

Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Departamento de Tecnologia da Madeira
Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal



Dálleth Thauanny de Oliveira Pereira

**Efeito da termorretificação sobre as propriedades
químicas da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (URB.)
Alain (limãozinho)**

Paragominas
2019

Dálleth Thauanny de Oliveira Pereira

Efeito da termorretificação sobre as propriedades químicas da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain (limãozinho)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Engenharia Florestal, do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, da Universidade do Estado do Pará. Orientador: Prof. Dr. João Rodrigo Coimbra Nobre.

Paragominas

2019

Dálleth Thauanny de Oliveira Pereira

Efeito da termorretificação sobre as propriedades químicas da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain (limãozinho)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Engenharia Florestal, do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, da Universidade do Estado do Pará. Orientador: Prof. Dr. João Rodrigo Coimbra Nobre.

Data de aprovação: ____/____/____.

Banca examinadora

_____ - Orientador

Prof.: João Rodrigo Coimbra Nobre
Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira
Universidade do Estado do Pará - UEPA

_____ - Examinador 1

Prof.: Márcio Franck de Figueiredo
Mestre em Engenharia Mecânica
Universidade do Estado do Pará - UEPA

_____ - Examinador 2

Prof.: Nelivelton Gomes dos Santos
Mestre em Administração
Universidade do Estado do Pará – UEPA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao autor da vida, Deus, pelo seu amor e cuidado, por ser minha força, meu amparo e por me proporcionar essa conquista através do conhecimento, caráter, sabedoria e força nesta trajetória.

À minha querida mãe, que sempre esteve comigo me dando força, aumentando minha fé, me encorajando a prosseguir sendo minha base familiar. Tudo isso é por você, eu te amo.

A toda minha família, minhas tias, tios e primas que intercederam por mim e que vibram com a minha conquista.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Rodrigo Nobre pelo incentivo, ajuda e paciência para a realização desse trabalho.

Aos demais professores que me aconselharam e contribuíram para minha formação acadêmica: Prof. Madson Sousa, Prof. Márcio Franck, Prof. Dr. Osmar Aguiar, Prof. Paulo Cezar, Prof. Rodrigo Nobre, Prof. Denison Lima e demais.

Aos monitores do Laboratório de Engenharia Florestal, Felipe e Layze, pelo auxílio na condução dos experimentos, ao coordenador Paulo Sérgio e demais servidores da Universidade do Estado do Pará.

À Universidade do Estado do Pará e Laboratório de Ciência, Inovação e Tecnologia da Madeira na Amazônia - LCITM, pela realização desse trabalho.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, pela disponibilidade do Laboratório para moer e peneirar as serragens para realizar as análises químicas.

Aos meus companheiros de curso, amigos de grupo que cresceram comigo ao longo desses cinco anos, Cleibiane Martins, Jesomi Jonatan, Dyêgo Quadros torço pelo sucesso de vocês.

As amigas que conquistei nessa jornada, Vitória Andrade, Renata Ingrid, Kassya Oliveira, Fernanda Moreira, Jossiele Fernandes, Talita Andrade, se tornaram muito especiais. Agradeço a Deus pela vida de cada uma e espero reencontrá-las algum dia.

Muito obrigada!

RESUMO

PEREIRA, D. T. O. Efeito da termorretificação sobre as propriedades químicas da Madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain (limãozinho). 2019, 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado do Pará, Paragominas, 2019.

A termorretificação é um tratamento que utiliza aplicação de calor, causando modificações nas propriedades tecnológicas da madeira. Este processo tende a melhorar fatores como a higroscopicidade, instabilidade dimensional, biodeterioração da madeira que são comuns e podem causar problemas que limitam o seu uso no mercado. O objetivo deste trabalho foi analisar a composição química da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* após a termorretificação, potencializando o uso da espécie no mercado madeireiro. Foram coletadas 5 árvores de *Z. ekmanii*, confeccionados 20 corpos-de-prova (4 por árvore) que foram triturados e destinados para a análise antes dos tratamentos que serviram como testemunhas. Para a realização dos termotratamentos foram escolhidas 2 temperaturas (140 °C e 200 °C), no tempo de 5 horas para cada, foram selecionadas 2 árvores e confeccionados 6 corpos de prova por árvore, totalizando 12 corpos-de-prova. As análises químicas foram realizadas de acordo com as normas NBR 14853/2010 para extrativos totais, NBR 7989/2010 para lignina insolúvel e NBR 13999/2003 para minerais. A determinação de holocelulose foi realizada por diferença entre extrativos, lignina insolúvel e minerais. O teor de extrativos totais variou entre 6,27% - 7,24%, para lignina insolúvel variaram entre 24,56% - 27,23%, para minerais o valor encontrado variou entre 0,45% - 0,64%, e para os valores de holocelulose houve variação entre 65,01% - 68,01% para as cinco árvores testemunhas. Para o tratamento térmico, o teor de extrativos totais variaram entre 7,33% - 8,41%, para lignina também houve variação entre 27% - 28,50%, para cinzas, a temperatura de 140 °C (0,40% - 0,45%) apresentou valor inferior em relação a testemunha (0,54% - 0,50%), apenas a média do tratamento de 200 °C (0,57% - 0,53%) foi superior. Já para holocelulose houve uma diminuição entre os tratamentos (140 °C: 64,92% - 64,85% / 200 °C: 62,50% - 63,18%) atribuída basicamente à perda de massa de hemiceluloses. Conclui-se, que a termorretificação influencia na composição química resultando em maiores teores de ligninas, extrativos e menores teores de holocelulose. Essas alterações químicas podem promover melhorias em algumas propriedades da madeira.

Palavras-chave: Temperatura. Holocelulose. Estabilidade dimensional.

ABSTRACT

PEREIRA, D. T. O. Efeito da termorretificação sobre as propriedades químicas da Madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain (limãozinho). 2019, 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado do Pará, Paragominas, 2019.

Thermortification is a treatment that uses heat application, causing modifications in the technological properties of the wood. This process tends to improve factors such as hygroscopicity, dimensional instability, wood biodeterioration that are common and can cause problems that limit its use in the market. The objective of this work was to analyze the chemical composition of *Zanthoxylum ekmanii* wood after thermortification, potentiating the use of the species in the timber market. Five trees of *Z. ekmanii* were collected, 20 specimens (4 per tree) were prepared and shredded and destined for analysis before the treatments that served as controls. Two temperatures (140 ° C and 200 ° C) were selected for the thermotreatment, in the time of 5 hours for each, 2 trees were selected and 6 specimens were prepared per tree, totaling 12 specimens. The chemical analyzes were carried out according to NBR 14853/2010 for total extractives, NBR 7989/2010 for insoluble lignin and NBR 13999/2003 for minerals. Holocellulose determination was performed by the difference between extractives, insoluble lignin and minerals. The total extractive content ranged from 6.27% - 7.24%, for insoluble lignin ranged from 24.56% - 27.23%, for minerals the value found ranged from 0.45% - 0.64%, and for holocellulose values there was variation between 65.01% - 68.01% for the five control trees. For the heat treatment, the total extractive content ranged from 7.33% - 8.41%, for lignin there was also a variation between 27% and 28.50% for ash at a temperature of 140 ° C (0.40% - 0.45%) presented a lower value than the control (0.54% - 0.50%), only the treatment average of 200 ° C (0.57% - 0.53%) was higher. As for holocellulose, there was a decrease between treatments (140 ° C: 64.92% - 64.85% / 200 ° C: 62.50% - 63.18%) attributed basically to loss of mass of hemicelluloses. It was concluded that the thermoregulation influences the chemical composition resulting in higher levels of lignins, extractives and lower levels of holocellulose. These chemical changes can promote improvements in some properties of wood.

Keywords: Temperature. Holocellulose. Dimensional stability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
3.1 Propriedades químicas da madeira.....	10
3.2 Processos de termorretificação	13
3.3 <i>Zanthoxylum ekmanii</i> (URB.) Alain.....	16
4 METODOLOGIA	17
4.1 Coleta do material e confecção dos corpos-de-prova	17
4.2 Análise química	18
4.2 Tratamentos de Termorretificação	18
4.3 Análise Estatística	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1 Composição química da madeira de <i>Zanthoxylum ekmanii</i>	19
5.2 Composição química da madeira de <i>Zanthoxylum ekmanii</i> após tratamento térmico	20
6 CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material higroscópico, que tem a capacidade de absorver ou perder água para o meio ambiente. Essa característica é explicada pela sua constituição química, composta por polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina. Dentre essas substâncias, a mais hidrófila são as hemiceluloses, contribuindo em função da troca de água com o meio, para a variação dimensional da madeira.

Os componentes químicos da madeira influenciam nas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Apesar da madeira apresentar ótimas propriedades tecnológicas favorecendo sua utilização em diversas finalidades, como em estruturas, revestimentos, pisos, construção civil entre outros, ainda existem particularidades que podem limitar seu uso, como instabilidade dimensional, biodeterioração, inflamabilidade, entre outros.

Desse modo, a utilização do calor de forma intensa no processo denominado termorretificação, se caracteriza pelo aquecimento da madeira submetidas a altas temperaturas (120 °C a 260 °C), ocasionando mudanças nas propriedades tecnológicas que estão correlacionadas com a estrutura química do material (NEJAD et al., 2013). A madeira termorretificada apresenta características tais como: cor escura, menor massa, alterações químicas, maior capacidade de isolamento térmico e não requer a utilização de preservativos químicos, o que representa uma vantagem sob o ponto de vista ambiental. Além de proporcionar melhorias nas propriedades do material como reduzir a higroscopicidade, aumentar a estabilidade dimensional, aumentar a resistência à biodeterioração e ao intemperismo e aumentar a resistência biológica da madeira (KAMDEM et al., 2002; HILL, 2006; BAL; BEKTAS, 2012; KORKUT, 2012; RATNASINGAM; IORAS, 2012; BELLON, 2014; BATISTA et al., 2016).

Os tratamentos de termorretificação certificam à madeira uma baixa resistência mecânica e menor rigidez quando realizados em condições severas de temperatura e tempo, o que pode comprometer a aplicação do material para fins estruturais (CALONEGO, 2010; GARCIA et al., 2012; MAJANO; HUGHES; CABO, 2012). Para Silva et al. (2013), a qualidade da madeira que se mantém para uso estrutural ocorre entre temperaturas de 120 °C e 280 °C, pois abaixo de 120 °C pode ser considerado apenas como secagem de alta temperatura e acima de 280 °C denominadas por torrefação.

Na termorretificação, as hemiceluloses são degradadas mais rapidamente que a celulose, ou seja, possuem menor estabilidade térmica devido a sua natureza amorfa (sem cristalinidade) e menor massa molecular quando comparadas à celulose (GONZÁLEZ-PEÑA; CURLING; HALE, 2009; GOODRICH et al., 2010). A degradação das hemiceluloses é mais acentuada na temperatura de 190 °C, enquanto que da celulose começa a ser mais acentuada em torno de 220 °C (KAČÍKOVÁ et al., 2013). A lignina embora comece a degradar antes da celulose é o constituinte químico mais resistente à ação do calor, por apresentar uma estrutura mais complexa, sendo que somente a partir de 200 °C começam as modificações significativas da parte estrutural e reações de condensação (ESTEVES; PEREIRA, 2009; MISSIO et al., 2015). Já os extrativos são volatilizados durante o tratamento térmico, onde formam novos produtos advindos da degradação de polímeros estruturais, ocasionando acréscimos quando quantificados quimicamente (ESTEVES et al., 2008).

A modificação da estrutura da madeira, especialmente a lignina e os extrativos, pode mudar sua cor (BREBU; VASILE, 2010; TOLVAJ et al., 2013; BARCÍK et al., 2015; WANG et al., 2016; KAČÍK et al., 2016, 2017). Essas alterações colorimétricas podem agregar valor e ampliar sua utilização. Além disso, a coloração da madeira através de tintas emite tolueno e xileno, nocivos à saúde humana e ao meio ambiente (KORKUT, 2012). Nesse sentido, o tratamento térmico da madeira surge como alternativa para melhorar a utilização de madeiras consideradas inapropriadas, proporcionando mais usos e ampliando seu potencial econômico.

A espécie *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain ainda não possui estudos destacados na literatura em nenhuma das áreas da tecnologia da madeira, sendo assim, é importante contribuir para disseminação das informações sobre a madeira do limãozinho visando possível alternativa de inserção da espécie no mercado madeireiro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as alterações na composição química da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain após a termorretificação, além de potencializar o uso alternativo da espécie no mercado madeireiro.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as propriedades químicas da madeira sem e com a termorretificação;
- Avaliar o efeito da termorretificação em diferentes temperaturas;
- Correlacionar com as propriedades tecnológicas da madeira para indicação potencial de uso alternativo;
- Demonstrar a importância de utilização do tratamento térmico como uma ferramenta para melhorar as propriedades e características da madeira.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Propriedades químicas da madeira

Quimicamente, a madeira é definida como um biopolímero tridimensional, formado por celulose, hemiceluloses e lignina, e uma menor quantidade de extrativos e materiais inorgânicos. A substância química encontrada em maior abundância numa árvore viva é a água, mas na madeira em base seca, toda a parede celular é formada por polímeros de açúcares (carboidratos, 65 a 75%), que são combinados com a lignina (18 a 35%) (ROWELL et al., 2005).

Os principais elementos químicos presentes são carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) e pequenas quantidades de nitrogênio (N) (TSOUMIS, 1991). Os

elementos orgânicos (C, H e O) se combinam para formar os principais constituintes elementares da madeira (HILL, 2006).

Os componentes químicos da madeira podem ser compreendidos em dois grandes grupos: classificados em componentes de alta massa molecular que são a celulose, as hemiceluloses e a lignina, e os componentes de baixa massa molecular que são os extrativos e as cinzas (PANSIN; ZEEUW, 1970).

O conhecimento das propriedades químicas de uma madeira é de fundamental importância, pois a quantidade e a variação dos compostos químicos podem influenciar na utilização industrial das espécies. Os constituintes químicos da madeira estão relacionados com suas propriedades física, mecânica e de resistência aos organismos xilófagos. Segundo Severo et al. (2010), o conhecimento da composição química da madeira é importante para definição do uso final deste material.

De acordo com Pettersen (1984), a presença de alguns desses componentes influencia a resistência ao ataque de fungos e insetos, a coloração, o odor, a permeabilidade, a densidade e a dureza da madeira. Podem constituir até 8% do peso seco de madeiras normais de espécies de clima temperado, podendo chegar a até 20% em madeiras normais de espécies de clima tropical.

A lignina é uma macromolécula de estrutura complexa constituída de um polímero formado por ligações cruzadas. A mesma é responsável, em parte, pela resistência mecânica das madeiras e funciona também como suporte para dispersão dos metabólitos excretados pelas células (MORAIS et al., 2005). A lignina se apresenta como o componente mais hidrofóbico da madeira, atuando como material cimentante ou adesivo entre as fibras (PETTERSEN, 1984) além de conferir dureza e rigidez à parede celular.

Brito e Barrichelo (1977) afirmam que para amostras com maiores teores de lignina o rendimento gravimétrico é mais elevado, devido ao fato de que este componente fundamental da madeira é mais resistente à decomposição térmica, uma vez que sua estrutura é bastante complexa.

O conjunto da celulose e das hemiceluloses denominam-se a holocelulose (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989). Segundo Brown et al. (1952) a porção completa de carboidratos da madeira livre dos extrativos é designada holocelulose, tendo geralmente índices mais altos nas madeiras duras em relação as madeiras macias, teores de 75,0 a 82,5% para madeiras duras e de menos de 50,0 a 73,0 % nas madeiras macias. Define ainda que as cinzas são os resíduos que sobram após a

combustão completa da madeira, sendo que estes resíduos incluem os minerais da parede celular e qualquer outro material mineral presente nos cristais da cavidade celular.

Segundo Severo e Tomaselli (2003), as hemiceluloses são menos estáveis entre os constituintes químicos da madeira, por isso podem ser facilmente degradadas nos estágios iniciais de aquecimento, influenciando diretamente na resistência da madeira. Segundo os mesmos autores, essa perda de resistência das hemiceluloses em contato com altas temperaturas deve-se a ausência de cristalinidade, configuração irregular e ramificada, baixa massa molecular, o que facilita a absorção de água e, consequentemente a degradação.

Morais et al. (2005) cita que os extrativos, considerados constituintes secundários, são compostos químicos que não fazem parte da estrutura da parede celular. São solúveis em água ou em solventes orgânicos neutros e estão presentes principalmente na casca, são de baixa massa molecular e somando pequenas quantidades, eles englobam óleos essenciais, resinas, taninos, graxas e pigmentos.

Durante o processo do tratamento térmico da madeira ocorrem diversas alterações químicas como a formação de ácidos carbônicos, principalmente dos ácidos acéticos e fórmicos, devido, respectivamente, à ruptura dos grupos acetilas das hemiceluloses e à degradação das hexoses (MILITZ e TJEERDSMA, 2001; SUNDQVIST et al., 2006).

A termorretificação degrada as hemiceluloses e quebra monômeros como arabinose, galactose, manose e xilose (BRITO et al., 2008; SEVERO et al., 2012; BROSSE et al., 2010). O tratamento térmico libera extrativos, como ácido acético, furfural e mono, sesqui e di-terpenos (ESTEVES et al., 2008; ESTEVES et al., 2011). A celulose e a lignina são menos influenciadas pelo tratamento térmico (YILDIZ et al. 2006; TUMEN et al. 2010).

Na FIGURA 1 encontra-se um diagrama que categoriza em “desprezível”, “pequena” e “forte” a degradação dos componentes da madeira úmida pela ação da temperatura.

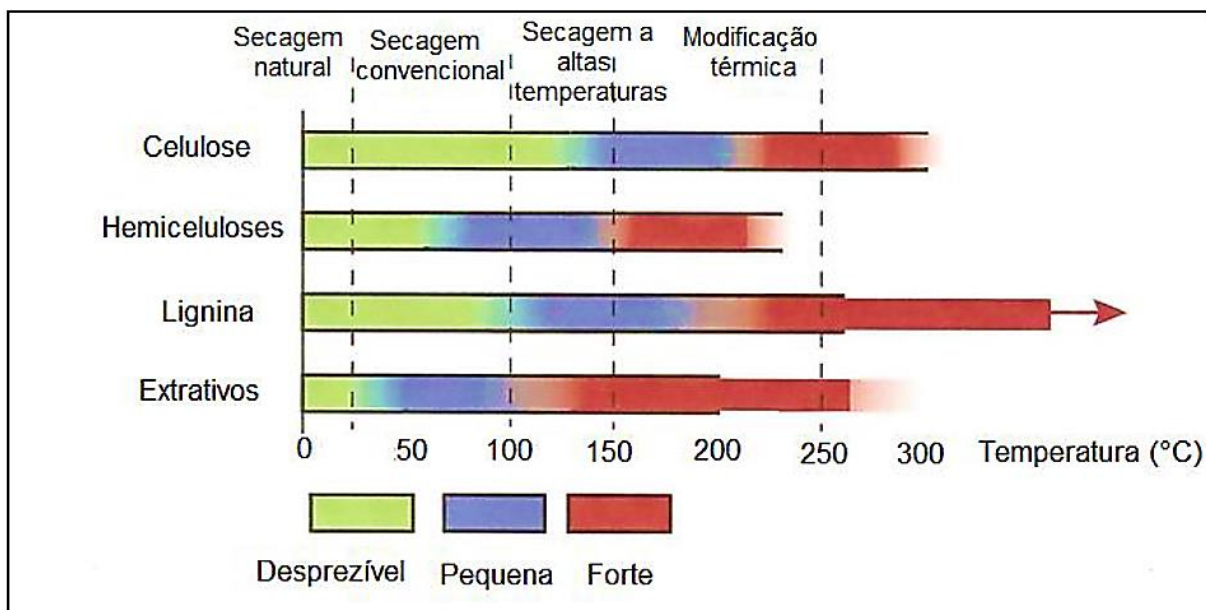


Figura 1 - Mudanças gerais dos componentes da madeira úmida causadas pela ação da temperatura.

Fonte: Modificado de Sundqvist (2004)

Conforme a Figura 1, dentre os componentes químicos da madeira, as hemiceluloses se degradam primeiramente pela ação térmica, iniciando a degradação “forte” por volta de 150°C e degradando-se completamente até cerca de 225°C. A lignina, embora comece a degradar-se antes da celulose, a sua temperatura de degradação completa é superior à da celulose. A degradação completa da celulose ocorre antes da lignina, a aproximadamente 300°C. Já os extrativos, sendo substâncias mais susceptíveis à degradação térmica, atingem padrão “forte” a aproximadamente 125°C.

3.2 Processos de termorreificação

A termorreificação da madeira consiste na aplicação de calor a fim de melhorar a qualidade do material madeira, alterando componentes presentes na estrutura química da parede celular como as holoceluloses e lignina (IBACH, 2010).

Homan et al. (2000) dizem que os processos de modificação térmica é um dos métodos de alteração da madeira na aplicação de altas temperaturas em atmosfera com nitrogênio, vapor e óleo quente.

Segundo Esteves e Pereira (2009), as melhorias das propriedades da madeira proporcionadas pelo tratamento térmico têm favorecido a comercialização de produtos desde a década de 1990.

Bellon et al. (2014) dizem que os estudos sobre termorretificação térmica são datados a partir do começo do século XX pelo continente Europeu, através do estudo dos efeitos do vapor superaquecido na madeira a 150 °C durante 4 horas, obtendo uma redução na variação de umidade entre 10 e 25%, juntamente com a diminuição da resistência mecânica.

A partir do ano 2000 com o advento da evolução tecnológica e maiores estudos na área, iniciou-se na Europa a aplicação do método de produção em grande escala industrial de madeiras termotratadas, por meios de processos patenteados, descritos por Esteves et al. (2008):

- Thermowood: Método finlandês que usa vapor;
- Plato Wood: Método holandês que combina vapor e ar quente;
- Rectification (Bois Perdure): Método francês que combina gás inerte e ar quente;
- Oil Heat Treatment (OHT): Método alemão que utiliza óleo aquecido.

Esses tratamentos são os mais utilizados comercialmente na Europa, com o intuito de melhorar a estabilidade dimensional e aumentar a resistência biológica da madeira (HILL, 2006; BATISTA et al., 2016; NUNES et al., 2016).

O tratamento da modificação térmica, na Europa, é utilizado para escurecimento de madeiras claras. Este processo é conhecido como “tropicalização”, a cor se aproxima das madeiras tropicais, as quais possuem uma coloração mais escura e de alto valor comercial (LOPES et al., 2014a). A análise final da cor de qualquer produto lhe garante um padrão de qualidade de mercado exigido mundialmente (LOPES et al., 2014b).

No Brasil, Araújo et al. (2012) realizaram tratamentos em prensa hidráulica e em estufa com controle de temperatura, pressão e vácuo, durante uma hora, baseados em diferentes atmosferas de vácuo e nitrogênio.

O processo de modificação térmica da madeira também é realizado em equipamentos de laboratório, tais como as autoclaves, estufas elétricas e muflas (CALONEGO, 2010; MODES, 2017).

No processo de modificação térmica da madeira, em escala laboratorial, geralmente realizada pelos pesquisadores em estufa elétrica, a madeira é exposta ao ar aquecido com temperaturas variando entre 100 a 200 °C, em um período que varia de 2 a 24 horas, para que ocorra a degradação dos constituintes químicos da madeira principalmente das hemiceluloses (CALONEGO, 2010).

Para Esteves e Pereira (2009) a utilização da madeira termorretificada depende da finalidade de cada uma, apresentando as seguintes características:

- Madeira acetilada: Ideal para a fabricação de aros de portas e janelas, pois apresentam boa estabilidade dimensional e resistência a raios ultravioletas;
- Madeira termorretificada: Ideal para utilização sem função estrutural, devido ao seu baixo custo;
- Madeira por furfurilação: Ideal para aplicações marinhas.

As madeiras termorretificadas na temperatura de 200 °C além de apresentarem menor higroscopicidade do que as não tratadas, se estabilizam em torno de 4 a 5% de umidade de equilíbrio, em vez de 10 a 12% (VERNOIS, 2001).

Moura et al. (2008), estudaram a termorretificação com a presença e com ausência de oxigênio na temperatura máxima de termorretificação de 200 °C e constatou que houve uma diminuição no teor de holocelulose nas temperaturas mais altas devido à degradação da hemicelulose. Porém, houve um aumento no teor de lignina gerando redução de higroscopicidade. Já os extrativos, tiveram um aumento pois o tratamento proporcionou alterações nas substâncias e reduziu seus pesos moleculares.

A grande vantagem da utilização dos processos de modificação térmica em comparação aos métodos preservantes tradicionais, é a não utilização de produtos químicos tóxicos na madeira, e a modificação de sua estrutura química pela ação física do calor (BELLON et al., 2014). Alterações químicas nas paredes celulares, causadas pelo processo de modificação térmica a temperaturas acima de 150 °C, são consideradas efetivas para aumentar a resistência da madeira ao ataque de fungos, pois melhoram a sua durabilidade natural (BOONSTRA et al., 2007).

A modificação térmica aumenta consideravelmente a resistência da madeira à biodeterioração por fungos, que pode ser explicada por quatro razões: a geração de novos extrativos durante o processo (atuando como fungicidas), a modificação química dos polissacarídeos e lignina (inibição enzimática degradativa), degradação

das hemiceluloses (moléculas de mais fácil digestão para fungos) e redução da higroscopicidade (BELLON et al., 2014; PESSOA et al., 2006).

Diversas vantagens às propriedades da madeira têm sido alcançadas, que dependem especialmente do processo (temperatura final, duração do ciclo e taxa de aquecimento) e das propriedades iniciais da madeira (ARAÚJO et al., 2012). O calor nem sempre é o único responsável pelas modificações sofridas pela madeira, já que o grau de transformações dos seus polímeros e, conseqüentemente, dos efeitos atribuídos à termorretificação são, dependente da espécie de madeira utilizada, da umidade inicial, da atmosfera circundante e do tempo de exposição à temperatura máxima utilizada (KORKUT; BEKTAS, 2008; POPESCU et al., 2013; ČABALOVÁ et al., 2016).

3.3 *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain

O gênero *Zanthoxylum* da família Rutaceae compreende mais de 200 espécies e encontra-se distribuído em todas as partes do mundo. No Brasil são encontrados 32 gêneros nativos e aproximadamente 150 espécies, sendo as Florestas Atlântica e Amazônica consideradas os centros de diversidade (PIRANI, 2005; SOUZA; LORENZI, 2008).

Z. ekmanii é conhecida no Brasil com os seguintes nomes vulgares: laranjinha-do-mato, limãozinho, cafezinho (Pernambuco), mamica-de-porca, tinguaciba-da-folha miúda, guarita, espinho-de-vintém, mamica-de-cadela, teta-de-cadela, teta-de-porca, tembetaru, tambatarão, juva, juvevê (sudeste e sul do Brasil), tamanqueira-de-espinho, tamanqueira-de-terra-firme, tamanqueira-limão e carne-de-anta (Amazônia) (REITZ et al., 1973; MELO; ZICKEL, 2004; PIRANI, 2005). Os nomes populares dados acima são provenientes da presença de grandes acúleos encontrados no tronco e caule da espécie.

A espécie *Z. ekmanii* (URB.) Alain, conhecida popularmente como limãozinho, é uma árvore de 7 a 13 m de altura que apresenta casca com coloração cinza-escura, folhas compostas e presença de acúleos em forma de cones finos, com bases alagadas no tronco. É uma espécie dióica, sendo assim, deve-se cultivar todas as suas formas, macho e fêmea, se necessário.

A espécie confirma as características de uma espécie tipicamente secundária, pela qual necessita de aberturas no dossel para a entrada de radiação solar, tem rápido crescimento e curta longevidade (RUCHEL et al., 2015). A copa é grande e arredondada, apresentando folhagem não muito densa na cor verde clara, sua ocorrência pode ser observada em altitudes de até 1700 m, sendo registrada sua presença até no Sul do México, essa espécie prefere áreas abertas, ensolaradas, abundante em estágios sucessionais secundárias e clareiras para rápida regeneração natural.

Sua madeira possui cerne na cor castanho-acinzentado, alburno amarelo e quando cortado, escurece devido a exposição. Possui também, quando fresca, a madeira ligeiramente perfumada, além de ser fácil de cortar e dividir.

Para Ruschel et al., (2015), a espécie *Z. ekmanii* é muito promissora no quesito potencial madeireiro. Em um estudo realizado por esse mesmo autor, foi constatado que tal espécie apresenta características favoráveis para o plantio comercial e silvicultura em clareiras, devido ao seu crescimento rápido em comparação com outras espécies florestais, e também pela pequena taxa de mortalidade. Porém, para essa espécie se perpetuar na floresta, é necessária a criação de clareiras naturais ou artificiais.

4 METODOLOGIA

4.1 Coleta do material e confecção dos corpos-de-prova

O material foi coletado em uma Floresta Ombrófila Densa de terra firme com 535 ha, localizada na Fazenda Shet, propriedade do Grupo Arboris que está situada no município de Dom Eliseu na região sudeste do Estado do Pará (04° 17' 06" S e 47° 30' 18" O). Para este estudo foram coletadas 5 árvores de *Z. ekmanii*, de onde foram retirados discos do DAP para execução do experimento, posteriormente foram confeccionados 20 corpos-de-prova (4 para cada árvore) com dimensões de 2 cm x 3 cm x 5 cm, conforme procedimentos da NBR 7190 (ABNT, 1997), que foram destinados para a análise antes dos tratamentos e serviram como testemunhas. Para a realização dos termotratamentos duas temperaturas foram escolhidas (140 °C e 200

°C), devido apresentarem maior variação, com tempo de 5 horas para cada temperatura, foram selecionadas 2 árvores e confeccionados 6 corpos de prova por árvore, totalizando 12 corpos-de-prova.

4.2 Análise química

A análise química, foi realizada antes e após a termorretificação, os corpos-de-prova foram primeiramente triturados e peneirados num jogo de peneiras, onde foram utilizados os materiais que passaram pela peneira de 40 mesh e ficaram retidos na de 60 mesh. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e conduzidas para o Laboratório de Engenharia Florestal da Universidade do Estado do Pará, onde permaneceram até a estabilização de sua massa, para posterior obtenção da porcentagem de umidade absolutamente seca (% AS) da mesma.

A partir dessas amostras, foi realizada a quantificação de acordo com as normas da ABNT para extrativos totais (NBR 14853/2010), para lignina insolúvel (NBR 7989/2010), e minerais (NBR 13999/2003). A determinação do teor de holocelulose foi realizada pela diferença entre extrativos, lignina insolúvel e minerais.

4.2 Tratamentos de Termorretificação

Para o tratamento térmico, foram utilizados 2 tratamentos (140 °C e 200 °C) com tempo de residência de 5 horas em cada temperatura. Para esta atividade, foi utilizado equipamento tipo estufa com circulação de ar adaptada para esta função, de modo que atinja a temperatura máxima para cada tratamento.

4.3 Análise Estatística

Os dados das propriedades da madeira foram tabulados no software Microsoft Excel 2016 para obtenção dos valores referentes a estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição química da madeira de *Zanthoxylum ekmanii*

Os resultados decorrentes da composição química da madeira de limãozinho (*Zanthoxylum ekmanii*), estão apresentados na tabela 1. A média geral de extrativos encontrada para a espécie foi de 6,92%, de lignina insolúvel 25,83%, para minerais 0,54% e holocelulose 66,69%.

Tabela 1 - Composição química da madeira de *Zanthoxylum ekmanii*

Árvore	Composição química (%)				
		Extrativos	Lignina	Minerais	Holocelulose*
1	Média	7,19	24,56	0,64	67,60
	DP	0,51	1,48	0,08	1,04
	CV	7,16	6,04	13,25	1,54
2	Média	7,24	26,47	0,54	65,72
	DP	0,55	0,76	0,05	0,79
	CV	7,68	2,89	10,90	1,21
3	Média	6,27	26,14	0,45	67,13
	DP	0,78	0,93	0,04	1,00
	CV	12,57	3,57	10,54	1,49
4	Média	6,66	24,76	0,55	68,01
	DP	0,84	1,08	0,11	1,31
	CV	12,74	4,36	20,76	1,93
5	Média	7,23	27,23	0,50	65,01
	DP	0,87	1,14	0,05	1,07
	CV	12,05	4,19	10,04	1,65
	Média Geral	6,92	25,83	0,54	66,69

* Valores obtidos por diferença; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

O valor médio para o teor de extrativos totais variou entre 6,27% e 7,24% para as cinco árvores. Medeiros et al. (2016) encontraram para a madeira de *Eucalyptus urograndis* cultivadas no sul do Estado do Piauí, valor médio de 6,51% para extrativos totais. Para Medeiros et al. (2014), a presença de extrativos na madeira é um ponto importante quando se almeja produzir carvão vegetal, pois aumentam a densidade da madeira, e favorecem a produção de um carvão mais denso.

Para lignina insolúvel, os valores variaram entre 24,56% e 27,23%. No mesmo trabalho de Medeiros et al. (2016), foram obtidos teores de lignina de 26,70% para o Eucalipto, valor médio entre o encontrado para o Limãozinho neste trabalho. Moutinho et al. (2011), ao estudarem espécies nativas da Amazônia, encontraram médias variando entre 23% e 29% de lignina.

Já para minerais o valor médio encontrado variou entre 0,45% e 0,64%. Segundo Medeiros et al. (2014); Moulin et al. (2015) teores de cinzas elevados na madeira podem provocar danos em fornalhas e em outros equipamentos utilizados para a produção de energia. Assim, menores teores de cinzas são mais indicados por exemplo para a produção de carvão vegetal, e polpa celulósica para produção de papel.

E para os valores de holocelulose houve variação entre 65,01% e 68,01%. Segundo Mokfienski et al. (2008) altos teores de holocelulose proporcionam alto rendimento na polpa celulósica para a produção de papel. Porém a presença de holocelulose em grandes quantidades quando se pretende produzir carvão vegetal é indesejável devido sua maior instabilidade térmica (COSTA et al., 2014; GANI & NARUSE, 2007).

5.2 Composição química da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* após tratamento térmico

Na tabela 2, estão os resultados da composição química da madeira de duas árvores de *Zanthoxylum ekmanii* após tratamento térmico, no período de 5 horas nas temperaturas de 140 °C e 200 °C.

Tabela 2 - Composição química da madeira termorretificada de *Zanthoxylum ekmanii* no tempo de 5 horas

Composição química (%)						
Árvore	Temp. (C°)		Extrativos	Lignina	Minerais	Holocelulose*
2	140	Média	7,66	27,00	0,40	64,92
		DP	0,42	0,71	0,02	0,48
		CV	5,52	2,66	5,34	0,74
	200	Média	8,41	28,50	0,57	62,50
		DP	0,62	0,58	0,03	0,93
		CV	7,44	2,04	5,81	1,50
5	140	Média	7,33	27,35	0,45	64,85
		DP	0,11	0,91	0,02	0,84
		CV	1,53	3,32	5,60	1,29
	200	Média	8,17	28,10	0,53	63,18
		DP	0,29	0,71	0,02	0,89
		CV	3,55	2,55	4,16	1,42
		Média Geral	7,89	27,74	0,49	63,86

* Valores obtidos por diferença; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

O teor de extrativos totais da madeira termorretificada variou entre 7,33% e 8,41%, mostrando que o aumento do mesmo entre temperaturas é em decorrência da formação de subprodutos derivados da degradação das hemiceluloses e parte da lignina que se torna solúvel (STAMM, 1964; FENGEL; WEGENER; 1989; SUDQVIST, 2004; HAKKOU et al., 2006; ESTEVES et al., 2008; ESTEVES et al., 2011; MOHAREB et al., 2012). A degradação das hemiceluloses pode trazer benefícios às propriedades da madeira, como o aumento da estabilidade dimensional, isso ocorre devido sua estrutura ser formada por grupos hidroxílicos, que em menores quantidades diminuem a higroscopicidade da madeira, promovendo menores contrações e inchamentos.

Zanuncio et al. (2014), encontraram em seu estudo com madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a termorretificação na temperatura de 200 °C no tempo de 5 horas, teor de extrativos de 6,78% com menor valor das temperaturas menores e aumento desse valor nas maiores temperaturas, como demonstrado neste trabalho. O trabalho de Čabalová et al. (2018) também apresentou dados semelhantes, em relação a

composição química do carvalho (*Quercus robur L.*), encontraram na temperatura de 200 °C teor de extrativos de 10,63%, mostrando que com o aumento da temperatura os teores de extrativos e lignina aumentam consideravelmente.

É perceptível a mudança na coloração da madeira na temperatura de 200 °C em relação a temperatura de 140 °C, isso ocorre devido à volatilização dos extrativos polares (MÉSZÁROS et al., 2007; MOURA; BRITO, 2011), conforme demonstrado na Figura 2.



Figura 2 – Corpos-de-prova termorretificados: (A) Pós tratamento térmico na temperatura de 140 °C; (B) Pós tratamento térmico na temperatura de 200 °C.

A termorretificação provocou aumento no teor de lignina entre as temperaturas (Árvore 2, 140°: 27% / Árvore 2, 200°: 28,50% / Árvore 5, 140°: 27,35% / Árvore 5, 200°: 28,10%) e em relação à testemunha (Árvore 2: 26,47% / Árvore 5: 27,23%). Este aumento não indica a formação desse polímero durante o tratamento térmico, mas a degradação de outros componentes químicos da madeira, como os extrativos e hemiceluloses (PONCSÁK et al., 2006; SEVERO et al., 2012), sendo possível notar que as ligninas são mais resistentes à degradação térmica (YILDIZ et al., 2006; TUMEN et al., 2010).

No trabalho de Zanuncio et al. (2014) com *Eucalyptus grandis*, o teor de lignina também aumentou entre temperaturas, o valor médio da testemunha foi de 25,36% enquanto que para a temperatura de 200 °C apresentou valor de 27,68%. Conforme

outro autor Silva (2012), o teor de lignina foi de 28,7% na testemunha para 30,8% na temperatura de 200 °C, na madeira termorretificadas de *Pinus taeda*.

Para teor de cinzas, a média do tratamento de 140 °C (0,40% e 0,45%) apresentou valor inferior em relação a testemunha (0,54% e 0,50%), apenas a média do tratamento de 200 °C (0,57% e 0,53%) foi superior à testemunha, indicando que o processo de modificação térmica possui pouco efeito na fração inorgânica da madeira.

Acredita-se que não tenha ocorrido perda de massa da fração inorgânica com as temperaturas utilizadas, o que também é reforçado pelos resultados obtidos, pois a proporção da fração inorgânica no tratamento 200°C aumentou, decorrente da maior perda de massa da fração orgânica pela ação do calor.

Segundo Silva (2012), encontrou para *E. citriodora* maior teor de cinzas para o eucalipto na temperatura de 240 °C, com 0,47% aumento em comparação à testemunha 0,31%.

A diminuição do teor de holocelulose entre os tratamentos (140 °C: 64,92% e 64,85% / 200 °C: 62,50% e 63,18%) foi atribuída basicamente à perda de massa de hemiceluloses, que são os primeiros constituintes da parede celular a degradarem-se frente à ação térmica (STAMM 1964; FENGEL; WEGENER, 1989; WEILAND; GUYONNET, 2003; SUNDQVIST, 2004; MBURU et al., 2007; PINHEIRO et al. 2008), devido apresentar muitos grupos hidroxílicos, sua degradação diminui o teor de oxigênio.

Outros autores encontraram resultados semelhantes, Severo et al. (2012) observaram alteração no teor de holocelulose de 67,6 para 65,27% em *Pinus elliottii* termorretificado a 200 °C por 4 h. Brito et al. (2008) encontraram alteração de 67,9 para 62,17% no teor de holocelulose para *Eucalyptus grandis* a 200 °C.

De maneira geral a composição química avaliada neste trabalho está em conformidade com os autores Esteves et al. (2008); Mohareb et al. (2012) e Zanuncio et al. (2014) que em seus estudos concluíram que a madeira modificada termicamente possui maiores teores de extrativos, maiores teores de lignina e menores valores de polissacarídeos do que o material de origem.

6 CONCLUSÃO

Nota-se o efeito da termorretificação nas propriedades químicas da madeira de Limãozinho, resultando em maiores teores de ligninas, extrativos e menores teores de holocelulose;

É notável menor efeito nas propriedades químicas na temperatura de 140 °C e maior na temperatura de 200 °C;

O teor de cinzas sofreu um leve aumento com a elevação da temperatura no tratamento térmico, devido à perda de substâncias extratáveis;

Essas alterações químicas devidas à termorretificação podem melhorar as algumas propriedades madeira, promovem alterações na cor podem ampliar suas possibilidades de mercado, além de aprimorar a durabilidade biológica, o poder energético, higroscopicidade e a resistência mecânica as quais estão associadas à qualidade e a proporção dos componentes estruturais da madeira.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeiras. São Paulo: ABNT, p. 107, 1997.

_____. **NBR 13999**: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

_____. **NBR 14853**: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010. 3 p.

_____. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010. 6 p.

ARAÚJO, S. O. et al. Propriedades de madeiras termorretificadas de *Eucalyptus grandis* e sp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 327-336, 2012.

BAL, B.C.; BEKTAS, I. The effects of heat treatment on physical properties of juvenile wood and mature wood of *Eucalyptus grandis*. **Bioresources**, v. 7, n. 4, p. 5117-5127, 2012.

BARCÍK, Š.; GAŠPARÍK, M.; RAZUMOV, E. "Effect of temperature on the color changes of wood during thermal modification," **Cell. Chem. Technol.** 49(9-10), 789-798, 2015.

BATISTA, D. C.; NISGOSKI, S.; OLIVEIRA, J. T. S. O.; MUÑIZ, G. I. B.; PAES, J. B. Resistance of thermally modified *Eucalyptus Grandis* w. Hill ex maiden wood to deterioration by dry-wood termites (*Cryptotermes* sp.). **Ciência Florestal**, v. 26 n. 2, Santa Maria, 2016.

BELLON, K. R. R. et al. The effect of the thermal modification temperature in the resistance to the parallel compression of fiber for *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda* and *Tectona grandis* wood. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, West Jordan, v. 8, n. 18, p. 512-520, 2014.

BOONSTRA, M. J. et al. Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects. **Wood Science and Technology**, Munchen, v.41, n.1, p.31-57, 2007.

BREBU, M.; VASILE, C. "Thermal degradation of lignin - A review, " **Cell. Chem. Technol.** 44(9), 353-363, 2010.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 1 densidade e teor de lignina na madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba (14)9-20, 1977.

BRITO, J. O.; SILVA, F. G.; LEÃO, M. M.; ALMEIDA, G. "Chemical composition changes in Eucalyptus and Pinus woods submitted to heat treatment, " **Bioresource Technology**. 99(18), 8545-8548, 2008.

BROSSE, N. et al. Investigation of the chemical modifications of beech wood lignin during heat treatment. **Polymer Degradation and Stability**, Aubière, v. 95, n. 9, p. 1721-1726, 2010.

BROSSE, N.; EL HAGE, H.; CHAOUCH, M.; PÉTRISSANS, M.; DUMARÇAY, S.; GÉRARDIN, P. "Investigation of the chemical modifications of beech wood lignin during heat treatment, " **Polym. Degrad. Stabil.** 95(9),1721-1726, 2010.

BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, v. 2, p. 643, 1952.

ČABALOVÁ, I.; KAČÍK, F.; TRIBULOVÁ, T. "The effects of heat treatment on the chemical alterations of oak wood," **Key Eng. Mat.** v.688, p.44-49, 2016. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.688.44

ČABALOVÁ, I.; KAČÍK, F.; LAGAÑA, R.; VÝBOHOVÁ, E.; BUBENÍKOVÁ, T.; ČAŇOVÁ, I.; ĎURKOVIČ, J. Effect of Thermal Treatment on the Chemical, Physical, and Mechanical Properties of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) Wood. **BioResources** 13(1), 157-170, 2018.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T D.; FURTADO, E. L. Decay resistance of thermally-modified *Eucalyptus grandis* wood at 140 °C, 160 °C, 180 °C, 200 °C and 220 °C. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 9391-9394, 2010.

COSTA, T. G.; BIANCHI, M.L.; PROTÁSIO, T.B.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. Jr. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, 20(1): 37-46, 2014. DOI: 10.1590/S0104-77602014000100005.

ESTEVES, B. et al. Extractive composition and summative analysis of thermally treated eucalypt wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 62, n. 3, p. 344-351, 2008.

ESTEVES, B.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **Bioresources**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.

ESTEVES, B.; VIDEIRA, R.; PEREIRA, H. "Chemistry and ecotoxicity of heattreated pine wood extractives. " **Wood Science and Technology**. 45(4), 661-676, 2011.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. New York: Walter De Gruyter, 1989.

GANI, A.; NARUSE, I. Efeito do conteúdo de celulose e lignina sobre as características de pirólise e de combustão para diversos tipos de biomassa. **Renewable Energy**, 32(4):649-661, 2007. DOI: 10.1016/j.renene.2006.02.017.

GARCIA, R. A. et al. Nondestructive evaluation of heattreated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. **Wood Science and Technology**, New York, v. 46, p. 41-52, 2012.

GONZÁLEZ-PEÑA, M. M.; CURLING, S. F.; HALE, M. D. C. On the effect of heat on the chemical composition and dimensions of thermally-modified wood. **Polymer Degradation and Stability**, Aubière, v. 94, n. 12, p. 2184-2193, 2009.

HAKKOU, M., PÉTRISSANS, M.; GÉRARDIN, P.; ZOULALIAN, A. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. **Polymer Degradation and Stability**, Amsterdam, v. 91, n. 2, p. 393-397, 2006.

HILL, C. A. S. **Wood modification**: chemical, thermal and other processes. West Sussex: John Wiley & Sons, 2006.

HOMAN, W.; TJEERDSMA, B.; BECKERS, E.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2000. British Columbia, Canada. **Proceedings...** British Columbia, Canadá, 2000, 8p.

IBACH, R. E. Specialty treatments. In: **Wood handbook**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

KAČÍK, F.; LUPTÁKOVÁ, J.; ŠMÍRA, P.; NASSWETTROVÁ, A.; KAČÍKOVÁ, D.; VACEK, V. "Chemical alterations of pine wood lignin during heat sterilization," **BioResources** 11(2), 3442-3452, 2016. DOI: 10.15376/biores.11.2.3442-3452

KAČÍK, F.; LUPTÁKOVÁ, J.; ŠMÍRA, P.; EŠTOKOVÁ, A.; KAČÍKOVÁ, D.; NASSWETTROVÁ, A.; BUBENÍKOVÁ, T. "Thermal analysis of heat-treated silver fir wood and larval frass," **J. Therm. Anal. Calorim.**, 1-8, 2017. DOI: 10.1007/s10973-017-6463-5

KAČÍKOVÁ, D. et al. Effects of thermal treatment on chemical, mechanical and colour traits in Norway spruce wood. **Bioresource Technology**, Mohali, v. 144, p. 669-674, 2013.

KAMDEM, D. P.; PIZZI, A.; JERMANNAUD, A. Durability of heat-treated wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, München, v. 60, n. 1, p. 1-6, 2002.

KORKUT, S. Performance of three thermally treated tropical wood species commonly used in Turkey. **Industrial Crops and Products**, v. 36, n. 1, p. 355-362, 2012.

KORKUT, S.; BEKTAS, I. The effects of heat treatment on physical properties of Uludag fir (*Abies bornmuelleriana* mattf.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 58, n. 3, p. 95-99, 2008.

LOPES J. O.; GARCIA R. A.; NASCIMENTO A. M.; LATORRACA J. V. F. Uniformização da cor da madeira jovem de teca pela termorretificação. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 38, n. 3, p. 561-568, 2014a.

_____. Alteração da cor da madeira de teca por tratamento térmico. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 21, n. 4, p. 521-534, 2014b.

MAJANO, A.M.; HUGHES M., CABO, J.L.F. The fracture toughness and properties of thermally modified *beech* and ash at different moisture contents. **Wood Science Technology**, n. 46, p. 5-21, 2012.

MBURU, F.; DUMARÇAY, S.; HUBER, F.; PÉTRISSANS, M.; GÉRARDIN, P. Evaluation of thermally modified *Grevillea robusta* heartwood as an alternative to shortage of wood resource in Kenya: characterization of physicochemical properties and improvement of bio-resistance. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 98, n. 18, p. 3478-3486, 2007.

MEDEIROS et al. Avaliação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* cultivadas no Piauí. **Nativa**, Sinop, v.4, n.6, p.403-407, 2016. DOI: 10.14583/2318-7670.v04n06a10

MEDEIROS, P. N.; OLIVEIRA, L.; PAES, J.B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas Espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, 21(4): 484-493, 2014. DOI: dx.doi.org/10.1590/2179-8087.051313

MELO, M.F.F.; ZICKEL, C. Os gêneros *Zanthoxylum* L. e *Esenbeckia* Kunth (Rutaceae) no estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, p. 73-90, 2004.

MÉSZÁROS, E.; JAKAB, E.; VÁRHEGYI, G. TG/ MS, Py-GC/MS and THM-GC/MS study of the composition and thermal behavior of extractive components of *Robinia pseudoacacia*. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.79, n.1, p.61-70, 2007.

MILITZ, H.; TJEERDSMA, B. Heat treatment of wood by the PLATO-process. In: RAPP, A.O. Review on heat treatments of wood. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes, France. **Proceedings...** Antibes, France: COST ACTION E 22, p. 27-38, 2001.

MISSIO, A. L.; MATTOS, B. D.; CADEMARTORI, P. H. G.; PERTUZZATTI, A.; CONTE, B.; GATTO, D. A. Thermochemical and physical properties of two fast-growing eucalypt woods subjected to two-step freeze-heat treatments. **Thermochimica Acta**, v. 615, p. 15-22, 2015.

MODES, K. S.; SANTINI, E. J.; VIVIAN, M. A.; HASELEIN, C. R. Efeito da termorreificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 291-302, 2017.

MOHAREB, A.; SIRMAH, P.; PÉTRISSANS, M.; GÉRARDIN, P. Effect of heat treatment intensity on wood chemical composition and decay durability of *Pinus patula*. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 70, n. 4, p. 519-524, 2012.

MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 401-403, 2008. DOI: doi.org/10.5902/19805098451

MOULIN, J. C.; ARANTES, M. D. C.; VIDAURRE, G. B.; PAES, J. B.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito do espaçamento, da idade e da irrigação nos componentes químicos da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 199-208, 2015.

MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Effect of Thermal Treatment on Machining Properties of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribea* var. *hondurensis* Wood. In: **International Convention of Society of Wood Science Technology**, 51st, 2008, Chile. Anais... Chile, 2008.

_____. Efeito da termorreificação sobre as propriedades colorimétricas das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, v.39, n.89, p.69-76, 2011.

MOUTINHO, V. H. P.; LIMA, J.T.; AGUIAR, O.J.R.; COUTO, A. M.; NOGUEIRA, M. O. G. Energetic characterization of Wood species known in brasilian rainforest as matá-matá (*Eschweilera* Mart Ex Dc). **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 39, p. 457/8-461, 2011.

MORAIS, S. A. L. et al. Análise da madeira de *Pinus oocarpa*. Parte I - Estudos dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

NEJAD, M.; SHAFAGHI, R.; ALI, H.; COOPER, P. Coating performance on oil-heat treated wood for flooring. **BioResources**, v. 8, n. 2, p. 1881-1892, 2013.

NUNES, C. S.; NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; LELIS, R. C. C. Qualidade de adesão das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* tratadas termicamente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 41-56, 2016. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n109.04](https://doi.org/10.18671/scifor.v44n109.04)

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 3ed. New York: Mc Graw-Hill, 1970, 705p.

PESSOA, A. M. C.; FILHO, E. B.; BRITO, J. O. Avaliação da madeira termorreificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 72, p. 11-16, 2006.

PETTERSEN, R.C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R.(ed). **The chemistry of solid wood**. Washington, American Chemical Society, p. 54-126, 1984.

PINHEIRO, P. C. C.; SAMPAIO, R. S.; REZENDE, M. E. A. **A produção de carvão vegetal**: teoria e prática. 2. ed. Belo Horizonte, 2008.

PIRANI, J. R. **Flora da reserva Ducke, Amazonas, Brasil: Rutaceae**. Rodriguésia, Rio de Janeiro, v. 56, n. 86, p. 189-204, 2005.

PONCSÁK, S. et al. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science and Technology**, New York, v. 40, n. 1, p. 647-663, 2006.

POPESCU, M. C.; FROIDEVAUX, J.; NAVI, P.; POPESCU, C. M. "Structural modifications of *Tilia cordata* wood during heat treatment investigated by FT-IR and 2D IR correlation spectroscopy, " **J. Mol. Struct.** 1033, 176-186, 2013. DOI: 10.1016/j.molstruc.2012.08.035

RATNASINGAM, J.; IORAS, F. Effect of heat treatment on the machining and other properties of rubberwood. **European Journal of Wood Production**, v. 70, n. 5, p. 759-761, 2012.

REITZ, P. R.; COWAN, R. S.; SMITH, L. B.; KLEIN, R. M. **Flora ilustrada catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, p. 3-12, 1973.

ROUSSET, P.; PERRE, P.; GIRARD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by thermal treatment at high temperature. **Holz als Rohund Werkstoff**, 62(2): 113-119, 2004. DOI: dx.doi.org/10.1007/s00107-003-0459-5

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J.S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. **Cell Wall Chemistry**. Cap. 03 do livro Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Editado por Roger M. Rowell. Editora Taylor & Francis Group. New York, 2005.

RUSCHEL, A. R.; BARBOSA, L. M.; VIEIRA, S. B.; SIVIERO, M. A.; SANTO, J. K. M. E; SANTOS, J. C. ***Zanthoxylum ekmanii* espécie florestal promissora: Estudo de caso em uma Floresta Explorada, no município de Dom Eliseu, Pará**, 2015.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A. Physical and chemical changes in juvenile and mature woods of *Pinus elliottii* var. *elliottii* by thermal modification. **European Journal of Wood Production**, v.70, n.5, p.741-747, 2012.

_____. Composição Química da Madeira de *Eucalyptus citriodora* em Função das Direções Estruturais. **Silva Lusitana** 14(1): p. 113 – 126, ed. ENF, Lisboa - Portugal, 2010.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito do tratamento de vaporização em toras e madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* sobre a flexão estática. **Revista Floresta**, v. 29, n. 3, p. 37-51, 2003.

SILVA, M. R. Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de *Eucalipto citriodora* e *Pinus Taeda*, Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo, 2012.

SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; BRITO, J. O.; JUNIOR, C. C. Strength and stiffness of thermally rectified eucalyptus wood under compression. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 5, 2013.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APGII. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, p. 422-485, 2008.

SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in wood during heating**. Division of Wood Material Science, Luleå University of Technology, Skellefteå, p.50, ISSN 1402-1544, 2004.

SUNDQVIST, B.; KARLSSON, O.; WESTERMARK, U. Determination of formic-acid and acetic acid concentrations formed during hydrothermal treatment of birch wood and its relation to colour, strength and hardness. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 40, n. 7, p. 549-561, 2006.

STAMM, J. A. **Wood and cellulose science**. New York, The Ronald Press, 1964. 549p.

TOLVAJ, L.; PERSZE, L.; LANG, E. "Correlation between hue angle and lightness of wood species grown in Hungary, " **Wood Research** 58(1), 141-145, 2013.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991.

TUMEN, I.; AYDEMIR, D.; GUNDUZ, G.; UNER, B.; CETIN, H. "Changes in the chemical structure of thermally treated wood, " **BioResources** 5(3), 1936-1944, 2010.

VERNOIS, M. Heat treatment of wood in France: state of the art. In: RAPP, A.O. Review on heat treatments of wood. In SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes, France. **Proceedings...** Antibes, France: COST ACTION E 22, p. 39-46, 2001.

WANG, W.; ZHU, Y.; CAO, J.; KAMDEM, P. D. "Monitoring electrical properties of thermally modified wood as a possible tool for quality assessment, " **Holzforschung** 70(4), 351-359, 2016. DOI: 10.1515/hf-2014-0366

WEILAND, J. J.; GUYONNET, R. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 61, n. 3, p. 216-220, 2003.

YILDIZ, S.; GEZER, E. D.; YILDIZ, U. C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. **Building and Environment**, West Lafayette, v. 41, n. 12, p. 1762-1766, 2006.

ZANUNCIO, A. J. V.; NOBRE, J. R. C.; MOTTA, J. P.; TRUGILHO, P. F. Química e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden termorretificada. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.4, p.765-770, 2014.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. v. **Wood variation**: its causes and control. New York: Springer-Verlag, 1989. 363 p.



Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal
Rua PA 125, s/n – Angelim.
68625-000 Paragominas - PA
www.uepa.br

