

BRUNA DUQUE GUIRARDI

**EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE
DEBASTE DE *Tectona grandis* L.f**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho

Coorientadoras: Angélica de Cassia Oliveira Carneiro
Thaís Pereira Freitas

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G965e
2020
Guirardi, Bruna Duque, 1993-
Efeito da termorretificação nas propriedades da madeira de
desbaste de *Tectona grandis* L.f / Bruna Duque Guirardi. –
Viçosa, MG, 2020.
53 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.44-51.

1. Tratamento térmico. 2. Termogravimetria. 3. Idade das
árvores. 4. Colorimetria. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22. ed. 634.984

BRUNA DUQUE GUIRARDI

**EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA
DE DEBASTE DE *Tectona grandis* L.f**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 05 de fevereiro de 2020.

Assentimento:



Bruna Duque Guirardi
Autora



Ana Márcia M. L. Carvalho
Orientadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e saúde para chegar até aqui e por toda a iluminação e proteção para alcançar esta conquista!

A toda a minha família pelo amor e incentivo para realização dos meus sonhos, em especial aos meus pais Anderson Luis e Marlene e irmãos Bianca e George Luis. Aos meus avós Alceu João, Regina Maria, Aparecida (*in memoriam*) e Antônio (*in memoriam*) e tios e primos por toda torcida e carinho.

Ao meu colega de profissão e namorado Gustavo pelo carinho, amor, incentivo e apoio. Agradeço também toda sua família pelo carinho e amizade.

À minha orientadora, Ana Márcia M. L. Carvalho, pelo apoio, orientação, confiança e oportunidade de realizar o mestrado.

Às minhas coorientadoras Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Thaís Pereira Freitas, por todo apoio, dedicação e auxílio para realização desta dissertação.

Aos professores Benedito Rocha Vital, Marcos Oliveira de Paula e Vinicius Resende de Castro, pela disposição e dúvidas sanadas para realização da pesquisa.

À professora Adriana de Fátima Gomes Gouvêa, por todos ensinamentos durante a graduação, pelo incentivo e ajuda para realização do mestrado.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) e do Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira (LPM), que sempre estavam dispostos a ajudar na realização desta pesquisa, por todo apoio e incentivo.

Aos colegas e amigos da pós-graduação do departamento de Engenharia florestal, por toda amizade e auxílio durante esse período do mestrado.

Aos membros da banca, que aceitaram o convite de compor a banca.

A empresa Guavirá Industrial e Agroflorestal Ltda pela doação das madeiras de teca.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da Bolsa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF), por todo o auxílio e conhecimento transmitido.

E finalmente, agradeço a todos que me ajudaram direta ou indiretamente durante o desenvolvimento desta importante etapa de minha vida. Um MUITO OBRIGADA a todos!

RESUMO

GUIRARDI, Bruna Duque, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Efeito da termorreificação nas propriedades da madeira de desbaste de *Tectona grandis* L.f.** Orientadora: Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho. Coorientadoras: Angélica de Cassia Oliveira Carneiro e Thaís Pereira Freitas.

As plantações florestais com rotação de colheita mais curta, somadas à utilização de árvores oriundas de desbastes, compõem uma alternativa sustentável para suprir a demanda nacional de madeira e reduzir a pressão exploratória sobre as florestas nativas. No entanto, a qualidade dessas madeiras é considerada inferior, o que requer a aplicação de pré-tratamentos visando melhorar suas propriedades, principalmente para os setores de construção. A termorreificação é uma das técnicas de grande potencial para esse fim e que já vem sendo utilizada na escala industrial em alguns países europeus. Este tratamento térmico consiste no aquecimento controlado das madeiras em temperaturas entre 120 e 200 °C. As principais modificações ocorrem em sua composição química, as quais, conseqüentemente, interferem nas propriedades físicas, como a umidade de equilíbrio higroscópico e a estabilidade dimensional. O objetivo deste estudo foi avaliar a termorreificação de madeiras de *Tectona grandis* (teca) oriundas de plantações de 6, 8 e 18 anos de idade. As amostras foram submetidas ao tratamento a 160 °C em atmosfera de N₂ por três horas. Foram determinadas a composição química estrutural, caracterização anatômica, propriedades físicas-mecânicas, análise termogravimétrica e calorimetria das amostras *in natura* e termorreificadas. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial 2 x 3, tendo como fontes de variação a madeira *in natura* e termorreificada e as idades de 6, 8 e 18 anos. De maneira geral, a termorreificação influenciou positivamente à umidade de equilíbrio higroscópico e à resistência à compressão paralela às fibras, nas idades estudadas. Houve redução no teor de extrativos totais, sem modificações nos teores de lignina e holoceluloses. Os menores valores de umidade foram observados na árvore de 18 anos, tanto nas condições *in natura* quanto nas tratadas. Entre as idades estudadas, as amostras de 18 anos apresentaram a maior densidade básica e dureza Janka, para as duas condições, destacando-se das demais. Após o tratamento térmico houve um escurecimento da madeira em todas as idades.

Palavras-chave: Idade. Tratamento térmico. Termogravimetria. Calorimetria.

ABSTRACT

GUIRARDI, Bruna Duque, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2020. **Effect of heat treatment on the properties of *Tectona grandis* L.f.** Adviser: Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho. Co-advisers: Angélica de Cassia Oliveira Carneiro and Thaís Pereira Freitas.

Forestry plantations with shorter harvest rotation, in addition to use trees from thinning management, compound a sustainable alternative to supply the national demand for wood and to reduce the exploration pressure on native forests. However, the quality of those wood species is considered inferior, which requires the application of pretreatments to improve their properties, especially for the construction sectors. Thermorectification is one of these techniques that has great potential for that purpose and has already been using on industrial scale in some European countries. The thermal treatment consists in a controlled heating of wood boards at temperatures between 120 °C and 200 °C. The main modifications are in their chemical composition, which, consequently interfere in physical properties, such as equilibrium moisture content and dimensional stability. The aim of this study was to evaluate the thermorectification of *Tectona grandis* (teak) wood samples from 6, 8 and 18-years-old plantations. The samples were subjected to treatment at 160 °C in N₂-atmosphere for three hours. The structural chemical composition, anatomical characterization, physical-mechanical properties, thermogravimetric analysis and calorimetry of fresh and heat-treated samples were determined. The experiment was conducted in a completely randomized design with a 2 x 3 factorial arrangement, with natural and thermorectification treatment wood as sources of variation and ages 6, 8 and 18 years-old. In general, the thermorectification treatment had a positive influence on the equilibrium moisture content and the resistance to compression parallel to grain, at the studied ages. There was a reduction in the contents of total extractives, with no modifications in the contents of lignin and holocelluloses. Lower equilibrium moisture contents were observed for the 18-year-old trees, in both raw and treated conditions. Among the studied ages, the 18-year-old samples had the highest basic density and Janka hardness, for both conditions, standing out from the others. After the thermorectification treatment, the wood darkened at all ages.

Keywords: Age. Heat treatment. Termogravimetry. Calorimetry.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
3.1 <i>TECTONA GRANDIS</i> L.F	11
3.2 TERMORRETIFICAÇÃO.....	13
3.3 EFEITOS DA TERMORRETIFICAÇÃO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1 DESCRIÇÃO DO MATERIAL.....	19
4.2 TERMORRETIFICAÇÃO.....	20
4.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA ESTRUTURAL.....	21
4.4 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA.....	21
4.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.....	22
4.6 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA.....	23
4.7 ANÁLISE COLORIMÉTRICA.....	23
4.8 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA ESTRUTURAL.....	24
5.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA.....	25
5.3 PROPRIEDADES FÍSICAS.....	28
5.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	33
5.5 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA.....	35

5.6 ANÁLISE COLORIMÉTRICA.....	40
6. CONCLUSÕES.....	43
7. REFERÊNCIAS.....	44
8. APÊNDICE.....	52

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma crescente demanda pela utilização de produtos inovadores, os quais sejam produzidos e consumidos de forma responsável, incorporando em toda sua cadeia produtiva o conceito de sustentabilidade, sendo assim ambientalmente correto, economicamente viável e socialmente justo.

A madeira é um material renovável, produto direto do lenho das árvores e arbustos lenhosos, encontrada em várias partes do mundo, tanto em florestas naturais quanto em áreas reflorestadas. Apesar de outros materiais, dentre eles o aço e o concreto, terem sido descobertos e competirem com a madeira, em muitas aplicações, ela continua sendo utilizada em larga escala. Essa utilização se dá pela sua abundância, por ser proveniente de fonte renovável, apresentar excelente resistência em função de sua massa e melhor trabalhabilidade, quando comparada a outros materiais (ZENID, 2007).

Nas indústrias de base florestal brasileiras utilizam-se, principalmente, madeiras de espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, para fins madeireiros. Entretanto, o reflorestamento com *Tectona grandis* L.F (teca) surge como uma boa alternativa de investimento, visto que esta espécie vem se destacando pela produtividade e qualidade de sua madeira, decorrente às suas excelentes propriedades físicas, alta durabilidade natural, estabilidade dimensional e qualidades estéticas. Essa madeira apresenta alta demanda para usos específicos, como a construção de embarcações, fabricação de móveis e objetos com maior valor agregado, assim como componentes decorativos para construção como acabamentos (FLÓREZ, 2012; LIMA et al., 2009).

Segundo Passos et al. (2006) o Brasil tem condições ambientais adequadas para o pleno desenvolvimento dessa espécie, podendo proporcionar taxas de crescimento superiores as dos plantios da maioria dos países produtores de teca. Atualmente, existem 93.957 ha de plantações de teca no Brasil, abrangendo, em sua maioria, os estados de Mato Grosso, Pará, Rondônia, Acre, Goiás e Minas Gerais (IBÁ, 2019).

De modo geral, há uma tendência de utilização das florestas plantadas em ciclos cada vez mais curtos, devido a tratos silviculturais adequados. Esses tratos proporcionam um rápido crescimento do povoamento, obtendo-se árvores de dimensões comerciais em menor tempo (FLÓREZ, 2012). Para o cultivo da teca é necessário a utilização da prática de desbaste, obtendo-se toras de idades mais jovens, as quais possuem maior proporção de madeira juvenil, quando comparada com madeira na idade técnica de corte. Em ambos os casos citados se obtém madeiras com propriedades, em geral, inferiores às da formada na fase adulta. Esta madeira

juvenil é caracterizada por maior ângulo microfibrilar, contração longitudinal e largura dos anéis de crescimento e menor densidade, resistência mecânica, comprimento de fibras e espessura de parede (LEONELLO et al., 2008).

No entanto, existem novas tecnologias para melhorar a qualidade e o uso destas madeiras, destacando-se a termorreificação, consolidada como uma alternativa para melhorar as características físicas, principalmente a umidade equilíbrio higroscópico e, conseqüentemente, a estabilidade dimensional. Além disso, a termorreificação confere à madeira maior resistência a microrganismos e a ações climáticas, quando comparada à mesma sem tratamento (MOURA et al., 2012).

Nesse contexto, considerando as pressões crescentes por demanda de madeira e melhor aproveitamento de remanescentes das práticas de manejo silvicultural, são necessários estudos sobre as características da madeira jovem de teca oriundas de desbastes, indicando usos mais nobres com maior valor agregado, como exemplo a utilização em pisos e acabamentos. Atrelado a este estudo, os tratamentos como a termorreificação, objetiva-se contribuir em melhorias nas propriedades das madeiras nas condições *in natura*, aumentando assim a gama de utilização para a espécie estudada.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as propriedades tecnológicas da madeira de *Tectona grandis* L.F oriundas de desbastes nas idades de 6, 8 e 18 anos, *in natura* e termorretificadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito da termorretificação e na composição química estrutural, características anatômicas, propriedades físicas-mecânicas e na análise colorimétrica.
- Avaliar o efeito das idades na composição química estrutural, características anatômicas, propriedades físicas-mecânicas e na análise colorimétrica.
- Avaliar o efeito da termorretificação na degradação térmica da madeira de *Tectona grandis* L.F.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Tectona grandis* L.F

A teca (*Tectona grandis* L.f) é uma espécie arbórea da família Verbenaceae. A área de ocorrência natural dessa espécie situa-se entre o subcontinente Índico e sudeste asiático, especialmente na Índia, Myanmar, Tailândia, Laos, Camboja, Vietnã e Java. Sua madeira é considerada uma das mais belas, com excelente qualidade em todos os aspectos, podendo ser utilizada para diversas finalidades. A madeira de teca é muito utilizada na construção naval, sendo adequada para todo o tipo de construções, em contato ou não com a água, bem como para interiores luxuosos e mobiliário de alto valor agregado (LAMPRECHT, 1990).

Essa espécie, vem sendo cultivada por cerca de 70 países tropicais, distribuídos na Ásia tropical, África, América Latina e Oceania, com uma área total de plantio aproximada entre 4,35 e 6,89 milhões de ha. Para a maioria desses países, apesar de ser uma espécie exótica, a teca representa uma boa oportunidade para produzir madeira de qualidade, sendo atrativa para a economia florestal e propícia para investimentos do setor privado (KOLLERT e KLEINE, 2017).

Na América Latina, a espécie é plantada desde a década de 1970, sendo introduzida no Brasil no estado do Mato Grosso em 1971. A espécie vem apresentando um elevado aumento em área plantada, decorrente aos altos preços de sua madeira no mercado mundial, às boas condições de crescimento em algumas regiões do país e à possibilidade de diminuir o ciclo de corte de 80 anos, como nas regiões de origem da espécie, para 20-25 anos (FLÓREZ, 2012). Para árvores de teca com crescimento rápido, a formação do cerne começa aos 4 a 6 anos (MOYA et al., 2014).

De maneira geral, a produtividade média, referente a plantios realizados em condições adequadas de cultivo, no ciclo recomendado para produção de madeira comercial, situa-se entre 10,0 a 15,0 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, alcançando produções de 250 a 350 m³.ha⁻¹ ao longo de 25 anos. São realizados quatro desbastes, sendo que de 50 a 60% da produção total é colhido no corte final, volume esse correspondente a valores entre 150 e 230 m³.ha⁻¹ (COSTA, 2011).

Segundo Silva et al. (2016), a teca atende aos principais critérios de seleção de espécies florestais para a produção de madeira de rápido crescimento. Os autores ainda sugerem que a escolha do espaçamento adequado fornece maior volume por área e fustes com qualidade desejável. Existem programas de reprodução, os quais estão em contínuos desenvolvimento em muitos países com o objetivo de melhorar a qualidade da madeira de florestas plantadas dessa

espécie. No entanto, a maior parte dos plantios ainda são estabelecidos com sementes e mudas provenientes de origem e qualidade incertas e, mais recentemente, com clones sendo produzidos em países como Brasil, Costa Rica, Costa do Marfim, Índia, Indonésia, Malásia, Tanzânia e Tailândia (KOLLERT e KLEINE, 2017).

A propagação seminal ocasiona a não semelhança entre as plantas com suas matrizes, formando plantios desuniformes em termos volumétricos e de qualidade da madeira. As desvantagens nesse tipo de propagação são a limitada quantidade de sementes produzidas por árvore, baixas taxas de germinação e variabilidade significativa nas características de um indivíduo para outro, mesmo quando são derivados da mesma árvore matriz (RAPOSO et al., 2010). Lemos et al. (2019) observaram uma irregularidade na produção de cerne do material seminal quando comparado com o via clonal de teca. Sendo assim as madeiras oriunda de via seminal possui uma maior variabilidade em suas propriedades tecnológicas.

A madeira de teca de florestas plantadas pode ser diferente daquela cultivada em seu ambiente natural, quando cultivadas em outros ambientes a mesma está sujeita a uma grande variabilidade, decorrente das condições de crescimento do local. As condições de rápido crescimento relacionadas ao local determinam a produção de madeira com anéis largos, maior proporção de alburno e com maior influência de madeira juvenil, quando comparadas a madeiras que crescem em seu ambiente nativo (CUCCUI et al., 2017).

Medeiros et al. (2017), afirmam que espécies com maior rotação, como a teca, necessitam de intervenções silviculturais periódicas, como o desbaste. A prática de desbaste é de grande relevância para obtenção de madeira com qualidade desejável. A ausência dessa prática silvicultural pode afetar negativamente o crescimento e a produção dos povoamentos de teca, independente do espaçamento inicial de plantio.

No plantio de teca são utilizados espaçamentos iniciais de 3,0 x 2,0 m ou 3,0 x 3,0 m, obtendo-se um total de 1.666 a 1.111 árvores. ha⁻¹, respectivamente, com quatro ciclos de desbastes e intensidades diferentes, destinando-se ao corte final uma média de 250 a 160 árvores. ha⁻¹. Observa-se que o volume de madeira retirada nos desbastes é elevado, o qual, na sua maioria, é descartado no campo, especialmente as madeiras de primeiro desbaste. O melhor aproveitamento e a geração de renda a partir desses remanescentes de madeira descartados no campo são um desafio aos produtores, dado que a teca é uma madeira de alto investimento e ótima aceitação no mercado internacional (ARRUDA et al., 2013). Há diversos estudos visando esse melhor aproveitamento das madeiras jovens e/ou oriundas de desbastes para diversos fins.

Paes et al. (2015) avaliaram a caracterização tecnológica da madeira juvenil de teca entre 6 e 7 anos de idade, visando à produção de móveis. Foi encontrada uma densidade básica média

de $0,45 \text{ g.cm}^{-3}$, contrações de 2,72, 6,17 e 9,84% (radial, tangencial e volumétrica) e coeficiente de anisotropia de 2,22, sendo classificada com média estabilidade dimensional. Os autores concluíram que esta madeira juvenil apresenta fácil usinagem, trabalhabilidade, colagem e acabamento, eles ainda afirmam que a mesma tem grande potencialidade para ser utilizada na indústria moveleira.

Figier et al. (2003) caracterizaram a madeira de teca proveniente da primeira intervenção de desbaste, com o objetivo de indicar uma melhor utilização dessa madeira. Os autores avaliaram as propriedades físicas e constataram que esta madeira se enquadra na classe de resistência C20, sendo assim, pode ser utilizada para estruturas leves, para a fabricação de móveis que permitam pequeno empenamento como mesas, cadeiras, estantes e ainda na forma de lâminas no revestimento de chapas de compensados e de chapas de sarrafeados.

Chargas et al. (2014) estudaram propriedades da madeira de teca de diferentes idades e oriundas de desbaste, nas idades de 4, 6 e 12 anos com a classe diamétrica entre 9 a 13 cm. Os autores concluíram que a massa específica, propriedades químicas e algumas propriedades anatômicas foram similares em todas as idades estudadas, logo, essas madeiras proporcionam uma matéria-prima com propriedades homogêneas, sendo interessantes para as operações da indústria e comércio florestal.

3.2 Termorreificação

Devido à preocupação com o meio ambiente, as indústrias vêm estudando e substituindo os métodos tradicionais e difundidos no mercado de tratamento de madeira por métodos ecologicamente menos impactantes. A modificação térmica da madeira é um dos métodos de tratamento, o qual pode ser considerado como não agressor ao meio ambiente, pois em seu processo industrial não são utilizados nenhum produto químico ou substância nociva, o que explica em partes, a maior procura no mercado por esses produtos (SANDAK et al., 2015).

Diferentes tipos de madeira podem ser tratados termicamente, sendo um dos objetivos do tratamento térmico a utilização de madeira com menor valor agregado, para melhorar suas propriedades e aumentar seu valor no mercado (AYTIN e KORKUT, 2015). Segundo Shukla e Sharma (2018), essa alternativa pode ser utilizada na melhoria nas propriedades da madeira de espécies oriundas de rápido crescimento, as quais são caracterizadas por certos problemas inerentes à qualidade da madeira, como presença de maior quantidade de alburno, menor resistência à deterioração, menor estabilidade dimensional e propriedades mecânicas inferiores.

A técnica de termorretificação ou retificação térmica consiste em submeter peças de madeira a temperaturas entre 120 a 200 °C, com objetivo de promover alterações químicas nos polímeros de celulose, hemiceluloses e ligninas e, assim, obter um material com características diferenciadas, comparativamente à madeira em condições normais (ARAÚJO et al., 2012; MODES et al., 2017). Segundo Hill (2006) essa modificação térmica da madeira é um processo ativo e é definido como a aplicação de calor à madeira com o objetivo de causar melhorias no desempenho do material. O processo é classificado como ativo porque o calor causa modificações nas propriedades químicas da madeira, resultando em mudanças em outras propriedades, como as físico-mecânicas.

O efeito da termorretificação nas propriedades da madeira varia em função de alguns fatores como espécie utilizada, temperatura final do processo, tempo de tratamento, velocidade de aquecimento, atmosfera circundante, uso de pressão e das propriedades iniciais da madeira.

As madeiras tratadas termicamente têm sido usadas para fins externos, como por exemplo, móveis de jardim e decks para terraços, áreas de spa ou piscinas e pisos, mas também são adequadas para uso interno, como móveis de cozinha, pisos, painéis decorativos e escadas. Essa gama de utilização é possível, pois a termorretificação diminui a umidade equilíbrio higroscópico, aumenta estabilidade dimensional, resistência à degradação por organismos xilófagos e a degradação por intempéries (ESTEVES e PEREIRA, 2009; HUANG et al., 2012; SANDBERG et al., 2017; TURKOGLU et al., 2015). Outro fator importante do processo de termorretificação é a mudança na coloração da madeira, escurecendo-a, característica que, normalmente, ocorre em espécies tropicais, tornando o produto final esteticamente mais desejável para o mercado.

A perda de massa da madeira durante a modificação térmica é um efeito típico do processo, conseqüentemente, pode ocorrer uma diminuição nas propriedades mecânicas da madeira, limitando assim a utilização de madeiras termorretificadas para fins estruturais, sendo esse efeito do processo de termorretificação dependente dos parâmetros utilizados no processo, como a temperatura, tempo de residência e atmosfera circundante e também das características iniciais da madeira utilizada.

Considerando os fatos citados, deve-se adequar e estudar as variáveis do processo, como tempo, temperatura e atmosfera circundante, juntamente com fatores relacionados à matéria prima, como espécie, madeira juvenil ou madura, relação cerne/alburno, visando melhorias em características desejáveis ao uso final com o mínimo possível de perda na resistência mecânica.

Durante essa última década, foram desenvolvidos vários métodos de tratamento de madeira objetivando-se promover melhorias no produto final, principalmente no mercado

européu, em países como França, Finlândia, Holanda e Alemanha, nos quais esse tipo de tratamento de madeira já é bem difundido (ALLEGRETTI et al. 2012; SURINI et al. 2012; YOUNSI et al. 2010). Entre os métodos desenvolvidos e patenteados de termorreificação, destacam-se o ThermoWood®, Plato®Wood, Processos Retification® e Processo Le Bois Perdure, sendo a diferença entre eles a condição em que a madeira é submetida, como temperatura, presença de oxigênio ou nitrogênio, entre outros.

No Brasil, o mercado de tratamento térmico da madeira ainda é pouco popularizado. No entanto, já existe uma empresa nessa área a TWBrazil, a qual utiliza o processo VAP HolzSysteme®. O tratamento consiste na aplicação de calor a elevadas temperaturas com vapor saturado, eliminando o oxigênio do processo (BATISTA et al., 2016b). A madeira oriunda desse tratamento é denominada TMT (Thermally Modified Timber), sendo utilizada a espécie teca, com fins para produção de moveis, revestimentos decorativos e artefatos de paisagismo.

O processo de modificação térmica VAP HolzSysteme® caracteriza-se como hidrotérmico, o qual é realizado em cinco fases. O primeiro consiste no aquecimento inicial da madeira, cuja duração depende da taxa de aquecimento ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) utilizada; em seguida, a temperatura é constante a 110 $^{\circ}\text{C}$ por 25 minutos, após o aquecimento inicial da primeira etapa, portanto, a taxa de aquecimento é nula. O terceiro passo é o aquecimento secundário, com duração variável, dependendo da taxa de aquecimento utilizada, e se estende até o equipamento atingir a temperatura máxima pré-estabelecida. No quarto passo ocorre a modificação térmica com temperatura constante, correspondente à temperatura máxima pré-estabelecida para o processo; e por fim, ocorre o resfriamento natural após a fase quatro, onde a madeira permanece no interior do equipamento (BATISTA, 2012).

3.3 Efeitos da termorreificação nas propriedades da madeira

A modificação térmica influencia em várias propriedades da madeira, como a anatômica, física, mecânica e química, sendo a última a que mais exerce influência nas outras propriedades, como a higroscopicidade e estabilidade dimensional da madeira. Os compostos químicos da madeira são modificados termicamente por meio da degradação dos extrativos presentes na madeira e dos constituintes da parede celular (ESTEVEZ e PEREIRA, 2009).

A modificação das características da madeira envolve efeitos que promovem mudanças irreversíveis na estrutura e composição química da madeira. Estas alterações podem resultar, por exemplo, na remoção de hemiceluloses, deslignificação, alteração do índice de

cristalinidade da celulose ou redução do grau de polimerização da celulose e lignina (PELAEZ-SAMANIEGO et al., 2013).

Os extrativos são compostos químicos orgânicos formados a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, resinas, ceras e alguns outros tipos de compostos orgânicos. Estes compostos existem na forma de monômeros, dímeros e polímeros. Os extrativos são encontrados em maior quantidade no cerne, os quais atribuem na madeira cheiro, cor, durabilidade, diminuição da permeabilidade e higroscopicidade (WINANDY e ROWELL, 2005). Segundo Mészáros et al. (2007) o efeito térmico reduz o teor de extrativos, decorrente á volatilização dos extrativos polares, os quais são maioria nas espécies de folhosas, esses extrativos se decompõem em faixas de temperaturas entre 130 e 250 ° C.

Segundo Esteves e Pereira (2009), as hemiceluloses se degradam pela desacetilação, onde o ácido acético é liberado atuando como um catalisador despolimerizante, ocasionando aumento na decomposição dos polissacarídeos. Essa despolimerização catalisada pelo ácido leva a formação de formaldeído, furfural e outros aldeídos, sendo que furfural e hidroximetilfurfural são produtos de degradação das pentoses e hexoses, respectivamente. As hemiceluloses passam ainda por uma reação de desidratação com o conseqüente decréscimo dos grupos hidroxilas (OH), quando submetidas a termorreificação.

A celulose é um polissacarídeo linear, constituído por cadeias de 500 a 10.000 unidades de D-glicose ligadas a β (1 \rightarrow 4). As regiões altamente ordenadas (ou cristalinas) são alternadas por regiões menos ordenadas, conhecidas como regiões amorfas (OGEDA e PETRI, 2010). A degradação da celulose ocorre em temperaturas superiores a degradação das hemiceluloses, sendo a região amorfa a com maior suscetibilidade à degradação térmicas, quando submetidas a determinadas temperaturas (ESTEVES e PEREIRA, 2009). Após a termorreificação, o teor de celulose pode apresentar elevação, porém tal tendência não remete ao aumento da quantidade da mesma, mas sim à alta taxa de degradação das hemiceluloses (HILL, 2006). Segundo Poletto et al. (2012) a cristalinidade da celulose pode diminuir a taxa de degradação da madeira, este fato é decorrente a maior resistência a degradação térmicas das áreas cristalinas da celulose quando se compara as regiões amorfas. Os autores ainda afirmam que teores mais elevados de extrativos associados a menor cristalinidade podem acelerar o processo de degradação e reduzir a estabilidade térmica da madeira.

A lignina é formada por macromoléculas tridimensionais, amorfas e ramificadas, apresentando o fenilpropano como unidade básica, unidos por ligações do tipo éter (C-O-C) e carbono-carbono (C-C). É considerada o constituinte da madeira mais estável termicamente, quando comparado com as hemiceluloses e celulose. Sua degradação térmica ocorre em uma

ampla faixa de temperatura, devido a sua estrutura química e variabilidade de ligações, quando comparada com os demais constituintes da madeira (BREBU e VASILE, 2009; BRITO e BARRICHELO, 2006). Yang et al. (2007), ao estudarem os componentes da madeira, utilizando a técnica de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), observaram maior absorvância nas faixas de infravermelho correspondentes às ligações metoxílicas (-O-CH₃), ligações éter (C-O-C) e ligações entre carbonos para a molécula da lignina.

A higroscopicidade da madeira é um parâmetro crítico para quase todas as demais propriedades, sendo que a redução nesse parâmetro é um dos principais objetivos da termorreificação, a fim de proporcionar melhor estabilidade dimensional e resistência à deterioração. Ao absorver água, as dimensões da madeira e de seus compostos aumentam, fenômeno conhecido por inchamento, e, ao liberar água, as dimensões diminuem, fenômeno denominado retração. A retração e o inchamento da madeira, juntamente com a anisotropia, atribuem características indesejáveis à mesma, limitando seu uso ou exigindo técnicas específicas para sua utilização (MELO, 2013).

O tratamento térmico pode reduzir em até 50% o teor de umidade higroscópica na madeira, decorrente à perda de sítios de adsorção e à degradação parcial das hemiceluloses, reduzindo os grupos hidroxílicos (OH). Alguns autores relatam que a alta cristalinidade da celulose e aumento das ligações cruzadas na lignina, pode diminuir a disponibilidade de OH, que, conseqüentemente, aumenta a estabilidade dimensional (MENEZES et al., 2014).

A diferença entre a umidade higroscópica da madeira verde e quando a mesma é exposta a umidades do ar decrescentes, ao serem expostas a uma mesma condição de umidade relativa, é denominada de histerese (ROWELL, 2005). Segundo Fredriksson et al. (2018) esse fenômeno de histerese de sorção está relacionado as mudanças internas nas paredes das células, com a diminuição da disponibilidade dos grupos OH.

A perda de massa da madeira durante a modificação térmica é um efeito típico do processo. Essa perda de massa resulta em benefícios na higroscopicidade e estabilidade dimensional na madeira, no entanto, pode causar redução na densidade aparente e na resistência (HILL, 2006; THYBRING, 2013). Portanto, os parâmetros do tratamento devem ser otimizados para manter essa perda em um nível mínimo, o qual se ganha em termos da melhoria na higroscopicidade da madeira, perdendo o mínimo possível em resistência mecânica.

A modificação na cor da madeira após o tratamento térmico vem sendo estudada por diversos autores. Segundo Lopes et al. (2014a), na Europa a termorreificação é utilizada para o escurecimento da madeira, sendo conhecido como processo de “tropicalização”. Após essa

modificação a cor se aproxima das madeiras tropicais, as quais possuem uma coloração mais escura, sendo aceita no mercado como de boa qualidade.

A alteração da cor original da madeira após o tratamento térmico pode ser causada pela formação de produtos oxidativos, como exemplo as quinonas, e produtos da degradação das hemiceluloses e da lignina, os quais migram às superfícies da madeira. Ainda pode ser decorrente da remoção ou migração dos extrativos e compostos nutritivos, tais como açúcares de baixo peso molecular e aminoácidos, em direção às superfícies da madeira (ESTEVEZ et al., 2011; LOPES et al. 2014a).

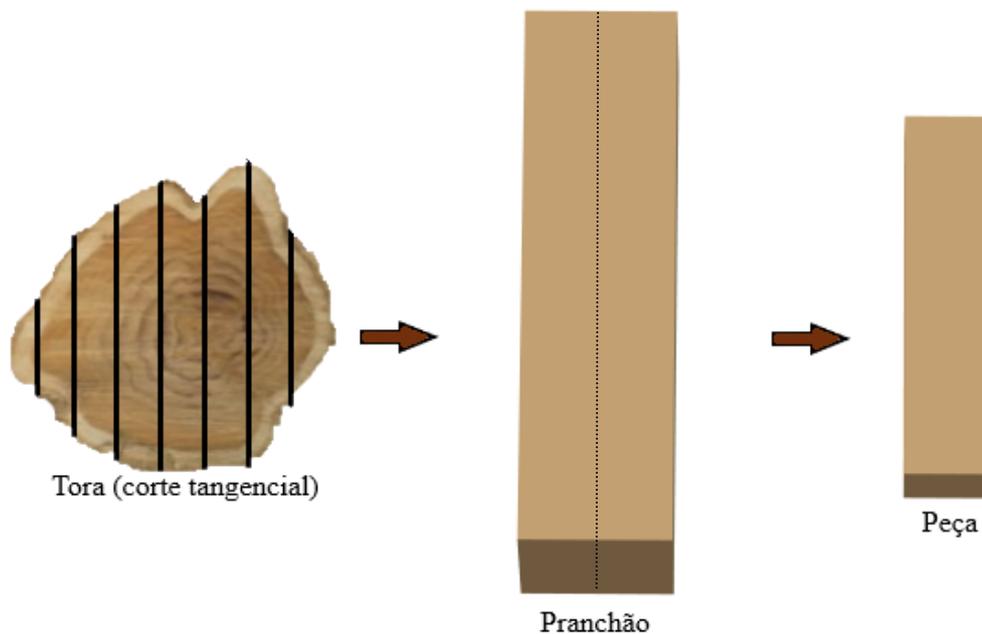
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição do material

As madeiras de *Tectona grandis* L.f utilizadas no experimento nas idades de 6, 8 e 18 anos, foram doadas pela da empresa Guavirá Industrial e Agroflorestral Ltda, localizada no município de Nova Maringá – MT. Foram selecionadas 5 árvores por idade, formando uma amostra composta.

Da base de cada árvore até 6,9 m de sua altura foram obtidos pranchões com dimensões nominais de aproximadamente 100 x 15 x 2,5 cm, correspondente ao comprimento, largura e espessura, respectivamente, a partir de desdobro tangencial. Após a obtenção dos pranchões, foram retiradas dos mesmos peças de 60 x 7,5 x 2 cm (comprimento, largura e espessura, respectivamente) (Figura 1).

Figura 1. Esquema de corte e retirada das peças.



Após a obtenção das peças de madeira, foi realizada uma seleção visual descartando aquelas que apresentaram defeitos como rachaduras, nós, empenamentos, ataques de insetos e manchas. Posteriormente as mesmas foram entabecadas e acondicionadas em uma sala fechada até a homogeneização da umidade, a medição de umidade foi feito de acordo com a norma NBR 7190 (1997).

4.2 Termorreificação

A termorreificação foi realizada em estufa com controle de temperatura, vácuo e pressão. Internamente, a estufa tem formato cilíndrico e possui uma plataforma de apoio para alocação das amostras de madeiras a serem tratadas (Figura 2). Antes de inserir as tábuas no interior da estufa, elas foram entabecadas e fixadas entre suportes de ferro, para evitar o empenamento e o contato da madeira com a parede inferior e as laterais da estufa (Figura 3).

Figura 2. Estufa com as amostras de madeiras a serem termorreificadas.



Figura 3. Madeiras entabecadas e fixadas no suporte de ferro.



A termorreificação foi realizada à temperatura de 160° C, com tempo de duração de 3 horas. As madeiras foram inseridas na estufa somente após atingir a temperatura desejada, a câmara foi evacuada e posteriormente preenchida com gás nitrogênio até uma pressão máxima

de 0,6 kgf.cm⁻². A temperatura e atmosfera utilizada foram definidas a partir de pré-testes, onde foi selecionada a temperatura e atmosfera em que as madeiras de teca obtiveram uma menor perda nas propriedades mecânicas e melhora nas físicas.

Após cada tratamento, as tábuas foram retiradas do suporte e resfriadas até a temperatura ambiente e entabucadas até o preparo dos corpos de prova e a realização dos ensaios químicos, anatômicos, físicos, mecânicos e análises termogravimétrica e colorimétrica. Para determinar o efeito do tratamento térmico nas propriedades da madeira, amostras na condição *in natura* foram seccionadas nas mesmas dimensões e entabucadas para posterior avaliação das suas propriedades.

4.5 Composição química estrutural

Amostras de madeira moídas foram empregadas para determinação da sua composição química, utilizando-se a fração selecionada em peneiras na classificação granulométrica de 40/60 mesh. A determinação do teor absolutamente seco da madeira foi realizada conforme a norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1996). Os teores de extrativos foram determinados segundo a norma TAPPI 204 om-88 (TAPPI, 1996), utilizando-se o método de determinação de extrativos totais, substituindo-se o etanol/benzeno, pelo etanol/tolueno.

Os teores de lignina insolúvel foram determinados pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971), a partir da diluição do filtrado proveniente do procedimento para obtenção da lignina insolúvel. O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel, e o teor de holoceluloses pelo somatório dos teores de extrativos e lignina total, subtraído de 100.

4.4 Caracterização anatômica

Para a caracterização anatômica foram mensuradas as fibras (comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede) e vasos (frequência e diâmetro), seguindo os procedimentos estabelecidos pela Comissão Pan-americana de Normas Técnicas (COPANT, 1974). Para isso, selecionou-se aleatoriamente uma peça de madeira nas condições *in natura* e termorretificada nas quatro idades estudadas. A partir das peças de madeira retirou-se uma amostra de formato retangular, apresentando dimensões de 2 x 2 x 3 cm (tangencial x radial x longitudinal, respectivamente).

Foram obtidos cortes histológicos com espessura nominal variando de 18 a 20 μm no plano transversal com um o auxílio do micrótomo de deslize e, posteriormente montou-se lâminas semi-permanentes para posterior visualização e mensuração dos vasos. Os parâmetros medidos para avaliação quantitativa dos vasos foram o diâmetro (μm) e frequência ($\text{n}^\circ \text{poros}.\text{mm}^{-2}$), com o auxílio com auxílio do software Axio Vision.

Para a avaliação quantitativa das fibras, realizou-se a maceração da madeira conforme método preconizado por Ramalho (1987), mediram-se 30 fibras individualmente, com auxílio do software Axio Vision, para medição o comprimento, largura e o diâmetro do lume. A espessura da parede foi obtida através da Equação 1.

$$EP=(L-DL)/2$$

Equação 1

Em que: EP = espessura da parede da fibra (μm); L = largura da fibra (μm); DL = diâmetro do lume da fibra (μm).

4.5 Propriedades Físicas e mecânicas

Para as análises das propriedades físicas da madeira, sendo elas o teor de umidade, densidade básica, retratibilidade (tangencial, radial e axial) e o coeficiente de anisotropia, foram determinadas de acordo com as Normas Brasileira Regulamentadoras norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

Também foram avaliadas a resistência à compressão paralela às fibras e dureza Janka, adaptando-se as dimensões dos corpos-de-prova descrita pela NBR 7190 (ABNT, 1997) em dimensões menores e proporcionais, sendo, 2 x 2 x 5 cm e 2 x 5 x 15 cm (espessura, largura e comprimento), respectivamente, compressão paralela e dureza de Janka. Essa adaptação foi necessária devido as dimensões das peças de madeira utilizadas no experimento não permitir o confeccionamento nas dimensões sugeridas pela norma citada.

A resistência a flexão estática foi determinada conforme estabelecido pela norma do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1956), métodos de ensaios adotados no IPT para os estudos de madeiras nacionais. Optou-se por esta norma, como já citado devido a limitação dimensional das amostras utilizadas, não permitindo preparar os corpos-de-prova de acordo com a norma NBR 7190 (1997) para o respectivo ensaio.

4.6 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica foi realizada no aparelho DTG-60H, Shimadzu, sob atmosfera de gás nitrogênio, a uma vazão constante de 50 ml.min⁻¹, utilizou-se aproximadamente 2 mg de serragem da madeira, selecionada em peneiras na classificação granulométrica de 40/60 mesh.

Para avaliar a perda de massa em função da temperatura, as curvas termogravimétricas (TG) foram obtidas a partir de 50°C até temperatura máxima de 450°C, com taxa de aquecimento de 10°C.min⁻¹. A partir da derivada primeira da perda de massa foi gerada a segunda curva (DTG), para determinar as temperaturas máxima para degradação térmica.

A perda de massa, foi calculada nos intervalos de temperatura: 50-100°C, 100-200°C, 200-300°C, 300-400°C, 400-500°C e 500-600°C. Também foi calculada a massa residual na temperatura de 600°C.

4.7 Análise colorimétrica

A análise colorimétrica foi realizada a partir de um colorímetro portátil Konica CM-2500D em contato direto com as amostras. Este aparelho segue o sistema de leitura CIELab, onde obtém-se os índices L (luminosidade: escuro-claro); a* (coordenada verde-vermelho) e b* (coordenada azul-amarelo).

4.8 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial 2 x 3, tendo como fontes de variação as condições da madeira (*in natura* e termorretificada) e as idades (6, 8, e 18 anos). O tratamento térmico foi realizado em 3 bateladas, contendo 8 amostras/bateladas, totalizando 24 peças de madeira por idade. Em relação as peças nas condições *in natura* foram separadas 24 peças por idade. O total de peças utilizadas no experimento foi de 144 peças de madeira.

Após atendida a pressuposição de homogeneidade das variâncias, os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância e, quando observadas diferenças significativas, procedeu-se com os testes média Tukey, utilizando-se o *software* Statistica Statsoft 7.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição Química Estrutural

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios da composição química estrutural da madeira de *Tectona grandis* L.f em diferentes idades, nas condições de *in natura* e termorretificada. Verificou-se interação significativa entre os fatores idades e sua condição *in natura* e termorretificada, ou seja, há dependência entre os fatores citados para todos os parâmetros da análise química estrutural.

Tabela 1. Valores médios dos componentes estruturais da madeira de *Tectona grandis* L.f nas condições *in natura* e termorretificada em diferentes idades

TRATAMENTO	IDADE (anos)			
	6	8	18	MÉDIA
EXTRATIVOS TOTAIS (%)				
<i>IN NATURA</i>	5,17 Ba	4,5 Ba	6,33 Ab	5,33
TERMORRETIFICADA	4,29 Bb	3,45 Bb	7,09 Aa	4,94
MÉDIA	4,73	3,98	6,71	5,14
LIGNINA TOTAL (%)				
<i>IN NATURA</i>	31,56	31,59	36,26	33,14
TERMORRETIFICADA	31,79	32,81	36,84	33,81
MÉDIA	31,68 B	32,2 B	36,55 A	33,48
TEOR DE HOLOCELULOSES (%)				
<i>IN NATURA</i>	63,28	63,9	57,42	61,53
TERMORRETIFICADA	63,93	63,74	56,07	61,25
MÉDIA	63,6 A	63,82 A	56,75 B	61,39

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as idades e minúscula entre madeira *in natura* e termorretificada, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

O teor de extrativos totais entre as idades variou de 4,50% a 6,33% para a madeira *in natura*, sendo os maiores valores encontrados na idade de 18 anos (Tabela 1). Em idades mais avançadas a madeira inicia o processo de cernificação no qual ocorre a transformação do alborno em cerne, este processo é caracterizado pela inativação fisiológicas das células e

acúmulo de extrativos. Consequentemente ocorre aumento no teor de extrativos em idades mais avançadas da árvore (HSING et al., 2016; SOARES et al., 2015).

Em relação a madeira à termorretificada observou-se tendência de redução no teor de extrativos, quando comparada com a madeira *in natura*, com exceção na idade de 18 anos, onde ocorreu aumento no teor de extrativos (Tabela 1). A diminuição no teor de extrativos é decorrente da sua volatilização, os quais se degradam na faixa de temperatura de 130 a 250 °C. O aumento no teor de extrativos na idade 18 anos pode ser explicado pela formação de subprodutos devido à degradação das hemiceluloses (POUBEL et al., 2013; SIKORA et al., 2018). Esse aumento ou diminuição no teor de extrativos após o tratamento térmico nas idades estudadas pode ser atribuída aos diferentes tipos de extrativos encontrados no cerne e alborno, com composições químicas diferentes e comportamento térmicos distintos.

O teor de lignina total foi influenciado pelas idades, sendo a idade de 18 anos estatisticamente diferente das demais, com 36,26% e 36,84%, respectivamente, para madeira *in natura* e termorretificada (Tabela 1). O teor de lignina da madeira termorretificada não diferenciou estatisticamente da madeira *in natura*. Esse fato pode ser explicado pela temperatura e tempo utilizado na termorretificação no presente estudo, os quais não foram suficientes para degradar a lignina, devido a sua maior estabilidade térmica quando comparada com demais componentes químicos da madeira.

O teor de holoceluloses foi estatisticamente diferente entre as idades, sendo menor na idade de 18 anos. Quando comparado a madeira termorretificada e *in natura* não houve efeito do tratamento térmico. Gaff et al. (2019), ao avaliarem a modificação química na madeira de *Tectona grandis* após termorretificação a temperatura de 160 °C por aproximadamente 20 h, os autores constataram diminuição no teor de holoceluloses. Batista et al. (2016a) constataram que o teor de holoceluloses diminuiu significativamente com o aumento da temperatura até 160 °C e permaneceu estável a 180 °C, com tempo de tratamento de 8h. O efeito do tratamento térmico nos estudos citados e não observados no presente estudo, pode ser justificado pelo menor tempo utilizado no tratamento térmico.

5.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA

Na Tabela 2 e 3 estão apresentados os valores médios da análise quantitativa anatômica da madeira de *Tectona grandis* L. em diferentes idades nas condições *in natura* e termorretificada. Observou-se com a análise de variância (ANOVA), que houve interação significava entre as idades, condição *in natura* e termorretificada para largura da fibra (μm),

diâmetro do lume (μm) e espessura da parede (μm) das fibras. Para o comprimento da fibra (mm), frequência ($\text{n}^\circ \text{poros} \cdot \text{mm}^{-2}$) e diâmetro (μm) dos vasos não houve interação entre os fatores, ou seja, eles são independentes, sendo analisado cada fator separadamente.

Tabela 2. Valores médios da anatomia das fibras da madeira de *Tectona grandis* L.f nas condições *in natura* e termorretificada em diferentes idades

TRATAMENTO	IDADE (anos)			
	6	8	18	MÉDIA
COMPRIMENTO DA FIBRA (mm)				
<i>IN NATURA</i>	0,9	1,11	1,41	1,13 b
TERMORRETIFICADA	0,94	1,17	1,46	1,19 a
MÉDIA	0,92 C	1,14 B	1,43 A	1,16
LARGURA DA FIBRA (μm)				
<i>IN NATURA</i>	24,09 Bb	27,93 Aa	28,68 Aa	26,9
TERMORRETIFICADA	27,21 ABa	25,83 Ba	28,69 Aa	27,24
MÉDIA	25,65	26,88	28,69	27,07
DIÂMETRO DO LUME (μm)				
<i>IN NATURA</i>	11,9 Ab	13,64 Aa	13,16 Ab	12,9
TERMORRETIFICADA	17,08 ABa	14,99 Ba	17,36 Aa	16,48
MÉDIA	14,49	14,32	15,26	14,69
ESPESSURA DA PAREDE (μm)				
<i>IN NATURA</i>	6,09 Ba	7,15 Aa	7,76 Aa	7
TERMORRETIFICADA	5,07 Ab	5,42 Ab	5,67 Ab	5,39
MÉDIA	5,58	6,29	6,72	6,2

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as idades e minúscula entre madeira *in natura* e termorretificada, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Observa-se que, entre as idades, houve diferença significativa para o comprimento da fibra, sendo de 0,92; 1,14 e 1,43 mm, respectivamente, nas idades de 6, 8 e 18 anos (Tabela 2). Ramos et al. (2011), ao estudarem o comprimento das fibras no sentido medula-casca, observaram menor comprimento e espessura da fibra na região mais próxima a medula. Os autores citam que os valores de comprimento da fibra são crescentes até um determinado ponto, com um leve decréscimo ou estabilização em idades mais avançadas, já sob a formação de lenho

adulto. A madeira adulta, quando comparada com a madeira juvenil, apresenta características anatômicas, como por exemplo, maior comprimento das fibras e menor ângulo microfibrilar da camada S2 da parede celular, apresentando assim, melhor estabilidade e menor propensão a defeitos na secagem e no processamento mecânico.

O comprimento da fibra foi maior após a termorreificação. No entanto não se atribui essa modificação ao tratamento propriamente dito, e sim a variação entre os valores médios encontrados nas diferentes idades nas condições *in natura* e termorreificada. Esse resultado não corrobora com o encontrado por alguns estudos, os quais não encontraram diferença no comprimento da fibra após a termorreificação (BATISTA et al., 2015; FREITAS, 2019).

A largura das fibras de modo geral, não foi influenciada pelo tratamento térmico e pelas idades das árvores. Tal fato pode estar atrelado à região amostral, as quais foram selecionadas a partir de peças já processadas, não havendo um controle da posição onde elas foram retiradas. As madeiras oriundas de desbastes em plantio de crescimento rápido, o diâmetro da tora é menor, podendo resultar em grande variabilidade entre as amostras, acarretando em algumas idades maior porcentagem de madeira juvenil que em outras, influenciando assim essa característica anatômica.

O diâmetro do lume das fibras independentemente da idade aumentou com a termorreificação, os incrementos foram de 43,53; 9,90 e 31,91%, respectivamente, nas idades de 6, 8 e 18 (Tabela 2). Este aumento do lume da fibra pode estar atrelado a contração da parede celular, decorrente a perda de água impregnada e degradação parcial de seus constituintes químicos, nos espaços submicroscópico da parede celular.

A espessura da parede das fibras em geral diminuiu após a termorreificação. Esse parâmetro é obtido do diâmetro no lume e largura da fibra, como já citado. Após a termorreificação pode ter ocorrido contração da parede celular das fibras.

A frequência de vasos não diferenciou significativamente entre as idades estudadas, com valor médio 5,07 vasos.mm⁻² (Tabela 3). Chagas et al. (2014) ao avaliarem as propriedades da madeira de teca oriundas de desbastes, nas idades de 4, 6 e 12 anos, observaram que não houve diferença significativa para frequência de vasos, tendo como valor médio 5,67 vasos.mm⁻². Para madeira a termorreificada houve diferença significativa na frequência de vasos, no entanto não se pode atribuir tal resultado ao tratamento térmico propriamente dito, e sim à variabilidade da região amostral da lâmina utilizada para a obtenção da frequência de vasos, visto que a madeira de teca apresenta porosidade em anel, sendo assim, dependendo da região amostrada na lâmina, pode ocorrer alteração dessa variável.

Tabela 3. Valores médios da frequência e diâmetro dos vasos da madeira de *Tectona grandis* L.f nas condições *in natura* e termorretificada em diferentes idades

TRATAMENTO	IDADE (anos)			
	6	8	18	MÉDIA
FREQUÊNCIA (n° poros.mm⁻²)				
<i>IN NATURA</i>	5,42	6,08	5,67	5,72 a
TERMORRETIFICADA	4,58	4,5	4,66	4,58 b
MÉDIA	5	5,29	5,17	5,15
DIÂMETRO (µm)				
<i>IN NATURA</i>	153	139	151	148
TERMORRETIFICADA	143	137	157	146
MÉDIA	148 AB	138 B	154 A	147

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as idades e minúscula entre madeira *in natura* e termorretificada, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Observa-se que a termorretificação não afetou significativamente o diâmetro dos vasos. Batista (2012) verificou que não houve efeito da modificação térmica no diâmetro dos vasos para madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a termorretificação na temperatura de 140 °C. Entretanto, Freitas (2019) ao avaliar a madeira de *Fraxinus excelsior* nas condições *in natura* e termorretificada a temperatura de 215 °C, observou um aumento significativo no diâmetro dos vasos após o tratamento térmico. Desse modo, observa-se que o aumento no diâmetro do vaso ocorre em tratamentos térmicos com temperaturas maiores, devido a degradação parcial dos componentes químicos da parede celular. Esse aumento não foi significativo no presente estudo.

5.3 Propriedades Físicas

Nas Tabelas 4 e 5 estão apresentados os valores médios de umidade equilíbrio higroscópico (UEH) e a densidade básica da madeira, respectivamente, de *Tectona grandis* L.f em diferentes idades, nas condições de *in natura* e termorretificada. Ao aplicar-se a análise de variância (ANOVA), verificou-se que a interação foi significativa entre a idade da madeira e sua condição *in natura* e termorretificada, indicando dependência entre os fatores nos citados parâmetros.

Tabela 4. Umidade Equilíbrio Higroscópico (%) da madeira de *Tectona grandis* L.f, em função das diferentes idades nas condições *in natura* e termorretificada

TRATAMENTO	IDADE (anos)			
	6	8	18	MÉDIA
<i>IN NATURA</i>	16,82 Aa	16,36 Ba	15,54 Ca	16,24
TERMORRETIFICADA	11, 59 Bb	12,08 Ab	10,13 Cb	11,27
MÉDIA	14,2	14,22	12,84	13,75

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as idades e minúscula entre madeira *in natura* e termorretificada, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

A idade foi significativa para umidade equilíbrio higroscópico (UEH) da madeira nas idades diferentes idades. Observou-se a menor higroscopicidade na idade de 18 anos (Tabela 4). Tal resultado pode ser atribuído aos menores teores de holoceluloses encontrados nas respectivas idades. As holoceluloses são a soma dos componentes químicos celulose e hemiceluloses da madeira, os quais, quando comparados com a lignina, são considerados hidrofílicos, absorvendo água do ambiente em que a madeira se encontra.

A higroscopicidade da madeira é decorrente da estrutura química da parede celular, a qual contém polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina, os quais formam os grupos hidroxílicos. Dentre esses polímeros, as hemiceluloses são mais hidrofílicas, favorecendo a troca de água com o meio, contribuindo para a variação dimensional da madeira. A diminuição da UEH é atribuída à diminuição dos sítios de adsorção, dos grupos OH, principalmente decorrentes da degradação parcial das hemiceluloses. A degradação das hemiceluloses começa em uma faixa de temperatura menor que os constituintes químicos celulose e lignina (LOPES et al., 2014b; MENEZES et al., 2014). Contudo, como não houve redução significativa no teor de holoceluloses no presente estudo, a diminuição da UEH da madeira pode ter ocorrido devido ao rearranjo dos polímeros da madeira. Dessa maneira, ocorre redução da quantidade de grupos OH, consequentemente menores sítios disponíveis para absorção de água do meio circundante para a madeira.

Foi observada diferença significativa entre a madeira *in natura* e termorretificada em todas as idades, ocorrendo uma diminuição na UEH após o tratamento de termorretificação, sendo de 36,1; 26,16 e 34,82%, respectivamente, nas idades de 6, 8 e 18 anos (Tabela 4). Esta diminuição corrobora com vários estudos, onde após a termorretificação ocorreu a diminuição

na UEH. Diversos autores constataram que quanto maior a temperatura utilizada no processo de termorreificação, menor é a UEH da madeira quando comparadas entre si e com a madeira *in natura* (HULLER et al., 2017; LOPES et al., 2014b; MENEZES et al., 2014; POUBEL et al., 2013).

De acordo com Thybring (2013), a UEH da madeira é relevante, pois influência em quase todas as propriedades da madeira, como a retratibilidade, propriedades mecânicas e resistência a biodeterioração e, conseqüentemente, na utilização da madeira.

Tabela 5. Densidade da madeira ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) de *Tectona grandis* L.f, em função das diferentes idades nas condições *in natura* e termorreificada

TRATAMENTO	IDADE (anos)			
	6	8	18	MÉDIA
<i>IN NATURA</i>	0,47 Bb	0,46 Ba	0,54 Aa	0,49
TERMORRETIFICADA	0,51 Aa	0,44 Ba	0,54 Aa	0,5
MÉDIA	0,49	0,45	0,54	0,49

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as idades e minúscula entre madeira *in natura* e termorreificada, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

A densidade básica da madeira de *Tectona grandis* L.f, de modo geral, aumentou com a idade, variando de 0,46 a 0,54 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ entre as madeiras *in natura* e 0,44 a 0,54 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ entre as madeiras termorreificadas (Tabela 5). Bonduelle et al. (2015), em estudo sobre as propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* aos 18 anos de idades, provenientes do estado de Mato Grosso, encontraram densidade básica média de 0,524 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Em relação a diferença na densidade da madeira com o efeito idade, sabe-se que ocorre um aumento gradativo com o crescimento árvore, até um ponto em que se estabiliza. Segundo Sette Jr. et al. (2012), esse aumento ocorre em função das alterações do meristema cambial e das exigências mecânico-fisiológicas, resultantes do processo de desenvolvimento das árvores, correlacionadas com aumento da espessura da parede das fibras, à medida que é formado o lenho adulto no tronco das árvores.

Observou-se diferença na densidade da madeira apenas na idade de 6 anos quando comparadas madeira *in natura* e termorretrificada, observando-se uma tendência de aumento após a termorretrificação. Batista et al. (2010) em estudo com temperatura maior, sendo de 230 °C, observou diminuição na densidade da madeira, decorrente a perda de massa. Contudo, o tratamento térmico utilizado no presente estudo não influenciou na densidade da madeira por ser menor quando comparado com o estudo citado.

A densidade básica é dos principais índices de qualidade da madeira quando se visa sua utilização como matéria-prima industrial ou energética. Geralmente a densidade é determinada porque afeta a resistência mecânica, porosidade, facilidade de secagem e penetração de preservantes, acabamentos externos, trabalhabilidade, laminação, rendimento de polpação e fator de compactação de painéis aglomerados (BATISTA et al., 2010; FERNANDES et al., 2018).

Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios para a retratibilidade (axial, radial e tangencial) e fator anisotrópico para a madeira de *Tectona grandis* L.f em diferentes idades nas condições *in natura* e termorretrificada. Verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores estudados para os índices de retração radial, retração tangencial e fator anisotrópico, sendo analisado cada fator separadamente. Já para os índices de retração axial e retração volumétrica houve interação significativa entre os fatores, ou seja, os mesmos atuam dependentemente.

Ao se comparar a madeira *in natura* com a madeira termorretrificada, apenas a retração axial e volumétrica na idade de 18 anos teve diferença significativa. Após a termorretrificação observou-se um aumento de 44,4 e 40,55%, respectivamente, para retração axial e volumétrica (Tabela 6). Provavelmente, a temperatura e tempo utilizados não foram suficientes para afetar estas propriedades.

Araújo (2010), em estudo com diferentes métodos e temperaturas de termorretrificação, também encontrou aumento nas retrações da madeira de *Aspidosperma populifolium* (Peroba mica), submetida a termorretrificação na temperatura de 180°C no método de estufa a vácuo e prensa. No entanto, nas temperaturas de 200 e 220°C, a citada autora observou diminuição da retração. Este fato reforça que em temperaturas menores o tratamento térmico não causa efeitos positivos, prevalecendo apenas o efeito da variação da madeira. Esse aumento na retração axial e volumétrica não foram observados em outros estudos, ocorrendo uma diminuição nestas propriedades após a termorretrificação, e, foi observado que quanto maior a temperatura utilizada, menores foram os valores médios encontrados (HULLER et al., 2017; MENEZES et al., 2014; POUBEL et al., 2013).

Tabela 6. Valores médios de retratibilidade e fator anisotrópico da madeira de *Tectona grandis* L.f nas condições *in natura* e termorretificada em diferentes idades

TRATAMENTO	IDADE (anos)			
	6	8	18	MÉDIA
RETRAÇÃO AXIAL (%)				
<i>IN NATURA</i>	0,36 Aa	0,38 Aa	0,36 Ab	0,36
TERMORRETIFICADA	0,26 Ba	0,33 Ba	0,52 Aa	0,37
MÉDIA	0,31	0,35	0,44	0,37
RETRAÇÃO RADIAL (%)				
<i>IN NATURA</i>	2,68	2,3	2,52	2,5
TERMORRETIFICADA	2,73	2,31	2,45	2,5
MÉDIA	2,70 A	2,30 B	2,49 B	2,5
RETRAÇÃO TANGENCIAL (%)				
<i>IN NATURA</i>	6,64	5,44	4,82	5,64
TERMORRETIFICADA	6,78	5,39	4,58	5,58
MÉDIA	6,71 A	5,42 B	4,7 C	5,61
RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA (%)				
<i>IN NATURA</i>	9,47 Aa	7,45 Ba	3,97 Cb	6,96
TERMORRETIFICADA	9,56 Aa	7,88 Ba	5,88 Ca	7,77
MÉDIA	9,52	7,67	4,93	7,37
FATOR ANISOTRÓPICO				
<i>IN NATURA</i>	2,48	2,37	1,9	2,25
TERMORRETIFICADA	2,5	2,35	1,88	2,24
MÉDIA	2,49 A	2,36 A	1,89 B	2,25

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as idades e minúscula entre madeira *in natura* e termorretificada, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

O fator anisotrópico não diferenciou entre a madeira na condição *in natura* e termorretificada (Tabela 6). Segundo Gil et. al. (2018) esse fator anisotrópico é o resultado direto entre as retrações tangenciais e radial, sendo o mesmo um indicador de qualidade da madeira, relacionados aos defeitos de secagem. Como o fator anisotrópico é definido pela relação entre as retrações tangenciais e radiais (T/R), não foi observado o efeito da termorretificação, porque os mesmos não foram alterados com tratamento térmico.

A retração axial não diferenciou entre as idades de 6 e 8 anos, nas condições *in natura* e termorretrificada. Na retração tangencial, observou-se diferença entre as idades, sendo menor na idade de 18 anos (Tabela 6). Segundo Silva e Oliveira (2003) a maior alteração dimensional ocorre no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pela dimensão radial e menor no sentido longitudinal, sendo a mesma tendência encontrada no presente estudo. No sentido radial, as variações dimensionais são menores que no sentido tangencial por causa da orientação transversal dos raios (POUBEL et al., 2013).

A retração volumétrica foi significativamente diferente na idade de 18 anos, sendo observado os menores valores médios para *in natura* e termorretrificada (Tabela 6). Segundo Oliveira et al. (2010), a retratibilidade volumétrica expressa a variação total ocorrida pela higroscopicidade da madeira. É possível observar uma relação direta entre a retração volumétrica e idade, e ainda, com a retração tangencial. Tal fato pode ser justificado pela maior densidade e menor higroscopicidade encontrada na idade de 18 anos.

Em relação ao fator anisotrópico da madeira em diferentes idades, observa-se diferença significativa na idade de 18 anos, observa-se uma diminuição de 24,1 e 19,92%, respectivamente, da idade de 6 e 8 anos (Tabela 6). Pinto (2007) em estudo das propriedades da madeira de *Tectona grandis* L.f em função de diferentes idades (5, 10 e 30 anos), observou um decréscimo no valor médio anisotrópico com o aumento da idade, sendo o menor valor médio encontrado de 1,17% na idade de 30 anos.

Bonduelle et al. (2015) em estudo da propriedade física da madeira de *Tectona grandis* L.f encontrou valores médios da contração tangencial relativamente baixa (4,21%) e anisotropia de contração média - alta (2,27%). Os autores afirmam que essa madeira pode ter estabilidade dimensional média a boa, não estando sujeita a empenamentos acentuados com a variação da umidade de equilíbrio das peças. Eles ainda ressaltam que o fator anisotrópico tomado de forma isolada não caracteriza a madeira do ponto de vista da estabilidade dimensional, reforçando que madeiras com fator anisotrópico alto e fator de retração baixa podem ser estáveis dimensionalmente.

5.4 Propriedades mecânicas

Os valores médios das propriedades mecânicas da madeira de *Tectona grandis* L.f em diferentes idades nas condições *in natura* e termorretrificada estão apresentados na Tabela 7. Após a análise de variância (ANOVA) constatou-se que não houve interação significativa para o módulo de elasticidade na flexão estática (MOE) e compressão paralela as fibras, ou seja, os

fatores idades e condição da madeira *in natura* e termorretificada atuaram independentes, sendo avaliados separadamente. Para os parâmetros mecânicos de dureza de Janka e módulo de ruptura da flexão estática (MOR) houve interação entre os fatores citados, ou seja, os fatores são dependentes.

Tabela 7. Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de *Tectona grandis* L.f nas condições *in natura* e termorretificada em diferentes idades

TRATAMENTO	IDADE (anos)			
	6	8	18	MÉDIA
DUREZA DE JANKA (kgf.cm⁻²)				
<i>IN NATURA</i>	395 Bb	435 Ba	725 Aa	519
TERMORRETIFICADA	453 Ba	360 Cb	525 Ab	446
MÉDIA	397	424	625	482
COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS (kgf.cm⁻²)				
<i>IN NATURA</i>	364	389	451	401 b
TERMORRETIFICADA	447	458	538	481 a
MÉDIA	406 B	424 B	495 A	441
MÓDULO DE RUPTURA (kgf.cm⁻²)				
<i>IN NATURA</i>	602 Cb	698 Ba	786 Aa	695
TERMORRETIFICADA	723 Ba	736 ABa	775 Aa	745
MÉDIA	663	717	781	720
MÓDULO DE ELASTICIDADE (kgf.cm⁻²)				
<i>IN NATURA</i>	36515	42612	40528	39885 b
TERMORRETIFICADA	40798	43570	40261	41543 a
MÉDIA	38656 B	43091 A	40395 B	40714

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as idades e minúscula entre madeira *in natura* e termorretificada, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Observa-se que a dureza de Janka da madeira *in natura* nas idades de 6 e 8 anos diferenciou significativamente da idade de 18 anos. Esse resultado pode estar correlacionado com a maior densidade na teca nesta idade. Quando se compara as madeiras *in natura* e termorretificadas nas diferentes idades, houve diferença significativa, com diminuição nas idades de 8 e 18 anos, sendo, respectivamente, de 17,24 e 27,59%, após a termorretificação

(Tabela 7). A perda de resistência na dureza de Janka pode estar relacionado ao aumento da fragilidade da parede celular, devido à modificação química causada pelo tratamento térmico (BAKAR et al., 2013).

A resistência compressão paralela a fibras foi maior na idade de 18 anos, seguindo a mesma tendência da dureza de Janka. Para esta mesma propriedade, quando a madeira foi submetida ao tratamento de termorretificação, houve aumento de 19,95% na resistência (Tabela 7). Boonstra et al. (2007) afirmam que essa maior resistência decorrente do tratamento térmico pode ser explicada pelo aumento da cristalinidade da celulose, causada pela degradação ou cristalização da região amorfa. A celulose cristalina tem estrutura bastante rígida quando comparada com a região amorfa, e pode ser responsável pelo aumento da resistência à compressão. Esses autores ainda citam outra explicação, talvez decorrente do aumento nas ligações cruzadas da rede polimérica da lignina.

Em relação ao MOR houve diferença significativa para as madeiras nas condições *in natura* e termorretificada na idade de 6 anos, ocorrendo aumento no valor médio de 16,78 após a termorretificação. Esse resultado pode ser justificado pela menor umidade equilíbrio higroscópico após o tratamento de termorretificação, encontrado na respectiva idade. Segundo Beltrame et al. (2010) a resistência mecânica das madeiras aumenta à medida que diminui o teor de umidade, em razão do adensamento e rigidez das paredes celulares.

Boonstra et al. (2007) explicam que este efeito sobre o MOR em flexão é decorrente das mudanças no teor e estrutura das hemiceluloses com o tratamento térmico, do aumento da temperatura e, ou, do tempo de tratamento que causa redução mais acentuada desse polímero com correspondente perda da resistência. Contudo, o que pode estar correlacionado com esse aumento no MOR na idade de 6 anos é o teor de holocelulose encontrado no presente estudo, o qual, mesmo após o tratamento térmico, não teve diferença para a idade citada.

O módulo de elasticidade foi afetado significativamente pelo tratamento térmico, ocorrendo um aumento de 4,16%. Segundo Fontoura et al. (2015), entre as propriedades mecânicas, o MOE é a menos afetada pela termorretificação, e ainda, que existe muita contradição entre pesquisas sobre o aumento ou diminuição dessa propriedade.

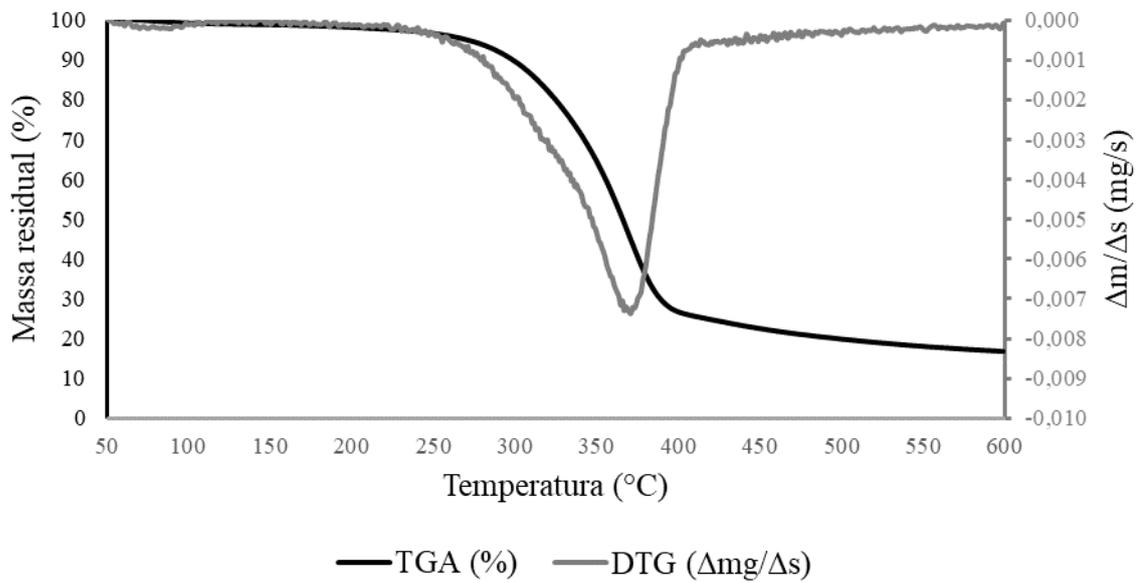
5.5 Análise termogravimétrica

Na Figura 4 observa-se as curvas termogravimétricas (TG/DTG) da madeira de *Tectona grandis* L.f em diferentes idades nas condições *in natura* e termorretificada, na faixa de temperatura entre 50 e 600 °C. As curvas termogravimétricas (TG) representam a perda de

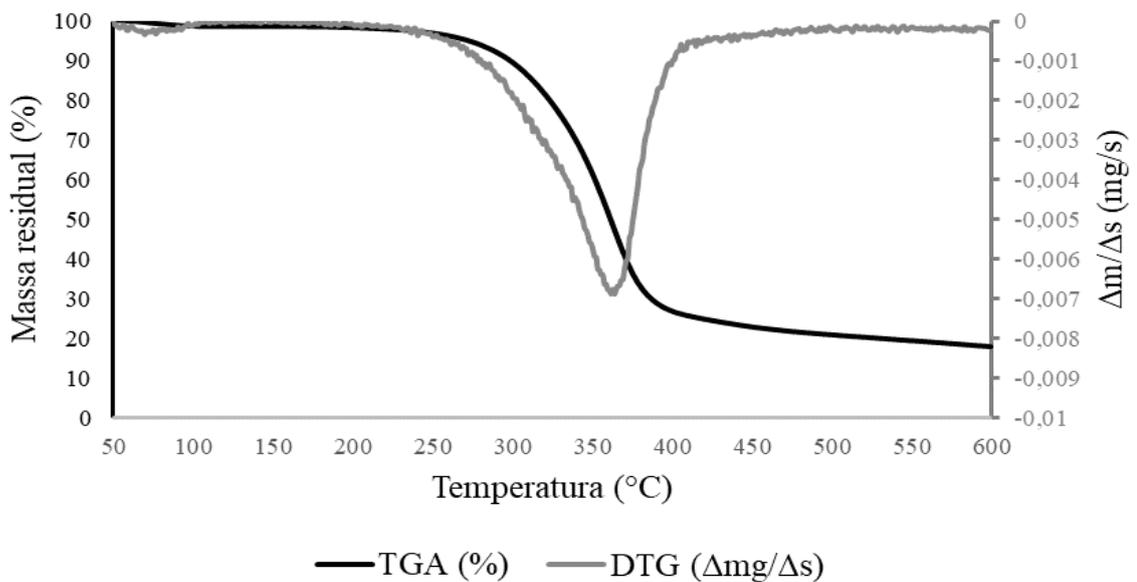
massa, em porcentagem, em função da temperatura, enquanto as curvas DTG correspondem à derivada primeira das curvas TG e apresentam a variação da massa em relação ao tempo, registradas em função da temperatura.

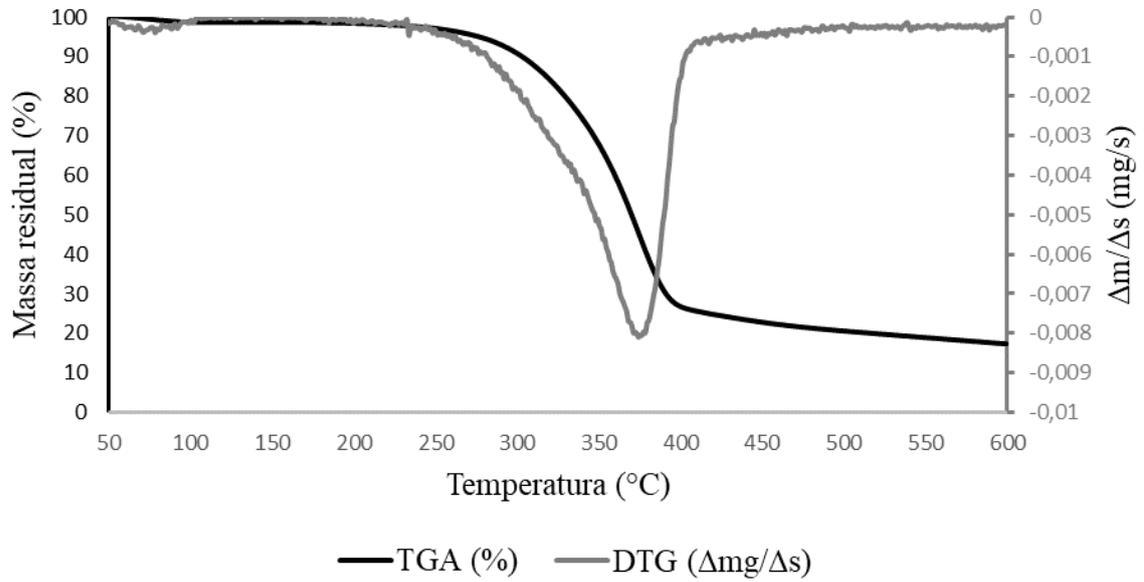
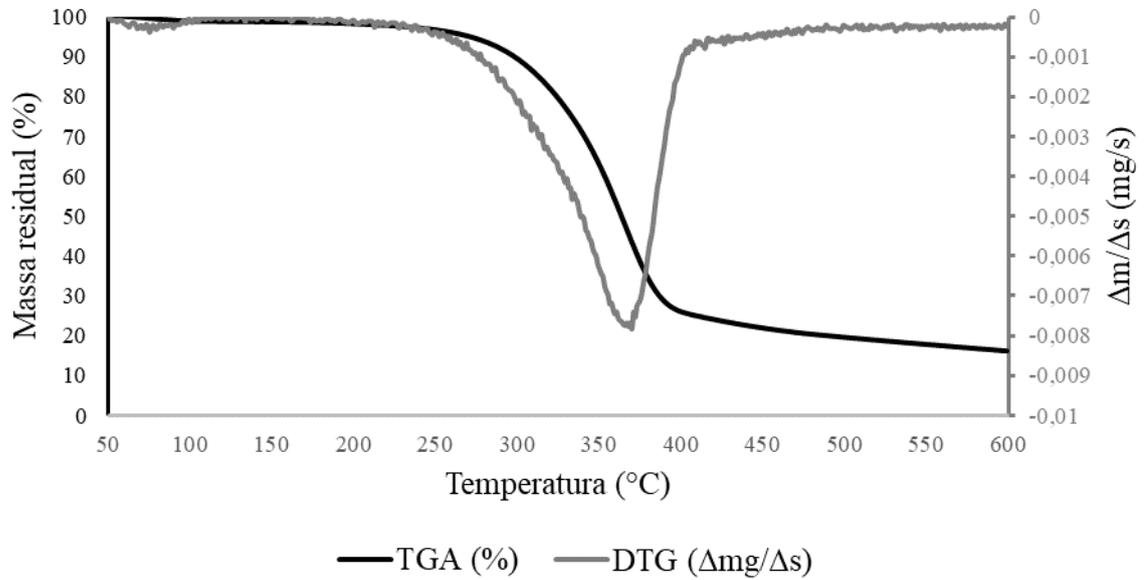
Figura 4. Curvas de TGA/DTG obtidas a partir da análise termogravimétrica das madeiras *in natura* e termorretificadas em diferentes idades.

6 anos *in natura*

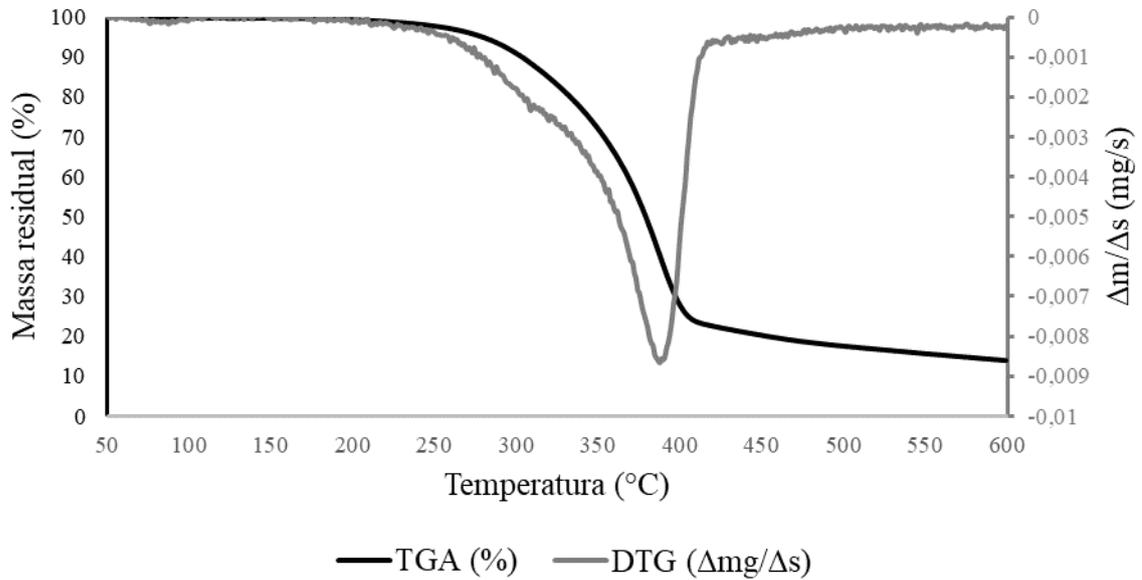


6 anos termorretificada

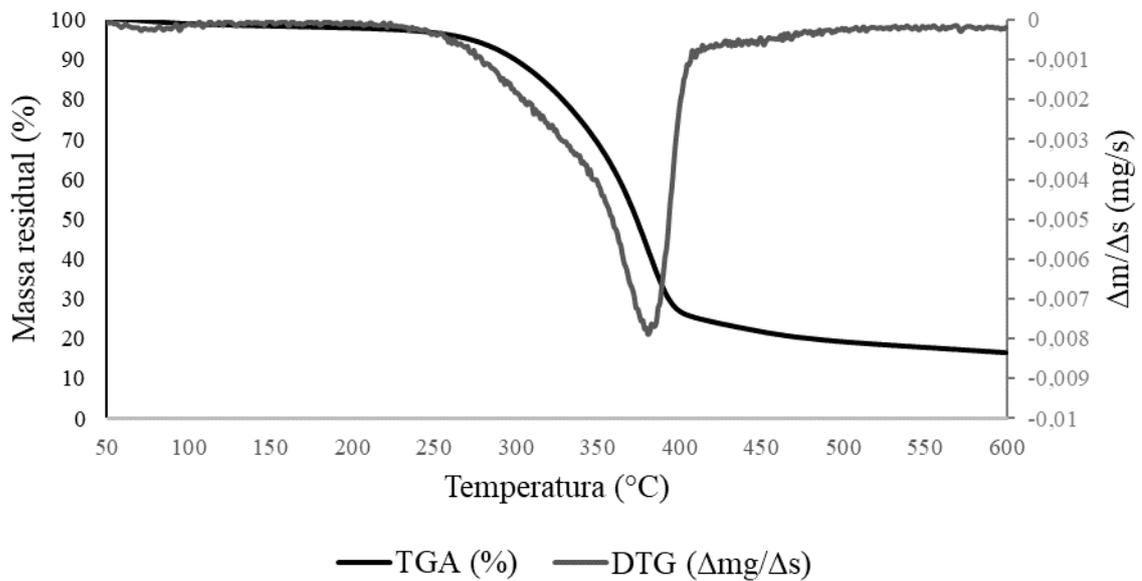


8 anos *in natura***8 anos termorretificada**

18 anos *in natura*



18 anos termorretificada



Observa-se na Figura 4 que, no geral, dentro da mesma idade da madeira de teca, os maiores picos de degradação térmica ocorreram aproximadamente na mesma faixa de temperatura, sendo entre 350 a 400°C, para as diferentes condições, tanto *in natura* quanto termorretificadas. Esse fato pode ser explicado devido os teores das hemiceluloses, celulose e lignina não serem afetados significativamente após a termorretificação. Soares et al. (2018), observaram que para o pico endotérmico apresentado nas madeiras tratadas a temperatura de 180° C, ocorreu em uma maior temperatura em relação a testemunha.

Pereira et al. (2013) em estudo de diferentes clones de *Eucalyptus* observaram perfis de degradação térmica semelhantes, ocorrendo pequenas diferenciações nas temperaturas correspondentes aos picos máximos de degradação, relacionados à degradação das hemiceluloses e celulose, principalmente.

Segundo Yang et al., 2007 na faixa de temperatura inferiores a 110 °C ocorre a perda de água absorvida pela madeira. A degradação total das hemiceluloses se dá em temperaturas menores a 350 °C, acarretando a produção de ácidos orgânicos e furfural, os quais aceleram a degradação da lignina e celulose. A faixa de temperatura entre 350 a 380 °C, corresponde a maior degradação da celulose. E por fim, a temperaturas maiores que 380 °C ocorre a degradação da lignina.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de perda de massa (%) que ocorreram durante a análise termogravimétrica, em função das faixas de temperatura.

Tabela 8. Perda de massa (%), da madeira *in natura* e termorretificada com diferentes idades em função das faixas de temperatura

IDADE	TRATAMENTO	FAIXA DE TEMPERATURA °C					MASSA RESIDUAL %
		100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	
6	<i>IN NATURA</i>	1,08	8,62	63,44	6,91	3,11	16,84
	TERMORETIFICADA	0,36	8,99	63,53	5,96	3,03	18,13
8	<i>IN NATURA</i>	0,31	7,82	64,93	6,18	3,29	17,47
	TERMORETIFICADA	0,69	8,85	64,06	6,48	3,45	16,48
18	<i>IN NATURA</i>	0,42	8,42	63,29	10,25	3,61	14,01
	TERMORETIFICADA	1,08	8,15	63,53	7,68	2,76	16,81

Na faixa de temperatura de 100 a 200 °C os valores médios de perda de massa, no geral, foram menores. Pereira et al. (2013), também encontraram menor perda de massa nessa faixa de temperatura. Os autores ressaltam que os componentes da madeira são termicamente estáveis nessa faixa de temperatura, desde que não sejam expostos ao calor por períodos prolongados.

A maior perda de massa foi na faixa de temperatura de 300-400 °C em todas as idades para as madeiras *in natura* e termorretificada. Lengowski et al. (2020) ao estudarem as propriedades da madeira de teca termorretificada na temperatura de 160 °C, também

verificaram uma maior degradação entre 300 °C e 400 ° C, segundo os autores este fato é acarretado pela degradação da celulose, a qual ocorre nessa faixa

Observa-se que, no geral, as maiores massas residuais foram para as madeiras termorretificadas. Essa maior massa residual pode ser explicada pelo fato que as madeiras termorretificadas permanecem com seus componentes mais estáveis termicamente. Soratto (2012) ao estudar várias temperaturas e atmosfera circundante na termorretificação também encontrou maior massa residual para as madeiras submetidas a termorretificação quando comparada com a madeira *in natura*, observando ainda que quanto maior a temperatura utilizada maior foi a massa residual encontrada.

5. 6 Análise Colorimétrica

As características colorimétricas da madeira de *Tectona grandis* L.f nas diferentes idades e nas condições *in natura* e termorretificada estão apresentadas na Tabela 9. Verificou-se que para a variável colorimétrica de a* (coordenada cromática), não houve interação entre os fatores idades e condições da madeira *in natura* e termorretificadas, sendo os mesmos independentes, avaliando-se cada fator separadamente. Para b* (coordenada cromática) e L* (luminosidade) houve interação entre os fatores idades e condições da madeira *in natura* e termorretificada, ou seja, os fatores são dependentes para os índices citados.

Houve diferença estatística no valor de L* para a madeira nas condições *in natura* e termorretificada em todas as idades, onde, após o tratamento de termorretificação, ocorreu diminuição na variável citada. L* expressa a claridade do material, variando de 0 (preto absoluto) a 100 (branco total). De maneira geral, verificou-se que o processo de termorretificação acarretou em escurecimento na madeira.

Lopes et al. (2014a) em estudo sobre a alteração da cor da madeira de *Tectona grandis* L.f por tratamento térmico, ao compararem duas temperaturas (180 e 200 °C), observaram menor valor de L* para a temperatura de 200 °C. Os autores concluíram que ocorreu menor perda de luminosidade para as madeiras de cerne e alburno após o tratamento na temperatura de 180 °C, ou seja, quanto maior a temperatura utilizada no tratamento de termorretificação maior é o escurecimento da madeira. Essa diminuição na luminosidade pode ser explicada pela degradação parcial das hemiceluloses, com formação de novos compostos. No presente estudo, a diminuição no teor de holocelulose não foi significativa, no entanto, houve uma diminuição nos valores médios, exceto na idade de 6 anos.

Verificou-se diferença significativa entre as idades estudadas *in natura* e termorretificada, sendo os menores valores médios de L* encontrado na idade de 18 anos. Esse efeito pode estar atrelado a diferença de cor entre alburno e cerne, sendo esse último mais escuro devido a maior presença de extrativos. Garcia e Marinonio (2016), ao estudarem variação da cor da madeira de teca em função da densidade e teor de extrativos, observaram correlações negativa entre o teor de extrativos total e as coordenadas L*, ou seja, quanto maior o teor de extrativos totais menor é o valor de L*, conseqüentemente, mais escura será a madeira.

Tabela 9. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de *Tectona grandis* L.f nas condições *in natura* e termorretificada em diferentes idades

TRATAMENTO	IDADE (anos)			
	6	8	18	MÉDIA
L* (Luminosidade)				
<i>IN NATURA</i>	59,66 Ba	63,62 Aa	54,08 Ca	59,12
TERMORRETIFICADA	54,3 Bb	60,26 Ab	49,8 Cb	54,79
MÉDIA	56,98	61,94	51,94	56,95
a* (coordenada cromática)				
<i>IN NATURA</i>	7,92	8,44	9,06	8,47 a
TERMORRETIFICADA	5,96	6,8	6,98	6,58 b
MÉDIA	6,94 B	7,62 AB	8,02 A	7,53
b* (coordenada cromática)				
<i>IN NATURA</i>	19,48 Aa	19,3 Aa	16,52 Ba	18,43
TERMORRETIFICADA	14,34 Bb	17,2 Ab	13,52 Cb	15,02
MÉDIA	16,91	18,25	15,02	16,73

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as idades e minúscula entre madeira *in natura* e termorretificada, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Na variável colorimétrica de a*, que expressa coordenada cromática vermelho (+) – verde (-), houve diferença entre a madeira *in natura* e termorretificada, onde as peças tratadas termicamente possuem menor valor de a*. Quando se compara a* entre as idades da *Tectona grandis* L.f, nota-se que a madeira de 18 anos foi encontrada um maior valor médio. Desse modo, a madeira nessa idade tem tonalidade mais avermelhada que as demais.

Bonfatti Jr. e Lengowski (2018) correlacionam a composição química com a variável colorimétrica a^* . Os mesmos concluíram que quanto maior o teor de extrativos, mais escura é a madeira e maior é a pigmentação vermelha. Os resultados encontrados no presente estudo após a termorretificação corroboram com o citado, uma vez que após o tratamento de termorretificação houve tendência de diminuição no teor de extrativo e também menor valor médio de a^* .

A variável b^* expressa a coordenada cromática amarelo (+) – azul (-). Houve diferença em b^* entre a madeira *in natura* e termorretificada para todas as idades estudadas. Após a termorretificação houve redução de 26,39; 10,88 e 18,16% de b^* , respectivamente, nas idades de 6, 8 e 18 anos (Tabela 9). Pincelli et al. (2012) afirmam que a coloração amarela está associada à presença de cromóforos nos extrativos. Essa correlação explica a redução após a termorretificação, a qual ocasionou perda no teor de extrativos totais no presente estudo. Griebeler et al. (2018) também observaram diminuição em b^* nas madeiras de *Eucalyptus grandis*, quando submetidas ao tratamento de termorretificação nas temperaturas de 140, 160 e 180 °C, em relação a testemunha.

6. CONCLUSÕES

- A termorretificação influenciou no teor de extrativos totais, espessura da parede das fibras, umidade equilíbrio higroscópico e acarretou um escurecimento na madeira em todas as idades.
- A idade de 18 anos apresentou maior diferença nas propriedades, em comparação as idades de 6 e 8 anos, como maior teor de extrativos totais, lignina total, holocelulose, comprimento da fibra, largura, densidade básica, dureza de Janka e compressão paralela as fibras, e menor umidade equilíbrio higroscópico, retração volumétrica e fator anisotrópico.
- O pico de degradação máxima dos constituintes químicos da madeira ocorreu aproximadamente na mesma faixa de temperatura (300-400 ° C) dentro de cada idade, tanto para a madeira *in natura* quanto termorretificada em todas as idades.

7. REFERÊNCIAS

- ALLEGRETTI O.; BRUNETTI M.; CUCCUI I.; FERRARI S.; NOCETTI M.; TERZIEV N. Thermo-vacuum modification of spruce (*Picea abies* Karst.) and fir (*Abies alba* Mill.) wood. **BioResources**, Raleigh, v. 7, n. 3, p. 3656-3669, jun., 2012.
- ARAÚJO, S. O. **Propriedades de madeiras termorretificadas**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência Florestal, Programa: Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2010.
- ARAÚJO, S. O., VITAL; B. R.; MENDOZA, Z. M. S. H.; VIEIRA, T. A.; CARNEIRO, A. C. O. Propriedades de madeiras termorretificadas de *Eucalyptus grandis* e SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 327-336, set., 2012.
- ARRUDA, T. P. M.; LOGSDON, N. B.; SILVA, J. R. M.; LIMA, D. F.; PROTÁSIO, T. P. Densidades da madeira de Teca de primeiro desbaste. **Revista da Madeira**. n 136, jul. 2013. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1694&subject=E%20mais&title=Densidades%20da%20madeira%20de%20Teca%20de%20primeiro%20desbaste. Acesso em: 10 jan. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, 107p. 1997.
- AYTIN, A.; KORKUT, S. Effect of thermal treatment on the swelling and surface roughness of common alder and wych elm wood. **Journal of forestry research**, China, v. 27, n. 1, p. 225-229, oct., 2015.
- BAKAR, B. F. A.; HIZIROGLU, S.; TAHIR, P. M. Properties of some thermally modified wood species. **Materials and Design**, v. 43, p. 348-355, 2013.
- BATISTA, D. C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP HolzSysteme®**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.
- BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v. 20, n. 4, p. 665-674, out./dez 2010.
- BATISTA, D. C.; MUÑIZ, G. I. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; NISGOSKI, S. Effect of the Brazilian thermal modification process on the chemical composition of *Eucalyptus grandis* juvenile wood: Part 1: Cell wall polymers and extractives contents. **Maderas Ciencia y tecnologia**. Concepción, v. 18, n. 2, p. 273-284, apr. 2016a.
- BATISTA, D. C.; PAES, J. B.; MUÑIZ, G. I. B.; NISGOSKI, S.; OLIVEIRA, J. T. S. Microstructural aspects of thermally modified *Eucalyptus grandis* wood. **Maderas Ciencia y tecnologia**. Concepción, v. 17, n. 3, p. 525-532, oct. 2015.
- BATISTA, D.C.; NISGOSKI, S.; OLIVEIRA, J. T. S.; 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**. Curitiba, v. 26, n.2, p.671-678, abr./jun. 2016b.

BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; MODES, K. S.; STANGERLIN, D. M.; TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R. Resistência ao impacto da madeira de açoita-cavalo em diferentes condições de umidade. **Cerne**. Lavras, v. 16, n. 4, p. 499-504, out./dez. 2010.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G.; ROCHA, V. Y. GHISLAINE MIRANDA. Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. **Floresta**. Curitiba, v. 45, n. 4, p. 671-680, out. / dez. 2015.

BONFATTI JR., E. A.; LENGOWSKI, E. C. Colorimetria aplicada à ciência e tecnologia da madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 38, p 1-13, dez. 2018.

BOONSTRA, M. J.; ACKER, J. V.; TJEERDSMA B. F.; KEGEL, E. V. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. **Annals of Forest Science**. Les Ulis, v. 64, n. 7, p. 679-690, apr. 2007.

BREBU, M.; VASILE, C. Thermal degradation of lignin - a review. **Cellulose Chemistry and Technology**. Romania, v. 44, n. 9, p. 353-363, 2010.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Comportamento isolados da lignina e da celulose da madeira frente à carbonização. **Piracicaba: ESALQ**, 2006.

CHAGAS, S. F.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades da madeira de teca de diferentes idades e oriundas de desbaste. **Revista Ciência da Madeira**. Pelotas v. 5, n. 2, p.138-150, ago. 2014.

CHAGAS, S. F.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades da madeira de teca de diferentes idades e oriundas de desbaste. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 5, n. 2, p 138-150, ago., 2014.

COPANT. Description del características generales, macroscopicas de las maderas angiospermas dicotiledoneas. **Copant**, v.30, p. 1-19, 1974.

COSTA, K. L. **Crescimento de *Tectona grandis* (teca) em sistema silvicultural de talhadia composta em Minas Gerais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2011.

CUCCUI, I.; NEGRO, F.; ZANUTTINI, R.; ESPINOZA, M.; ALLEGRETTI, O. Thermo-vacuum modification of teak wood from fast-growth plantation. **BioResources**, v. 12, n. 1, p. 1903-1915, 2017.

ESTEVEES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: A review. **BioResources**, Raleigh, v. 4, n. 1, p. 370-404, feb., 2009.

ESTEVEES, B. M.; VIDEIRA, R.; PEREIRA, H. Chemistry and ecotoxicity of heat-treated pine wood extractives. **Wood Science and Technology**. Berlin, v.45, n.4, p. 661-676, jul. 2011.

FERNANDES, N. C. L.; VALLE, M. L. A.; CALDERON, C. M. A. Características físicas e anatômicas de *Cedrela odorata L.* e *Cedrelinga cateniformis Ducke*. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v. 25, n. 1, dez. 2018.

FINGER, F. A.; FINGER, Z.; LOGSDON, N. B. Qualificação da madeira de teca, *Tectona grandis L. f.*, oriunda do primeiro desbaste comercial, com vistas a seu aproveitamento. **Madeira: arquitetura e engenharia**, São Carlos, n. 4, v. 12, jan/abril, 2013.

FLÓREZ, J B. **Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis Lf*)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012.

FONTOURA, M. R.; GERALDI, V.; RODRIGUES, E. F.; MOI, C. C.; CERUTTI, G. C.; THIEL, B. R.; TREVIAN R.; WASTOWSKI, A. D Propriedades mecânicas e químicas da madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg. tratada termicamente. **Revista Ciência da Madeira**. Pelotas, v. 6, n. 3, p. 166-175, out./nov. 2015.

FREDRIKSSON, M.; THYBRING, E. E. Scanning or desorption isotherms? Characterising sorption hysteresis of wood. **Cellulose**, v. 25, p. 4477-4485, jun., 2018.

FREITAS, T. P. **Colagem e soldagem de madeira termorretrificada de *Fraxinus Excelsior***. 2019. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2019.

GAFF, M.; KAČÍK, F.; GAŠPARÍK, M.; TODARO, L.; JONES, D.; CORLETO, R.; OSVALDOVÁ L. M.; ČEKOVSKÁ, H. The effect of synthetic and natural fire-retardants on burning and chemical characteristics of thermally modified teak (*Tectona grandis L.f*) wood. **Construction and Building Materials**. England, v. 200, p. 551-558, mar. 2019.

GARCIA, R. A.; MARINONIO G. B. Variação da cor da madeira de teca em função da densidade e do teor de extrativos. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v. 23, n. 1, p. 124-134, 2016.

GIL, J. L. R. A.; BARBOZA, F. S.; CONEGLIAN, A.; SETTE JR, C. R.; SILVA, M. F.; MORAES, M. D. A. Características físicas e anatômicas da madeira de *Tectona grandis Lf* aos 7 anos de idade. **Revista de Ciências Agrárias**. Lisboa, v. 41, n. 2, p. 529-538, fev. 2018.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWING, C. H. **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971, p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O papel**, v. 47, n.8, p.36-38, 1986.

GRIEBELER, C. G. O.; MATOS, J. L. M.; MUNIZ, G. I. B.; NISGOSKI, S.; BATISTA, D. C.; RODRÍGUEZ, C. I. Colour responses of *Eucalyptus grandis* wood to the Brazilian process of thermal modification. **Maderas Ciencia y tecnología**. Concepción, v. 20, n. 4, p. 661-670, oct. 2018.

HILL, C. A. S. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. 1st. Chichester: John Wiley e Sons, 2006. 260p.

HSING, T. Y.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 273-283, jan. /mar. 2016.

HUANG, X.; KOCAEFE, D.; KOCAEFE, Y.; BOLUK, Y.; PICHETTE, A. Changes in wettability of heat-treated wood due to artificial weathering. **Wood science and technology**, New York, v. 46, n. 6, p. 1215-1237, mar., 2012.

HULLER, L. A. S.; HASELEIN, C. R.; SILVEIRA, A. G.; MENEZES, W. M.; TALGATTI, M.; SOUZA, J. T.; SANTINI, E. J. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 37, n. 90, p. 183-188, abr./jun. 2017.

IBÁ - **Indústria Brasileira de Árvores**. Relatório 2019. 80 p. <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – Estado de São Paulo. Métodos de ensaios adotados no IPT para estudos de madeiras nacionais. **Boletim nº 31**. 2ª ed. 60p. 1956.

KOLLERT, W.; KLEINE, M. Global teak study: analysis, evaluation and future potential of teak resources. **IUFRO World Series (Austria) eng v. 36**, 2017. 108p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Rossdorf: TZ-Ver.-Ges., 1990. 343p.

LEMONS, J. A. S.; MENDES, M. C. S.; MADI, J. P. S.; PEREIRA B. L. C.; OLIVEIRA A. C. Influência do método de propagação na produção e qualidade da madeira de *Tectona grandis*. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, n. 6, v. 3, p. 761-765, sep. 2019.

LENGOWSKI, E. C.; BONFATTI JR; E. A.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; Klock, U. Properties of thermally modified teakwood. **Maderas-Cienc Tecnol**, v. 23, oct., 2020.

LEONELLO, E. C.; PALMA, H. A. L; BALLARIN, A. W. Delimitação da madeira juvenil e adulta de *Eucalyptus grandis* em São Paulo, Brasil. **Revista Forestal Venezolana**. Mérida, v. 52, n. 1, p. 93-98, jan. 2008.

LIMA, I. L.; FLORSHEIM S. M. B.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 2, p. 244-250, abr./jun., 2009.

LOPES, J. O.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F.; NASCIMENTO, A. M. Alteração da cor da madeira de teca por tratamento térmico. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v. 21, n. 4, p. 521-534, out./dez. 2014a.

LOPES, J. O.; GARCIA, R. A.; NASCIMENTO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Propriedades Físicas da Madeira de Teca Termorretrificada. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v. 21, n. 4, p. 569-577, out./dez. 2014b.

MEDEIROS, A. R. A.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; SALLES, T. T.; ARAÚJO JUNIOR, C. A.; DAVILA, F. S. Idade técnica do primeiro desbaste de povoamentos de teca em diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 45, n. 116, p. 705-716, dez. 2017.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v. 04, n. 02, p. 152-175, nov. de 2013.

MENEZES, W. M.; SANTINI, E. J.; SOUZA, J. T.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 1019-1024, jun. 2014.

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. 1-2, p. 61-70, dec. 2007.

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

MOURA, L.F; BRITO, J. O.; SILVA JÚNIOR, F. G. Effect of thermal treatment on the chemical characteristics of wood from *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden under different atmospheric conditions. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 449-455, jul./set., 2012.

MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Sci Technol**. Blacksburg, v. 48, p. 411-433, jan. 2014.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química nova**. São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1549-1558, jul. 2010.

OLIVEIRA, J.T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p.929-936, mar. 2010.

PAES, J. B.; SANTOS, L. L.; SILVA, L. F.; MOTTA, J. P.; BRAZ, R. L.; LOMBARDI, L. R. Caracterização tecnológica da madeira juvenil de teca (*Tectona grandis*) visando à produção de móveis. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 3, p. 437-442, abr. 2015.

PASSOS, C. A. M.; BUFULIN JUNIOR, L.; GONÇALVES, M. R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* Lf, em Cáceres–MT, Brasil: resultados preliminares. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 225-232, abr., 2006.

PELAEZ-SAMANIEGO, M. R.; YADAMA, V.; LOWELL, E.; ESPINOZA-HERRERA, R. A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties. **Wood Science and Technology**. Heidelberg, v. 47, n. 6, p. 1285-1319, jul. 2013.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, A. C. Estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v. 37, n. 3, p. 567-576, mai./jun. 2013.

PINCELLI, A. L. P. S. M.; MOURA, L.F; BRITO, J. O. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* woods. **Maderas Ciencia y tecnología**. Concepción, v. 14, n. 2, p. 239-248, mar. 2012.

PINTO, M. L. **Propriedades e características da madeira de Teca (*Tectona grandis*) em função da idade**. 2007. Tese (Doutorado em engenharia civil, programa: pós-graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.

POLETTO, M.; ZATTERA, A. J.; FORTE, M. M. C.; SANTANA, R. M. C. Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size. **Bioresource Technology**. v. 109, p. 148-153, apr. 2012.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; DOS SANTOS, W. A.; DE LIMA OLIVEIRA, G.; SANTOS ABREU, H. Efeito da termoretificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. **Cerne**. Lavras, v. 19, n. 3, p. 391-398, jul./set. 2013.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa: UFV, 1987. 4 p.

RAMOS, L. M. A.; LATORRACA, J. V. F.; PASTRO, M. S.; SOUZA, M. T.; GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**. Piracicaba v. 39, n. 92, p. 411-418, dez. 2011.

RAPOSO, A.; FERMINO JUNIOR, P. C. P.; TEIXEIRA, R. B.; PEREIRA, J. E. S. **Produção de mudas de teca por micropropagação**. Rio Branco: Embrapa, Circular Técnica 56, p. 01-08, 2010.

ROWELL R. M. Moisture properties. In: Rowell R. M. (Org.) **Handbook of wood chemistry and wood composites**. CRC Press, Boca Raton, 2005, p. 77-98.

SANDAK, A.; SANDAK, J.; ALLEGRETTI, O. Quality control of vacuum thermally modified wood with near infrared spectroscopy. **Vacuum**, Oxford, v. 114, p. 44-48, apr., 2015.

SANDBERG, D.; KUTNAR, A.; MANTANIS, G. I. Wood modification technologies - a review. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, Italy, v. 10, n. 6, p. 895-908, dec., 2017.

SETTE JÚNIOR, C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, jun. 2012.

SHUKLA, S. R.; SHARMA, S. K. Effect of high temperature treatment of *Hevea brasiliensis* on density, strength properties and resistance to fungal decay. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, Índia, v. 15, n. 1, p. 87-95, may., 2018.

SIKORA, A., KAČÍK, F.; GAFF, M.; VONDROVÁ, V.; BUBENÍKOVÁ, T.; KUBOVSKÝ, I. Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood. **Journal of wood Science**. Japan, v. 64, n. 4, p. 406-416, apr. 2018.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA J. T. S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 27, n.2, p. 233-239, fev. 2003.

SILVA, R. S.; VENDRUSCOLO, D. G. S.; ROCHA, J. R. M.; CHAVES, A. G. S.; SOUZA, H. S.; MOTTA, A. S. Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L.f em diferentes espaçamentos em Cáceres, MT. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 3, p. 397-405, mai., 2016.

SOARES, A. K.; CADEMARTORI, P. H. G.; EVTYUGIN, D. V.; ZANATTA, P.; GATTO, D. A. Eficiência do tratamento combinado de impregnação e termorreificação nas propriedades da madeira de pinus. **Revista Matéria**. Rio de Janeiro, v. 23, n. 4., fev. 2018.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**. Lavras, v. 21, n. 2, p. 191-197, dez. 2015.

SORATTO, D. N. **Efeito das variáveis do tratamento térmico nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* sp.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2012.

SURINI, T.; CHARRIER, F.; MALVESTIO, J.; CHARRIER, B.; MOUBARIK, A.; CASTÉRA, P; GRELIER, S. Physical properties and termite durability of maritime pine *Pinus pinaster* Ait., heat-treated under vacuum pressure. **Wood Science and Technology**, New York, v. 46, n. 1-3, p. 487-501, jan., 2012.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. **TAPPI Test Methods**, Atlanta, 1996.

THYBRING, E. E. The decay resistance of modified wood influenced by moisture exclusion and swelling reduction. **International Biodeterioration & Biodegradation**, England, v. 82, p. 87-95, aug. 2013.

TURKOGLU, T.; TOKER, H.; BAYSAL, E.; KART, S.; YUKSEL, M.; ERGUN, M. E. Some surface properties of heat treated and natural weathered oriental beech. **Wood Research**, Bratislava, v. 60, n. 6, p. 881-890, dec., 2015.

WINANDY, J. E.; ROWELL, R. M. Chemistry of wood strength. **In: Handbook of wood chemistry and wood composites**. Ed. Rowell, R. M. p. 329-330. 2005.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**. London, v. 86, n. 12-13, p. 1781-1788, aug. 2007.

YOUNSI, R.; KOCAEFE, D.; PONCSAK, S.; KOCAEFE, Y. Computational and experimental analysis of high temperature thermal treatment of wood based on ThermoWood technology. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 21-28, jan., 2010.

ZENID, G. J. Madeiras e suas características. In: Oliveira, J. T. S.; Fiedler, N. C. Nogueira, M. (Eds.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2007. p.125-157.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Variáveis da termorretificação testadas em fase de pré-testes.

ATMOSFERA CIRCUNDANTE	TEMPERATURA (°C)
VÁCUO	160
	180
	220
NITROGÊNIO	160
	180
	220