia o meio de cultura foi transferido para o copo de um liquidificador esterilizado, em condições assépticas e levemente batido, de modo a proporcionar a distribuição homogênea dos micélios dos fungos. A inoculação foi realizada de modo que em cada frasco fossem adicionados, sobre a placa suporte e o solo, aproximadamente 3 mL do meio de cultura; em sequência, os frascos permaneceram em câmara de incubação sob condições citadas até o completo recobrimento do micélio sobre a placa suporte, aproximadamente 30 dias.

Por fim, adicionou-se um corpo de prova em cada frasco que, antes disso, tiveram sua massa obtida ao permanecer em estufa de circulação forçada de ar a 50 °C, até atingirem massa constante e esterilizados em autoclave a 120 °C por 40 min; os corpos de prova permaneceram em contato com os fungos durante 20 semanas na câmara de incubação.

### Perda de massa e molhabilidade

Semanalmente até a quarta semana e posteriormente a cada duas semanas até a vigésima semana, foram amostrados seis corpos de prova de cada espécie amazônica, submetidos a cada tipo de fungo apodrecedor, totalizando 12 corpos de prova além de seis corpos de prova do bloco de correção. Os corpos de prova foram submetidos à limpeza para remoção do micélio aderido e dispostos em estufa de circulação forçada de ar, sob condições citadas, até obtenção de massa constante.

Em cada semana de amostragem foram determinadas as perdas de massa de cada espécie amazônica, conforme critérios estabelecidos pela ASTM D2017 (2005); subsequentemente, procedeu-se à caracterização da propriedade física de molhabilidade das madeiras deterioradas; para tanto, empregou-se goniômetro Krüss modelo DSA30, equipado com sistema de vídeo e software para análise de imagem.

Por meio do goniômetro realizou-se a medição do ângulo de contato interno em que uma gota de água desionizada, com volume de 10 µL, foi depositada na superfície da madeira sendo tomada uma medida inicial (1 s) e outra final (5 s), de maneira a se obter a variação do ângulo de contato ( $\Delta\theta$ ); o procedimento de determinação da  $\Delta\theta$  foi realizado em dois pontos distintos na seção transversal (2,5 x 2,5 cm) de cada corpo de prova, totalizando, portanto, 12 medições.

### Análise dos resultados

Para análise dos resultados empregou-se a análise de variância com posterior comparação de médias pelo teste de Diferença Mínima Significante ou LSD (Least Significance Difference) de Fischer ( $p > 0,05$ ); adicionalmente, definiram-se modelos estatísticos para predição da perda de massa em função da molhabilidade das madeiras deterioradas pelos fungos apodrecedores.

## Resultados e Discussão

De acordo com o teste de médias (Tabela 1) a  $\Delta\theta$  apresentou diferença significativa durante o período de ensaio de apodrecimento dentro de cada espécie amazônica; de modo geral, os valores da  $\Delta\theta$  apresentaram estabilização antes do período de 12 semanas de ataque dos fungos apodrecedores, período este recomendado pela ASTM D2017 (2005) para realização de ensaios de apodrecimento acelerado, com exceção das amostras de marupá submetidas ao ataque do fungo de podridão branca, na qual não foi constatada tendência clara.

Para a madeira de jequitibá verificou-se que a partir da 3ª e da 4ª semana de ensaio de apodrecimento, as médias da  $\Delta\theta$  foram constantes quando da exposição dos fungos de podridão parda e branca, respectivamente. Com relação à madeira de cumaru constatou-se tendência contrária na qual a estabilização da  $\Delta\theta$  ocorreu primeiro nas amostras submetidas ao ataque de podridão branca (4ª semana) em comparação com a podridão parda (8ª semana); por fim, para as amostras de marupá expostas ao fungo de podridão parda verificou-se estabilização das médias de  $\Delta\theta$  a partir da 4ª semana.

Destaca-se o fato de que, na semana inicial (semana 0) que antecedeu os ensaios de apodrecimento, não foi possível estabelecer medida do ângulo de contato da gota d'água para a madeira de marupá. Tal resultado pode ser elucidado em razão da elevada porosidade da madeira de marupá (Stangerlin, 2012) de maneira a provocar o espalhamento total da gota d'água,  $\theta = 0^\circ$ , corroborando com resultados verificados por Cruz (2006).

Quando avaliados os fungos apodrecedores, pode-se constatar que o emprego do goniômetro na medição da  $\Delta\theta$ , foi eficiente em proporcionar a distinção entre os ataques dos fungos de podridão branca e parda; comumente, as madeiras de marupá e jequitibá submetidas ao fungo de podridão parda apresentaram  $\Delta\theta$ , significativamente inferior em relação à deterioração proporcionada pelo fungo de podridão branca, durante todo o período de ensaio de apodrecimento; por sua vez, as amostras de cumaru apresentaram distinção das médias de  $\Delta\theta$  somente a partir da 12ª semana em que os menores valores foram registrados para o ataque da podridão parda; neste sentido pode-se afirmar que o fungo de podridão parda proporcionou menor espalhamento da gota d'água quando em contato com a superfície da madeira.

Ao considerar as espécies amazônicas, observou-se que as diferenças estatísticas foram registradas, basicamente, a partir das 10ª e 14ª semanas, em que as madeiras de jequitibá e cumaru apresentaram menores médias de  $\Delta\theta$  quando comparadas ao marupá, respectivamente (Tabela 2); este resultado pode ser explicado com base nas características químicas das três espécies; de acordo com Stangerlin (2012) constata-se maior

**Tabela 1.** Variação do ângulo de contato da gota d'água nas madeiras de marupá, jequitibá e cumaru submetidas ao ataque dos fungos apodrecedores

Período (semanas)	Marupá		Jequitibá		Cumaru	
	$\Delta\theta$ -PB (°)	$\Delta\theta$ -PP (°)	$\Delta\theta$ -PB (°)	$\Delta\theta$ -PP (°)	$\Delta\theta$ -PB (°)	$\Delta\theta$ -PP (°)
0	---	---	26,78 a*	26,78 a	6,12 a	6,12 a
1	22,00 a A (3,89)	2,00 a B (0,89)	26,48 a A (10,67)	4,30 b B (2,57)	5,38 ab A (1,39)	4,92 abc A (1,71)
2	18,43 ab A (4,14)	1,42 b B (0,44)	16,20 b A (5,06)	3,62 bc B (2,49)	4,25 abcd A (1,49)	3,98 bc A (1,86)
3	12,45 bcde A (4,29)	1,63 ab B (1,02)	12,65 bc A (6,57)	2,12 cd B (1,88)	4,68 abc A (2,03)	3,95 bc A (1,06)
4	9,55 cde A (5,02)	0,60 c B (0,36)	7,57 cd A (2,29)	1,38 d B (1,03)	2,15 ef B (1,21)	5,33 ab A (3,57)
6	7,77 de A (5,53)	0,30 c B (0,22)	6,98 cd A (2,29)	1,50 cd B (0,96)	2,65 def A (1,65)	3,30 cd A (1,40)
8	7,07 de A (3,46)	0,32 c B (0,23)	17,58 b A (16,09)	0,52 d B (0,23)	3,60 bcde A (2,57)	1,82 de A (1,38)
10	7,57 de A (2,58)	0,65 c B (0,50)	3,02 d A (2,40)	0,53 d B (0,21)	2,93 cdef A (1,44)	1,83 de A (1,28)
12	8,77 cde A (3,59)	0,42 c B (0,24)	0,32 d A (0,18)	0,33 d A (0,25)	3,63 bcde A (2,31)	0,78 e B (0,58)
14	13,67 bcd A (4,08)	0,63 c B (0,37)	4,83 d A (4,04)	0,27 d B (0,10)	2,28 def A (1,23)	0,85 e B (0,59)
16	5,17 e A (4,04)	0,47 c B (0,38)	3,80 d A (2,75)	0,30 d B (0,24)	2,22 ef A (1,51)	0,53 e B (0,24)
18	15,10 abc A (11,09)	0,45 c B (0,22)	2,48 d A (2,01)	0,30 d B (0,15)	2,78 cdef A (1,80)	0,72 e B (0,16)
20	15,60 abc A (12,08)	0,48 c B (0,30)	1,50 d A (1,19)	0,22 d B (0,08)	1,58 f A (1,06)	0,52 e B (0,16)

Em que:  $\Delta\theta$ -PB= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo de podridão branca;  $\Delta\theta$ -PP= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo de podridão parda. \* Dentro de cada espécie médias não seguidas na horizontal por uma mesma letra maiúscula ou na vertical por uma mesma letra minúscula, diferem estatisticamente a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão.

presença de extrativos nas madeiras de cumaru (9,2%) e jequitibá (7,8%) em comparação à marupá (2,5%). Segundo Wälinder (2000) e Byrne (2008) a presença de extrativos na composição química da madeira proporciona aumento das características hidrofóbicas, de modo a repelir o contato das moléculas de água com a madeira.

**Tabela 2.** Comparação das médias de variação do ângulo de contato da gota d'água entre as madeiras de marupá, jequitibá e cumaru

Período (semanas)	$\Delta\theta$ (°)	$\Delta\theta$ (°)	$\Delta\theta$ (°)
	Marupá	Jequitibá	Cumaru
0	---	26,78 a	6,12 b
1	12,00 ab	15,39 a	5,15 b
2	9,92 a	9,91 a	4,12 a
3	7,04 a	7,38 a	4,32 a
4	5,07 a	4,47 a	3,74 a
6	4,03 a	4,24 a	2,97 a
8	3,69 a	9,05 a	2,71 a
10	4,11 a	1,77 b	2,38 ab
12	4,59 a	0,32 b	2,21 ab
14	7,15 a	2,55 b	1,57 b
16	2,82 a	2,05 a	1,37 a
18	7,77 a	1,39 b	1,75 b
20	8,04 a	0,86 b	1,05 b

Em que:  $\Delta\theta$ = Variação do ângulo de contato da gota d'água. \* Médias não seguidas por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade

Adicionalmente, foi possível estabelecer uma relação entre a  $\Delta\theta$  na semana inicial (sem ataque dos fungos apodrecedores) e o potencial de resistência natural intrínseco de cada espécie amazônica; sendo assim, verificou-se que a madeira de cumaru, de menor perda de massa (Tabela 3) apresentou a menor  $\Delta\theta$ , ou seja, menor molhabilidade quando em comparação com as jequitibá e marupá, ressaltando que nesta última, em razão da elevada porosidade, não foi possível a medição da  $\Delta\theta$ .

Neste sentido, pode-se afirmar que madeiras com maior molhabilidade tendem a apresentar menor resistência biológica ao ataque de fungos de podridão branca e parda; em se tratando da madeira em condições de uso prático, pode-se validar tal consideração, conforme Oliveira et al. (1986) pois madeiras, ao apresentar uma facilidade de absorção de água do ambiente proporcionam condições propícias ao desenvolvimento de micro-organismos, tanto do ponto de vista da colonização como do posterior transporte das enzimas fúngicas.

As correlações lineares e o subsequente estabelecimento de modelos estatísticos de predição da perda de massa de cada espécie amazônica em função da  $\Delta\theta$  proporcionada pela exposição aos fungos de podridão branca e parda, são apresentados na Tabela 4.

Hakkou et al. (2005) mencionaram, ao investigar as relações entre as propriedades da madeira de faia (*Fagus sylvatica* L.) tratada termicamente e a resistência natural à podridão branca, que não há uma relação clara entre a medida do ângulo de contato da gota d'água e a perda de massa causada pelo micro-organismo; o resultado foi semelhante ao verificado no presente estudo para as madeiras de marupá e jequitibá submetidas à deterioração pelos fungos de podridão branca e parda, respectivamente.

Por outro lado constatou-se, para as madeiras de jequitibá e cumaru atacadas pelo fungo de podridão branca, comportamento contrário em que as variáveis de perda de massa e  $\Delta\theta$  foram correlacionadas negativamente entre si, de modo significativo, ou seja, com o progresso da perda de massa ocorreu redução do espalhamento da gota d'água; da mesma forma se observou correlação negativa da perda de massa com a  $\Delta\theta$  para as madeiras de marupá e cumaru submetidas à podridão parda.

**Tabela 3.** Perda de massa das madeiras de marupá, jequitibá e cumaru submetidas ao ataque dos fungos apodrecedores

Período (semanas)	Marupá		Jequitibá		Cumaru	
	PM-PB	PM-PP	PM-PB	PM-PP	PM-PB	PM-PP
0	0 a* (0)	0 a (0)	0 a (0)	0 a (0)	0 a (0)	0 a (0)
1	1,63 a A (0,39)	3,08 b B (0,53)	0 a A (0)	0,20 a B (0,09)	0 a A (0)	0,36 ab B (0,23)
2	7,62 b A (0,96)	19,20 c B (1,09)	3,55 a B (0,83)	2,00 a A (1,10)	0 a A (0)	0,37 ab B (0,21)
3	13,34 c A (2,11)	25,73 d B (2,59)	9,64 b B (0,92)	6,50 b A (1,59)	0 a A (0)	0 a A (0)
4	16,89 d A (2,34)	29,57 e B (3,80)	13,49 b B (1,69)	10,99 c A (0,99)	1,08 d A (0,35)	1,20 bc A (0,29)
6	24,83 e A (3,76)	35,36 f B (2,28)	21,52 c B (3,10)	17,55 d A (1,28)	0,98 cd A (0,43)	1,14 bc A (0,26)
8	35,86 f A (3,81)	44,30 g B (5,57)	28,37 d B (3,23)	21,89 e A (2,92)	0,53 b A (0,48)	1,73 c B (0,84)
10	43,04 g A (5,30)	47,09 h B (3,65)	34,51 e B (3,52)	29,37 f A (2,28)	0,77 bc A (0,37)	1,63 c B (0,55)
12	51,16 h A (5,02)	54,27 i A (3,06)	42,48 f B (2,97)	34,30 g A (3,44)	1,24 de A (0,41)	2,67 d B (1,34)
14	56,17 i A (2,43)	54,57 i A (4,01)	49,24 g B (4,05)	35,97 g A (4,46)	1,39 e A (0,51)	4,34 ef B (0,90)
16	56,63 i A (6,28)	57,91 j A (4,43)	47,40 g A (4,76)	43,88 h A (4,87)	0,61 b A (0,28)	4,19 ef B (1,34)
18	62,05 j A (7,49)	60,28 j A (4,62)	48,75 g A (12,70)	47,57 i A (6,36)	0,95 bcd A (0,63)	3,82 e B (1,69)
20	69,41 k B (6,37)	64,67 k A (3,50)	48,75 g A (11,19)	49,05 i A (6,38)	1,10 de A (0,56)	5,11 fg B (2,34)

Em que: PM-PB= Perda de massa proporcionada pelo fungo de podridão branca; PM-PP= Perda de massa proporcionada pelo fungo de podridão parda. \* Dentro de cada espécie médias não seguidas na horizontal por uma mesma letra maiúscula ou na vertical por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão

**Tabela 4.** Correlação e modelos de predição entre a variação do ângulo de contato da gota d'água e a perda de massa das madeiras de marupá, jequitibá e cumaru submetidas ao ataque dos fungos apodrecedores

PM (%)	Marupá		Jequitibá		Cumaru	
	$\Delta\theta$ -PB (°)	$\Delta\theta$ -PP (°)	$\Delta\theta$ -PB (°)	$\Delta\theta$ -PP (°)	$\Delta\theta$ -PB (°)	$\Delta\theta$ -PP (°)
	- 0,33 (0,30 <sup>NS</sup> )	- 0,80 ( $< 0,01^{**}$ )	- 0,85 ( $< 0,01^{**}$ )	- 0,52 (0,07 <sup>NS</sup> )	- 0,82 ( $< 0,01^{**}$ )	- 0,87 ( $< 0,01^{**}$ )
<b>Madeira x Fungo</b>	<b>Equação de regressão</b>		<b>R<sup>2</sup>aj.</b>	<b>Syx</b>	<b>Fcalc.</b>	
Marupá x Podridão parda	$\sqrt{PM} = 8,3104 - 2,7166*(\Delta\theta)$		0,70	0,99	26,52 <sup>**</sup>	
Jequitibá x Podridão branca	$\sqrt{PM} = 7,0981 - 0,2564*(\Delta\theta)$		0,80	1,16	49,63 <sup>**</sup>	
Cumaru x Podridão branca	$PM = 1,7219 - 0,3100*(\Delta\theta)$		0,64	0,31	22,58 <sup>**</sup>	
Cumaru x Podridão parda	$PM = 0,5007 + 2,5595*(1/\Delta\theta)$		0,89	0,61	94,11 <sup>**</sup>	

Em que: PM= Perda de massa;  $\Delta\theta$ -PB= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo de podridão branca;  $\Delta\theta$ -GT = Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo de podridão parda; R<sup>2</sup>aj. = coeficiente de determinação ajustado; Syx= erro padrão da estimativa; Fcalc. = valor de F calculado; \*\* = significativo a 1% de probabilidade; NS = não significativo

Em um primeiro momento poder-se-ia esperar que, com o progresso da biodeterioração das madeiras de maneira a proporcionar redução da massa específica e consequente aumento da porosidade (Zabel & Morrell, 1992; Eaton & Hale, 1993), houvesse um espalhamento maior da gota d'água na superfície da madeira, ou seja, um acréscimo da molhabilidade; verificou-se, porém, que a molhabilidade das madeiras biodeterioradas se comportou de forma contrária, isto é, ocorreu diminuição da  $\Delta\theta$ .

Ziglio (2010) também verificou, ao avaliar as madeiras de pinus (*Pinus* sp.) e jatobá (*Hymenae* sp.) com e sem ataque de fungo de podridão mole (*Paecilomyces variotti*) redução da molhabilidade com a perda de resistência biológica de modo a corroborar com os resultados apresentados no presente estudo. Segundo o autor, a justificativa de tal resultado não foi propriamente reflexo da biodeterioração da madeira mas sim relativo ao processo de condicionamento forçado para obtenção da massa final resultante do ataque xilófago, a temperatura de 121 °C. De fato, as deteriorações físicas provocadas, por exemplo, por uma secagem excessiva, podem conduzir a uma diminuição da molhabilidade (Martins, 2008)

devido à deterioração das polioses e migração dos extrativos para a parte superficial da madeira (Byrne, 2008).

Em razão de no presente estudo ter sido adotado um condicionamento suave, temperatura de 50°C, de maneira a minimizar a influência de uma provável deterioração física, a redução da molhabilidade só pode ser justificável com base nas características químicas das superfícies das madeiras expostas aos fungos apodrecedores; sendo assim e devido à deterioração dos polissacarídeos, especialmente as polioses e as zonas amorfas da celulose, os quais se caracterizam por apresentarem, em sua estrutura química, grupamentos hidroxílicos livres para se atraírem às moléculas de água (Rowell, 2005), pode-se explicar o menor espalhamento da gota d'água quando em contato com a superfície da madeira deteriorada pelos fungos apodrecedores.

Com relação ao ataque do fungo de podridão parda, a redução da molhabilidade era esperada em razão de que o mesmo ataca, preferencialmente, os polissacarídeos, enquanto a lignina se mantém intacta (Zabel & Morrell, 1992). De acordo com Wälinder (2000) e Byrne (2008) além dos extrativos a lignina também apresenta característica de repelir o contato das moléculas de água razão pela qual é considerada hidrofóbica.

Por sua vez, quando considerada a deterioração proporcionada pelo fungo de podridão branca, o resultado deve ser analisado com mais cautela visto que o mesmo se caracteriza por proporcionar ataque não seletivo quanto aos constituintes químicos da madeira (Zabel & Morrell, 1992); entretanto, a presença de lignina residual na superfície das madeiras deterioradas pelo fungo de podridão branca é, possivelmente, a principal explicação para a menor molhabilidade.

Adicionalmente, ressalta-se que em razão da molhabilidade ser uma técnica de resposta superficial e associada ao acréscimo da heterogeneidade física (presença de fissuras e de rugosidade) nas madeiras deterioradas pelos fungos apodrecedores, os valores obtidos de  $\Delta\theta$  apresentaram elevado desvio padrão dificultando, desta forma, a obtenção de ajustes mais precisos de predição da perda de massa. De acordo com Brisolari (2008) e Oliveira (2009) em razão da rugosidade da madeira determinado ponto de deposição da gota do líquido pode favorecer a formação de um ângulo de contato maior ou menor.

## Conclusões

Com base nos resultados expostos, conclui-se que: a) a caracterização da molhabilidade da madeira mostrou-se viável para o monitoramento da deterioração por fungos apodrecedores, bem como para diferenciação dos ataques proporcionados pela podridão branca e parda, em especial nos estágios iniciais; b) apesar do alto desvio padrão do ângulo de contato, os corpos de prova apodrecidos apresentaram tendência de redução do espalhamento da gota d'água proporcionando menor molhabilidade com o acréscimo da perda de massa.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Madeiras da Amazônia (INCT) pelo recurso utilizado na aquisição do goniômetro.

## Literatura Citada

- Alves, M. V. S.; Costa, A. F.; Espig, D. S.; Vale, A. T. Resistência natural de seis espécies de madeiras da região amazônica a fungos apodrecedores, em ensaio de laboratório. *Ciência Florestal*, v.16, n.1, p.17-26, 2006. <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1884/1130>>. 04 Mar. 2012.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM D2017: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. West Conshohocken: ASTM International, 2005. 5p.
- Archer, K.; Lebow, S. Wood preservation. In: Walker, J.C.F. (Ed.). *Primary wood processing: principles and practice*. Dordrecht: Springer, 2006. p.297-338.
- Ayrilmis, N.; Dundar, T.; Candan, Z.; Akbulut, T. Wettability of fire retardant treated laminated veneer lumber (LVL) manufactured from veneers dried at different temperatures. *Bioresources*, v.4, n.4, p.1536-1544, 2009. <[http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes\\_04/BioRes\\_04\\_4\\_1535\\_Ayrilmis\\_DCA\\_Wettability\\_Fire\\_Retard\\_Treat\\_Veneer\\_Dried\\_Temp\\_664.pdf](http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_04/BioRes_04_4_1535_Ayrilmis_DCA_Wettability_Fire_Retard_Treat_Veneer_Dried_Temp_664.pdf)> 20 Mar. 2012.
- Berg, J. C. Role of acid-base interactions in wetting and related phenomena. In: Berg, J. C. (Org.). *Wettability*. New York: Marcel Dekker, 1993. p.75-148.
- Brisolari, A. Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2008. 98p. Dissertação Mestrado. <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-17062009-145256/pt-br.php>>. 15 Out. 2012.
- Byrne, L. E. Aspects on wettability and surface composition of modified wood. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2008. 53p. Tese Doutorado. <<http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:13693>>. 15 Out. 2012.
- 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, n.6, p.767-772, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1515/HF.2009.119>>. 15 Mar. 2012.
- Cruz, M. M. S. Estudo da molhabilidade da madeira de pinho pela resina uréia-formaldeído. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2006. 200p. Dissertação Mestrado. <<https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/1082>>. 15 Out. 2012.
- Eaton, R. A.; Hale, M. D. C. Wood: decay, pests and protection. London: Chapman & Hall, 546p. 1993.
- Hakkou, M.; Pétrissans, M.; Zoulalian, A.; Gérardin, P. Investigation of the reasons for the increase of wood durability after heat treatment based on changes of wettability and chemical composition. In: *European Conference on Wood Modification, 2., 2005, Göttingen. Proceedings...* Göttingen: ECWM, 2005. p.36-46.
- Jesus, M. A.; Moraes, J. W.; Cardias, M. F. C.; Abreu, R. L. S. Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônicas em contato com o solo em ambiente florestal. *Scientia Forestalis*, n.54, p.81-92, 1998. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr54/cap07.pdf>>. 29 Mar. 2012.
- Kalnins, M. A.; Feist, W. C. Increase in wettability of wood with weathering. *Forest Products Journal*, v.43, n.2, p.55-57, 1993. <<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1993/kalni93a.pdf>>. 19 Fev. 2012.
- Kishino, M.; Nakano, T. Artificial weathering of tropical woods. Part 1: Changes in wettability. *Holzforschung*, v.58, n.6, p.552-557, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1515/HF.2004.125>>. 22 Fev. 2012.
- Martins, D. A. L. Caracterização de madeiras exóticas para acabamento com vernizes aquosos. Porto: Universidade do Porto, 2008. 87p. Dissertação Mestrado. <<http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/59944?mode=full>>. 15 Out. 2012.
- Oliveira, A. M. F.; Lelis, A. T.; Lepage, E. S.; Lopez, G. A. C.; Oliveira, L. C. S.; Cañedo, M. D.; Milano, S. Agentes destruidores da madeira. In: Lepage, E. S. (Org.). *Manual de preservação de madeiras*. São Paulo: IPT, 1986. v.1, p.99-278.

- Oliveira, R. M. Utilização de técnicas de caracterização de superfícies em madeiras tratadas termicamente. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2009. 123p. Tese Doutorado. <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-17072009-101159/pt-br.php>>. 15 Out. 2012.
- Payne, C. J.; Woodward, S.; Petty, J. A. Wettability of stika spruce timber stored in scottish sawmill yard. *Wood Science and Technology*, v.35, n.1-2, p.107-115, 2001. <<http://dx.doi.org/10.1007/s002260000079>>. 10 Fev. 2012.
- Rowell, R. M. *Wood chemistry and wood composites*. Boca Raton: CRC Press, 2005. 473p.
- Stangerlin, D. M. Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 259p. Tese Doutorado. <<http://repositorio.bce.unb.br/handle/10482/11252>>. 15 Out. 2012.
- Stangerlin, D. M.; Melo, R. R.; Garlet, A.; Gatto, D. A. Durabilidade natural de painéis aglomerados confeccionados com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. *Ciência Rural*, v.41, n.8, p.1369-1374, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011000800012>>. 15 Out. 2012.
- Wälinder, M. *Wetting phenomena on wood: factors influencing measurements of wood wettability*. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2000. 70p. Tese Doutorado.
- Zabel, R. A.; Morrell, J. J. *Wood microbiology: decay and its prevention*. San Diego: Academic Press, 1992. 476p.
- Ziglio, A. C. Uso da capsaicina como preservante de madeiras ao ataque de fungo apodrecedor. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2010. 83p. Dissertação Mestrado. <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-16082010-143912/en.php>>. 15 Out. 2012.