



EFEITO DE TRATAMENTOS TERMOMECÂNICOS SOBRE A RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA MADEIRA PERANTE O ATAQUE DE FUNGOS

R. M. Leão^{1,2,4*}, A. S. Moura³, S. M. Luz⁴ C. H. S H. Del Menezzi⁵

^{1*}Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Paulista, Brasília, Brasil

²Faculdades Integradas da União Educacional do Planalto Central, Brasília, Brasil

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, Brasil.

⁴Faculdade do Gama - Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil

⁵Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

Resumo: O tratamento termomecânico consiste em um processo que combina tratamento térmico com compressão mecânica sobre a madeira, com a finalidade de se produzir um material com menor higroscopicidade. O objetivo neste trabalho é caracterizar e avaliar a resistência biológica da madeira perante ao ataque de fungos causadores de podridão parda e de podridão branca. As amostras de madeira submetidas a tratamento termomecânico foram feitas em uma prensa hidráulica a temperaturas de 140°C e 180°C. Foi avaliada a resistência biológica desses painéis sobre o ataque de fungos causadores de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) e de podridão branca (*Trametes versicolor*). Depois, as amostras foram caracterizadas por análises de FTIR (espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier), MEV (microscopia eletrônica de varredura) e TGA (análise termogravimétrica). A análise de FTIR identificou claramente nos espectros, uma redução do pico em 1700 cm⁻¹ com o tratamento termomecânico e atacados pelos fungos, ocorrendo à diminuição da lignina. A caracterização por MEV mostrou mudança na morfologia das amostras. As curvas termogravimétricas (TG) mostraram boa estabilidade térmica para as amostras com tratamento termomecânico. Mostrou também uma diminuição do teor de umidade de equilíbrio, mostrando que o tratamento foi eficiente em reduzir a higroscopicidade da madeira, podendo assim melhorar as propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Tratamento termomecânico, madeira, resistência biológica.

Abstract: The thermomechanical treatment is a process that allows wood densification, improving mechanical properties and reducing hygroscopicity. The objective of this study was to characterize and evaluate the biological resistance of wood about the attack

of fungus that causes brown rot fungi and white rot fungi. The samples were subjected the thermomechanical treatment was done in a hydraulic press at 140 to 180°C. It was evaluated the biological resistance this wood about the attack of fungus that cause brown-rot fungi (*Gloeophyllum trabeum*) and white-rot fungi (*Trametes versicolor*). The samples were characterized by analysis of FTIR (Fourier transformer infrared spectroscopy), SEM (scanning electron microscopy) and TGA. The FTIR spectra analysis clearly identified a reduction of the band at 1700cm⁻¹ with the thermomechanical treatment and attacked by fungus, occurring decrease of the lignin. However, the SEM characterization showed changed the morphology of samples. The thermogravimetric (TG) curves showed good thermal stability for the samples with thermomechanical treatment. It also showed a reduction the equilibrium moisture, revealed that the thermal treatments being adopted were effective in reducing hygroscopicity of wood and improving their thermal properties.

Keywords: Thermomechanical treatment, wood, biological resistance.

1.INTRODUÇÃO

Em busca de uma nova alternativa, visando materiais que ofereçam vantagens ao meio ambiente, é crescente a pesquisa na utilização das florestas, que se bem aplicada, pode ser renovável indefinidamente. Desse modo, a preocupação com o uso de recursos naturais renováveis tem sido constante e o uso múltiplo das florestas está se tornando cada vez mais importante. O Brasil se destaca pela sua imensa área florestal, localizada principalmente na região norte do país. A madeira é um material natural, e, como tal, tem grande variabilidade nas suas propriedades. Existem variações entre as espécies, entre árvores e dentro da própria árvore, citando as folhas, as cascas e regiões de caules, galhos e troncos. Esta heterogeneidade pode causar dificuldades para qualquer estudo do material, o que torna difícil uma comparação efetiva dos resultados. A madeira está sujeita ao ataque de microorganismos que deterioram a madeira, consumindo principalmente a celulose e hemicelulose, e assim, alterando a resistência físico-mecânica^{1,2}. A madeira é constituída por três frações principais que juntas, perfazem mais de 90% do total de massa lignocelulósica. As macromoléculas representam a quase totalidade dos tecidos vegetais e compreendem em: 40% celulose, 30% hemicelulose e 20% lignina³. O percentual restante 10% é constituído por pequenas porcentagens de extrativos, proteínas, amido, materiais inorgânicos, pectinas, carboidratos simples, terpenos, alcalóides, saponinas, polifenólicos, gomas, resinas, gorduras e graxas, entre outros^{4,5,6}. As fibras lignocelulósicas podem ter propriedades diferentes, dependendo do

teor da celulose, hemicelulose e lignina e do grau de cristalinidade. A celulose é um polímero natural, constituído por unidades de D-glicose^{4,5}. É formada por longas cadeias lineares, com elevado grau de polimerização, e está presente em todas as fibras naturais⁷. A hemicelulose é constituída por diversos monossacarídeos polimerizados, como pentoses (xilose e arabinose), hexoses (galactose, glucose e manose) e ácidos urônicos (ácidos 4-O-metil glucurônico e resíduos de ácido galactorônico)³. A hemicelulose é responsável por propriedades como ausência de cristalinidade, baixa massa molecular e higroscopicidade. A lignina é um polímero complexo de estrutura amorfa, com elementos aromáticos e alifáticos, que se integram a celulose e hemicelulose durante a constituição da parede celular dos vegetais e tem como objetivo atribuir rigidez à estrutura da planta, que influencia diretamente nas propriedades mecânicas⁷. A lignina está presente nos materiais lignocelulósicos, atuando como material adesivo, como agente de enriquecimento e ainda como barreira dificultando a degradação enzimática e/ou microbiana da parede celular. A lignina funciona como elemento de suporte, conferindo resistência ao impacto, à compressão e à dobra⁴.

Tradicionalmente, o tratamento térmico consiste em aquecer a madeira sob altas temperaturas (95°C a 320°C), oferecendo um material com menor higroscopicidade e consequentemente mais estável por ter menor inchamento. Contudo, a estabilização da madeira relativa à redução de sua higroscopicidade é sempre acompanhada pela perda de massa e de uma diminuição da resistência mecânica. Assim, para minimizar esse efeito negativo da temperatura, podem ser aplicadas técnicas de densificação como a compressão mecânica concomitante com calor, que é conhecido como tratamento termomecânico. O tratamento termomecânico consiste em um processo que combina tratamento térmico com compressão mecânica sobre a madeira, com a finalidade de se produzir um material com menor higroscopicidade, sem que isso interfira em sua resistência mecânica^{2,9}.

Os principais causadores de danos em materiais lignocelulósicos são os fungos pertencentes à classe dos basidiomicetos. Assim, os organismos presentes na natureza que são eficientes na biodegradação de materiais lignocelulósicos são os fungos. Dentre os fungos com capacidade de degradar materiais lignocelulósicos, os mais efetivos são os fungos de decomposição branca (“white-rot fungi”), que degradam os materiais

lignocelulósicos. E os fungos de decomposição parda (“brown rot fungi”), que degradam principalmente os polissacarídeos. Existem também os fungos de decomposição branda (“soft-rot fungi”), que degradam todos os componentes, porém, em velocidades muito reduzidas. Dessa forma, a biodegradação destes materiais por esses organismos vem sendo atribuída a um conjunto de complexos enzimáticos e à participação de compostos de baixa massa molar, todos extracelulares⁸. Quando a essas macromoléculas está sob ataque de fungos, estes proporcionam alterações na composição química, redução da resistência mecânica, diminuição de massa, mudança de cor e aumento da permeabilidade comprometendo a sua qualidade¹.

O principal objetivo deste trabalho foi de avaliar a resistência biológica da madeira sob o ataque de fungos causadores de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) e de podridão branca (*Trametes versicolor*), como também avaliar a influência do tratamento termomecânico.

2.PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MADEIRA COM TRATAMENTO TERMOMECÂNICO E TRATAMENTO TERMOMECÂNICO E ATACADOS PELO FUNGO

As lâminas de amescla (*Trattinnickia burseraefolia*) foram doadas pela empresa Madeiranit Madeiras Ltda., localizada no município de Sinop – MT. As lâminas foram obtidas por desenrolamento em torno laminador e secas. As lâminas foram esquadrejadas nas dimensões de 250 mm x 250 mm e em seguida foram levadas para climatização (20 °C ± 3 °C e 65% ± 1% de umidade relativa) onde foram mantidas até atingirem massa constante. De cada lâmina foi retirada uma amostra no tamanho de 40 mm x 40 mm. A distribuição ocorreu da seguinte forma: lâmina testemunha: T0; T1; T2; T3 e T4; fungo pardo: T0GT; T1GT; T2GT; T3GT e T4GT; fungo branco: T0TV; T1TV; T2TV; T3TV e T4TV.

O tratamento foi feito em uma prensa hidráulica a temperaturas de 140°C e 180°C, tempos de um e dois minutos e pressão constante de 2,7 N/mm². Após

climatização, foram produzidos compensados com cinco lâminas, com resina fenólica a temperatura de 150°C, tempo de 7 minutos e pressão de 1 N/mm². A determinação da resistência biológica dos painéis compensados foi realizada a partir do ensaio acelerado de ataque de fungos. Esses processos foram definidos por Vaz e Arruda^{2,9}, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Madeira com tratamento termomecânico

Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Pressão (N/mm ²)
T0	Amostra de madeira sem tratamento		
T1	140	1,0	2,7
T3	180	1,0	2,7
T4	180	2,0	2,7

Todas as imagens foram obtidas em um Estereomicroscópio manual Leica modelo S8APO, com 75 cm de distância de trabalho apocromático de até 80x.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA POR ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER

Antes das análises, as amostras foram secas em um dessecador sob vácuo durante 4 dias. As amostras foram analisadas na região do infravermelho entre 4000 - 400 cm⁻¹ com intervalos de 4 cm⁻¹ e 64 scans. O equipamento empregado para esta análise foi um Espectrofotômetro Nicolet 6700 da Thermo Scientific equipado com Detector de DTGS (sulfato de triglicínio deuterado) com acessório de Refletância Difusa (DRIFT).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Foram analisadas as amostras, todas presas em um suporte, com auxílio de fita de carbono e submetidas ao recobrimento metálico com ouro com espessura de 8 mm

sob atmosfera de argônio, usando o equipamento de recobrimento metálico da marca Balzers modelo SCD 050 Sputter Coater. Logo depois, as amostras foram analisadas utilizando um microscópio da marca JEOL modelo JSM – 7001F. Foi utilizado um detector de elétrons secundários e o equipamento operou com uma potência de 15 a 20 kW.

2.4 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

As análises foram feitas em um cadinho de platina com cerca de 10 a 20 mg de amostra em uma faixa de temperatura de 30 a 500°C sob atmosfera de N₂ (fluxo de 100 mL.min⁻¹) e razão de aquecimento de 10°C min⁻¹. As amostras foram analisadas em um analisador TA Instruments, modelo SDT Q600 TGA-DSC.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA

Quando a madeira é tratada termicamente se tornam mais resistente ao ataque biológico. O tratamento térmico elimina parte das hemiceluloses que fazem parte da nutrição dos fungos, conseqüentemente, menor higroscopicidade, ocorrendo também à redução da região amorfa da celulose aumentando o seu grau de cristalização, dificultando deste modo, a adsorção de moléculas de água, deixando o material mais estável por ter menor inchamento e contração⁹. Na Figura 1 são apresentadas as imagens das amostras de madeira: T0, T1, T3 e T4 tratadas; T0TV, T1TV, T2TV, T3TV e T4TV atacadas com fungo branco; T0GT, T1GT, T2GT, T3GT e T4GT atacadas com fungo pardo. Nestes tratamentos observou-se alteração de cor após o aquecimento e após a cada ataque dos fungos. Essas mudanças na madeira dependem do teor de umidade, meio de aquecimento, temperatura, duração, tamanho da peça envolvida e o tipo de fungo⁹.

O tratamento termomecânico das madeiras leves e porosas torne-se mais densas e possam ser utilizadas em situações onde é precisa de uma maior resistência. Desse modo, pode-se usar esse tratamento em lâminas de madeira usadas para confecção de compensados entre outros. No tratamento térmico provoca a secagem do material,

degrada permanentemente parte dos principais compostos higroscópicos da madeira como a celulose amorfa e as hemiceluloses, reduzindo a capacidade de ligação das moléculas de água do ambiente com a madeira. Assim, a redução da higroscopicidade da madeira é um dos principais efeitos positivos causados pelo tratamento térmico, sendo eficaz principalmente, contra o fungo GT⁹.



Figura 1. Madeira com tratamento termomecânico (T) e atacadas pelos fungos *Trametes versicolor* – TV (fungo branco) e *Gloeophyllum trabeum* – GT (fungo pardo); a temperatura e o tempo foram apresentados na Tabela 1.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA POR ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER

Como mencionado anteriormente, os materiais tratados e os que foram tratadas e atacadas pelos fungos *trametem versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* foram analisados

por espectroscopia na região do infravermelho na região entre 400 a 4000 cm^{-1} . As

Figura
análise

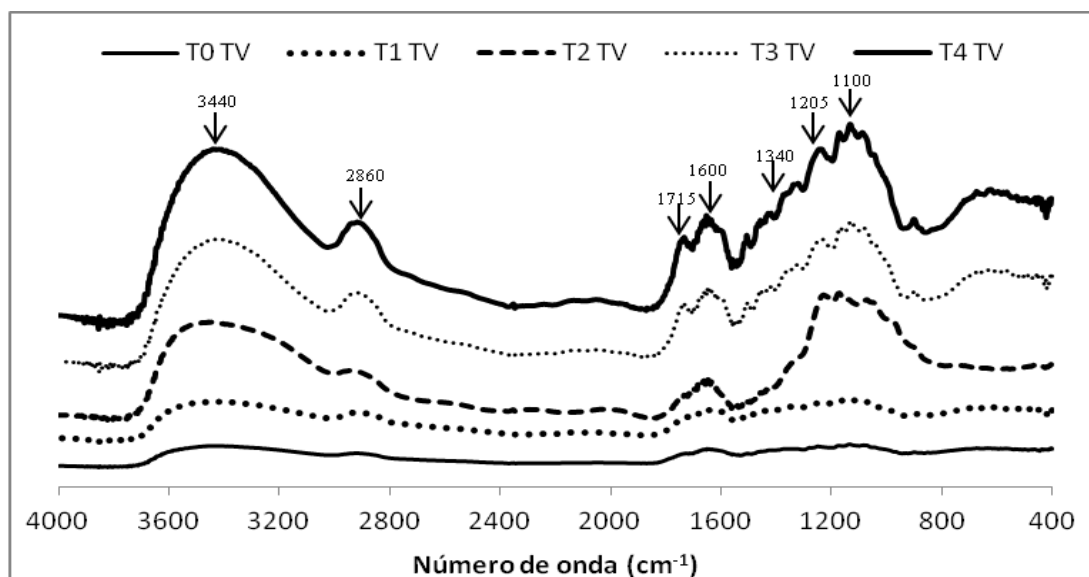
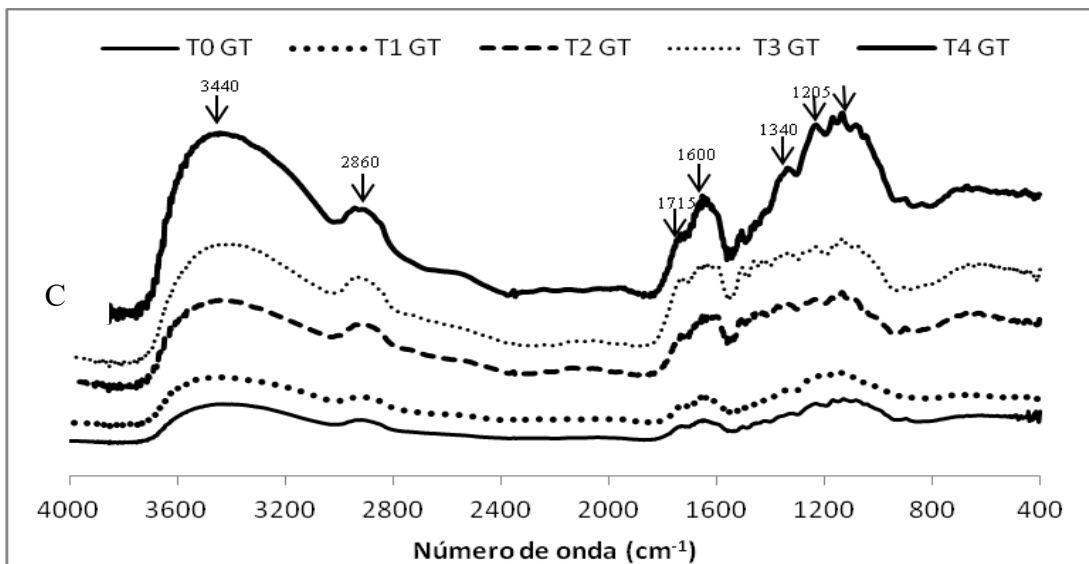
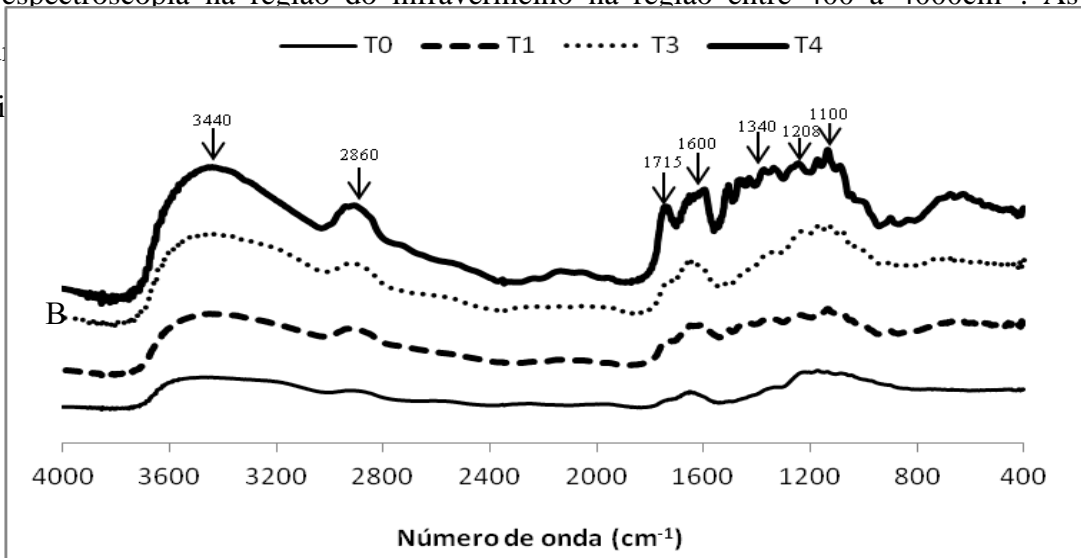


Figura 2. Espectros de FTIR da madeira com tratamento termomecânico (não atacadas por fungos) (A); madeiras atacadas pelos fungos *Gloeophyllum trabeum* – GT (fungo pardo) (B); madeira atacada pelos fungos *tramete versicolor* – TV (fungo branco) (C); a temperatura e o tempo foram apresentados na Tabela 1.

O material lignocelulósico é composto por alcanos, ésteres, aromáticos, cetonas e álcoois com diferentes grupos funcionais contendo oxigênio e hidroxilas¹⁰. Deste modo, todos os espectros das amostras analisadas (Figuras 2 A, B e C) mostraram um pico largo na região 3440 cm⁻¹, confirmando assim a presença do grupo da hidroxila. Além disso, os espectros apresentam características típicas da presença da lignina e celulose, na estrutura molecular da fibra da madeira. Já a região em 2860 cm⁻¹ é referente à deformação axial C-H de alifático^{11,12}.

As bandas na região do infravermelho em 1700 cm⁻¹ para T0 em relação T1, T3, T1TV, T2TV, T2GT, T4GT é observado uma redução da intensidade do pico. Se comparar as amostras TV e GT, ocorre também uma redução dos picos nesta região para as amostras T0TV, T1TV, T2TV. A banda em 1700 cm⁻¹ é referente à presença do grupo carbonila na estrutura da madeira. Os grupos carbonila, estiramento da ligação C=O, podem estar presentes no grupo acetil da hemicelulose ou ligação éster do grupo ácido carboxílico da lignina e/ou hemicelulose^{11,13}.

Foi evidenciado em todos os espectros um pico na região 1650 cm⁻¹, para T0 em relação T1, T4, T1TV, T3TV, T4TV, T0GT, T2GT e T3GT é observado uma diminuição da intensidade do pico. O mesmo ocorre quando comparam as amostras TV e GT, uma diminuição da intensidade do pico para as amostras T0GT, T1TV, T2TV que é devido à vibração C=C do anel aromático e presença associada de lignina e hemicelulose¹¹. O pico observado na região 1340 cm⁻¹ em todos os espectros, para T0 em relação T1, T4, T0TV, T1TV, T2TV, T3TV, T0GT, T2GT e T3GT é observado uma diminuição da intensidade do pico. Se comparar as amostras TV e GT, ocorre também uma redução dos picos nesta região para a amostra T1TV. Estes picos foram atribuídos aos grupos C-O e C-H do anel aromático da lignina. O pico em 1220 cm⁻¹ foi também associado ao estiramento da ligação C-O do grupo aril da lignina, para T0 em relação T1, T4, T0TV, T1TV, T2GT e T3GT é observado uma redução do pico. Comparando as amostras TV e GT, ocorre também uma redução dos picos nesta região para as amostras

T0TV e T1TV^{11,12}. O pico na região 897 cm⁻¹ é devido às ligações glicosídicas simétricas C-H de hemicelulose e celulose, não foi evidenciado nas amostras T0 e T2TV.

Comparando as amostras TV e GT, este pico não aparece nesta região¹⁴. Essas reduções do pico foram ocasionadas pela degradação de compostos presentes (extrativos, gorduras, hemicelulose, lignina e celulose) nas amostras devido ao tratamento como também as amostras atacadas pelos fungos conferindo assim modificações nas amostras. Ou seja, essa redução do pico mostra qual amostra foi mais atacada pelo fungo. Dessa forma, a amostra que mostrou mais atacada pelo o fungo foi TV e assim GT mostrou mais resistente ao fungo.

A madeira tratada termicamente pode se tornar um pouco mais resistente ao ataque biológico. Algumas moléculas formadas durante a degradação térmica atuam como fungicidas da madeira. Além disso, o tratamento térmico elimina boa parte das hemiceluloses que fazem parte da nutrição dos fungos, impedindo a colonização inicial. Segundo Arruda (2012), o aumento da resistência à colonização por fungos pelo tratamento térmico é observado acima dos 135°C e por mais de 24 horas⁹.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Todas as micrografias das madeiras Figuras 3 mostram as superfícies rugosas das madeiras cobertas por camadas de ceras e extrativos, além dos constituintes amorfos como lignina e hemicelulose¹⁴. Mostraram também, presença das células de parênquima radial. Pode observar ainda pequenas quantidades de hifas na superfície da madeira¹⁵. O fungo *Gloeophyllum trabeum* apresenta um crescimento com períodos de repouso, o que demonstra seu desenvolvimento mais lento. A podridão parda, em geral, provoca uma diminuição nas características físicas da madeira mais rapidamente que a podridão-branca¹⁵.

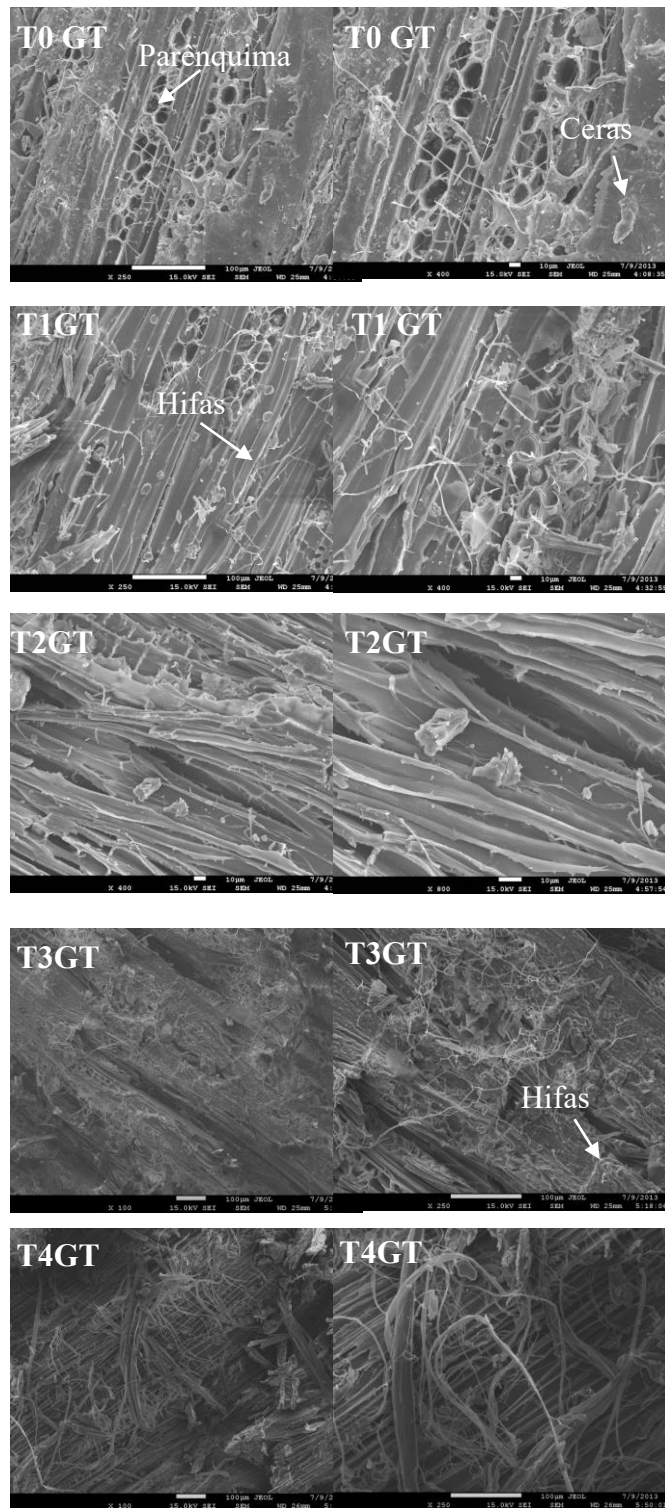
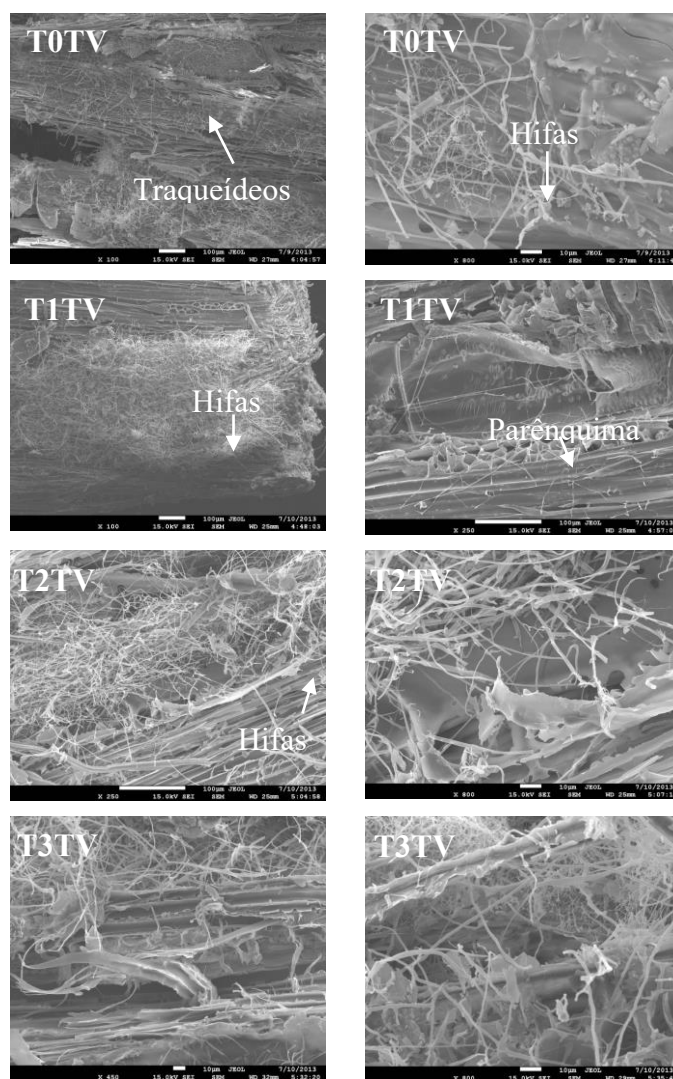


Figura 3. Micrografias obtidas em MEV da madeira atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* - GT (*fungo pardo*); a temperatura e o tempo foram apresentados na Tabela 1.

As micrografias das amostras contaminadas confirmam como ocorre o ataque desses fungos. As hifas penetraram na madeira, colonizando quase que exclusivamente as células de parênquima¹⁶. As micrografias de MEV Figura 4 mostraram presença de grandes quantidades hifas dos fungos TV remanescentes sobre todas as madeiras estudadas. As hifas penetram na madeira através de fissuras e poros e movem-se pelos raios medulares onde encontram grande oferta de açúcares, carboidratos, proteínas e extrativos. A partir dos raios, as hifas penetram nos traqueídeos¹⁷. As Figuras 4 T1 TV mostraram presença das células de parênquima radial.



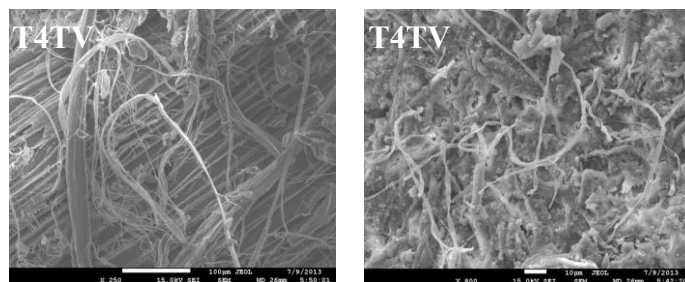


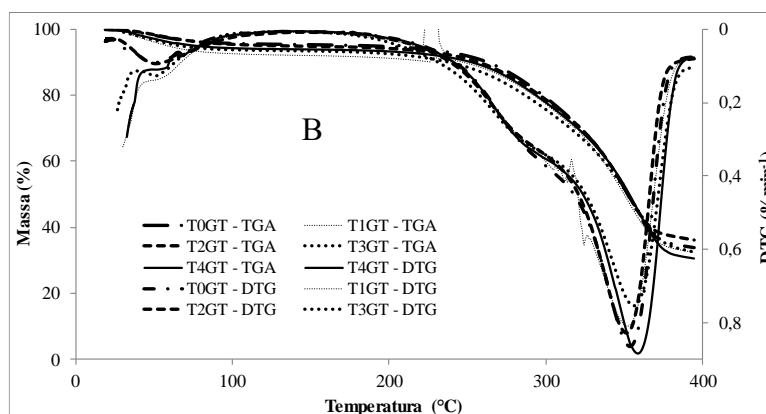
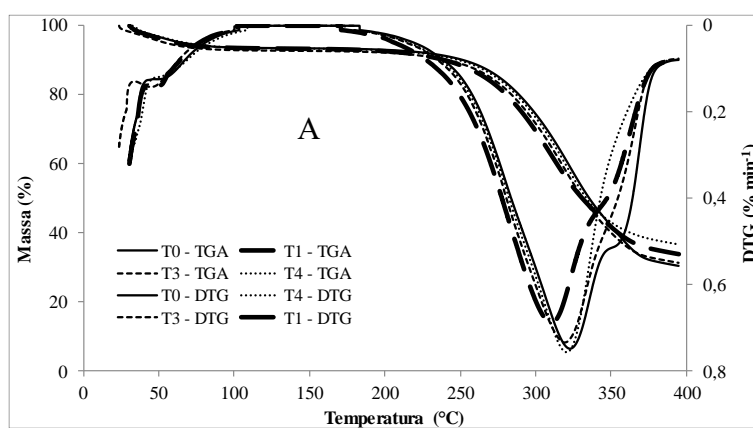
Figura 4. Micrografias obtidas em MEV da madeira atacada pelo fungo *Trametes versicolor* - TV (*fungo branco*); a temperatura e o tempo foram apresentados na Tabela 1.

3.4 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

Os materiais lignocelulósicos tratados e tratados e atacados pelos fungos foram analisados por análise termogravimétrica. Esta análise é utilizada para avaliar o nível de estabilidade térmica da amostra, mostrando seus estágios de degradação e quantidade de resíduos. As Figuras 5A a 5C mostram o comportamento típico das curvas TGA-DTG de degradação térmica das amostras. A partir das curvas TGA pode-se verificar que entre 300 e 360°C as madeiras com tratamento termomecânico e com os tratamentos termomecânicos e atacados por fungos apresentam perda de massa semelhante.

As diferenças de comportamento térmicas entre T0 a T4; T0GT a T4GT; T0TV a T4TV; podem ser mais facilmente visualizadas a partir das curvas DTG. A ausência de picos na região entre 100 e 200°C, pode-se concluir que houve remoção dos extrativos e de outros constituintes, como por exemplo, carboidratos, gomas, proteínas e sais inorgânicos. A decomposição da madeira foi caracterizada por dois picos distintos (T0 e T1) e para (T3 e T4) foi caracterizada por um pico que podem ser observados nas curvas DTG da Figura 4. Para T0GT a T4GT; T0TV a T4TV o primeiro pico representa a degradação dos componentes de polissacarídeos, na faixa entre 200 e 300°C, apresentando picos em (275-280°C). Assim, picos na faixa entre 200 e 300°C indicam perda da degradação da lignina, que está relacionada com a quebra das ligações éter e carbono-carbono^{18,19}. No caso, do FTIR mostram sinais de comprimentos de onda em 1700-1650-1340cm⁻¹ referente à lignina/hemicelulose²⁰. Deste modo, a ausência deste pico indica que grande parte dos constituintes amorfos foi removida pelo tratamento termomecânica e tratados e atacados por fungos.

O pico na faixa de 300°C, onde atinge a velocidade de decomposição máxima, é atribuído à despolimerização da hemicelulose e a clivagem das ligações glicosídicas da celulose, apresentando pico em 303°C (T1), 316°C (T0, T3 e T4), 354°C (T0GT a T4GT) e 360°C (T0TV a T4TV)^{14,19}. No caso, do FTIR mostram sinais de comprimentos de onda em 3400-897cm⁻¹ referente à celulose²¹.



C

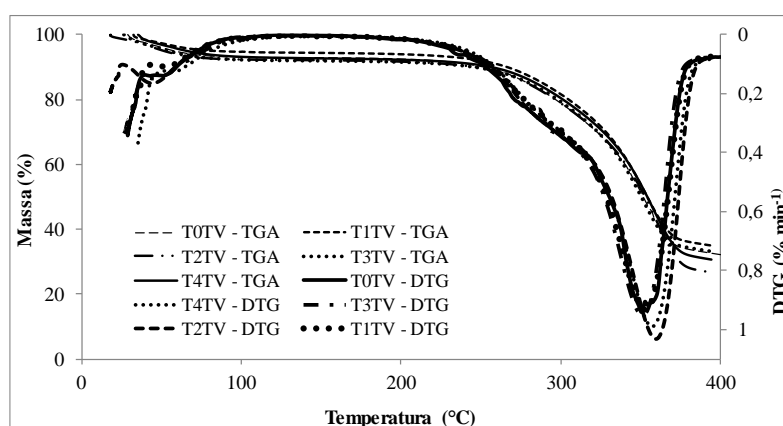


Figura 5. Madeira com tratamento termomecânico – T (não atacadas por fungos) (A); atacadas pelos fungos *Gloeophyllum trabeum* – GT (fungo pardo) (B); atacadas pelos fungos *trametes versicolor* – TV (fungo branco) (C); a temperatura e o tempo foram apresentados na Tabela 1.

Os resíduos resultantes após as análises, provenientes dos tratamentos térmicos a 400°C ficaram em torno de 32% e a estabilidade térmica ficou na faixa de temperatura 242°C para as amostras tratadas (T0 a T4), para as amostras atacadas pelos fungos *Gloeophyllum trabeum* a 400°C ficaram em torno de 33% e a estabilidade térmica ficou na faixa de temperatura 212°C e para as amostras atacadas pelos fungos *Trametes versicolor* a 400°C ficaram em torno de 35% e a estabilidade térmica ficou na faixa de temperatura 213°C.

A Tabela 2 mostra as porcentagens de perda em massa nas temperaturas de 100 a 400°C para as amostras tratadas e atacadas pelos fungos. As perdas de massa entre 100 a 200°C foram similares, não havendo perda de massa significativa.

Tabela 2. Perda de massa a diferentes temperaturas para as amostras tratadas e tratadas e atacadas pelos fungos.

Amostra	Perda de Massa (%)			
	100°C	200°C	300°C	400°C
Tratamento termomecânico T0	6,3	6,9	25,6	69,5
Tratamento termomecânico T1	6,4	7,3	30,6	66,1
Tratamento termomecânico T3	7,0	7,7	28,3	68,6

Tratamento termomecânico T4	6,3	7,1	26,7	63,3
<i>Trametes versicolor</i> (fungo branco) T0TV	6,9	7,5	21,1	67,8
<i>Trametes versicolor</i> (fungo branco) T1TV	5,3	6,0	18,4	65,0
<i>Trametes versicolor</i> (fungo branco) T2TV	7,6	8,3	21,1	73,3
<i>Trametes versicolor</i> (fungo branco) T3TV	7,7	8,4	20,8	66,8
<i>Trametes versicolor</i> (fungo branco) T4TV	6,8	7,7	19,7	69,3
<i>Gloeophyllum trabeum</i> (fungo pardo) T0GT	4,2	5,2	20,7	66,1
<i>Gloeophyllum trabeum</i> (fungo pardo) T1GT	7,3	8,7	23,0	67,3
<i>Gloeophyllum trabeum</i> (fungo pardo) T2GT	4,5	5,8	21,3	63,8
<i>Gloeophyllum trabeum</i> (fungo pardo) T3GT	6,2	7,4	24,3	67,5
<i>Gloeophyllum trabeum</i> (fungo pardo) T4GT	5,7	6,7	22,4	69,4

Já a 300°C a perda de massa foi mais significativa para as amostras tratadas termicamente. Sendo assim, a partir de 300°C os materiais analisados começam a degradação das estruturas químicas dos componentes dos materiais seguidas da carbonização¹⁸. Portanto, a perda de massa dos materiais *trametes versicolor* a 400°C é mais elevada do que os outros materiais analisados. Podendo concluir, que *Trametes versicolor* contribui para a formação de uma estrutura mais facilmente degradada a altas temperaturas. Observa-se ainda que nas temperaturas de 400°C a perda de massa para os materiais chegam a 73,3%. No entanto, *Gloeophyllum trabeum* apresentam uma temperatura de degradação mais elevada do que os outros materiais analisados chegando a 360°C, como pode ser observado na Figura 5 B.

CONCLUSÃO

Dentro dos aspectos relacionados às madeiras tratadas, pode-se concluir que houve alteração na coloração das madeiras, como também redução dos constituintes presentes nas madeiras como lignina, hemicelulose e extrativos, que também foi comprovado pelo FTIR e MEV. As técnicas de microscópicas empregadas permitiram avaliar a morfologia e dimensões das madeiras tratadas e atacadas pelos fungos, mostrando que houve considerável mudança da morfologia. Dentre as observações,

pode-se destacar a presença de hifas que penetraram na madeira, colonizando quase que exclusivamente as células de parênquima. As análises termogravimétricas das madeiras tratadas mostraram maior estabilidade térmica do que as madeiras com o tratamento termomecânica e posteriormente com tratamento termomecânica e atacadas pelos fungos.

As técnicas utilizadas para caracterizar as amostras permitiram avaliar a eficiência do tratamento, como também as madeiras que foram tratadas e atacadas pelos fungos, às amostras mais atacadas foram (T2TV, T2GT e T3GT). E, as amostras (T0TV, T1TV, T3TV, T4TV e T0GT, T1GT, T4GT) mostram mais resistente ao ataque dos fungos. Neste contexto, a madeira sob ataque de fungos proporciona alterações na composição química, mudança de cor e aumento da permeabilidade comprometendo a sua qualidade.

Agradecimentos

A REUNI/ CAPES pela bolsa concedida, ao DPP e CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. CALLUM, A. S. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. John Wiley & Sons; 2006.
2. VAZ, S. S. **Resistência biológica de painéis compensados de *Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd produzidos com lâminas modificadas Termomecanicamente**. Monografia em Engenheiro Florestal, Universidade de Brasília, 2013.
3. FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. Germany: Walter de Gruyter, 2003.
4. MONTE, J. R. **Sacarificação da polpa celulósica do bagaço de cana-de-açúcar com celulases e xilanases de *Thermoascus aurantiacus***. Dissertação de Mestrado em Biotecnologia Industrial, Universidade de São Paulo, 2009.

- 5.KUMAR, R.; OBRAI, S.; SHARMA, A. **Chemical modifications of natural fiber for composite material**. Pelagia Research Library: Der Chemica Sinica, v. 2, 219-228, 2011.
- 6.COELHO, T. C. **Avaliação das condições de imobilização de células de *Candida guilliermondii* FTI 20037 em bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) visando à produção de xilitol**. Dissertação de Mestrado em Biotecnologia Industrial, Universidade de São Paulo, 2007.
- 7.SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em salvador**. Dissertação de Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, Universidade Federal da Bahia, 2008.
- 8.MASARIN, F. **Estudo da degradação de lignina iniciada por metabólitos extracelulares extraídos de cultivos de *Ceriporiopsis subvermispora***. Dissertação de Mestrado em Biotecnologia industrial, Universidade de São Paulo, 2010.
- 9.ARRUDA, L. M. **Modificação termomecânica da madeira de *trattinnickia burseraefolia* (mart.) willd.): efeito sobre as propriedades de lâminas e compensados**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, 2012.
- 10.ADEL, A. M et al. **Characterization of microcrystalline cellulose prepared from lignocellulosic materials. Part I. Acid catalyzed hydrolysis**. Bioresource Technology, v. 101, 4446–4455, 2010.
- 11.JONOOBI, M. et al. **Chemical composition, crystallinity, and termal degradation of bleached end unbleached kenaf bast (*Hibiscus cannabinus*) pulp and nanofibers**. BioResouces, v. 4, 26-639, 2009.
- 12.ROSA, M. F. et al. **Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: Effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior**. Carbohydrate Polymers, v. 81, 83–92, 2010.

- 13.HERRERA-FRANCO, P. J.; VALADEZ-GONZÁLEZ, A. **A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites.** Composites: Part B, v. 36, 597–608, 2005.
- 14.BENINI, K. C. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: hips/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, 2011.
- 15.ALVES, M. V. S et al. **Resistência natural de seis espécies de madeiras da região amazônica a fungos apodrecedores, em ensaios de laboratório.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 16, 17-26, 2006.
- 16.CORDEIRO, R. C.; VIANA, H. M.; SIMÃO R. A. **Melhoria das propriedades mecânicas de compósitos de PP com fibras naturais devido ao tratamento superficial por plasma da fase de reforço.** PEMM/COPPE/UFRJ, p. 1-2, 2012.
- 17.ZIGLIO, A. C. **Uso da capsaicina como preservante de madeiras ao ataque de fungo apodrecedor.** Dissertação de Mestrado em Ciência, Universidade de São Paulo, 2010.
- 18.LUZ, S. M. et al. **Cellulose and cellulignin from sugarcane bagasse reinforced polypropylene composites: Effect of acetylation on mechanical and thermal properties.** Composites: Part A, v. 39, 1362–1369, 2008.
- 19.LEÃO, R. M. et al. **Surface Treatment of Coconut Fiber and its Application in Composite Materials for Reinforcement of Polypropylene.** Journal of Natural Fiber, v. 12, p.574-586, 2015.
- 20.YANG, H. S. et al. **Properties of lignocellulosic material felled polypropylene bio-composites made with diferente manufacturing processes.** Polymer Testing, v.25, 668-676, 2006.
- 21.DEVALLENCOURT, C. et al. **Characterization of recycled celluloses: thermogravimetry/Fourier transform infra-red coupling and thermogravimetry investigations.** Polymer Degradation and Stability, v. 52, 327-334, 1996.

