



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JAILY KERLLER BATISTA DE ANDRADE

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS
DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA DECK**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2021

JAILY KERLLER BATISTA DE ANDRADE

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS
DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA DECK**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para a obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
Coorientador: Prof. Dr. Djeison Cesar Batista

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

A553e Andrade, Jaily Kerller Batista de, 1989-
Efeito da modificação térmica nas propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto para deck / Jaily Kerller Batista de Andrade. - 2021.
96 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.
Coorientador: Djeison Cesar Batista.
Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Eucalipto. 2. Análise térmica. 3. Acabamentos em madeira. 4. Colorimetria. I. Paes, Juarez Benigno. II. Batista, Djeison Cesar. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

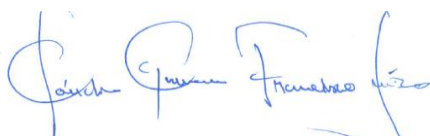
CDU: 630*38

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA
MADEIRA DE EUCALIPTO PARA DECK**

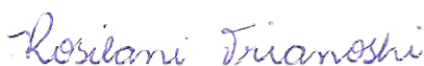
Jaily Kerller Batista de Andrade

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 31 de agosto de 2021.



Prof. Dr. Claudio Gumane Francisco Juizo (Examinador externo)
ISPM Moçambique



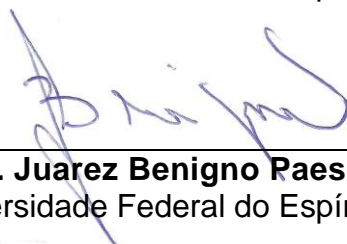
Profª. Drª. Rosilani Trianoski (Examinadora externa)
Universidade Federal do Paraná



Dr. Fred Willians Calonego (Examinador externo)
Conseg Serviços de Preparação de Documentos Eireli



Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais João Claudino de Andrade e Anita Batista de Andrade (*in memoriam*) pelos ensinamentos e esforços despendidos para que eu pudesse chegar até aqui. Às tias Lina e Zélia pelo carinho, amor incondicional e que sempre me incentivaram na busca dos meus projetos de vida.

À Universidade Federal do Espírito Santo, e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais pela oportunidade de cursar o doutorado; à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pela bolsa durante cinco meses e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa na última fase do curso.

À empresa Master Piso – Construções de Pisos Revestimentos Ltda, pela realização do ensaio do impacto por esfera cadente, em especial a Ana Paula Namikata da Fonte por sempre estar disponível em nos atender.

Ao meu Orientador, Juarez Benigno Paes, que me coorientou desde o mestrado. Agradeço por todos os ensinamentos no decorrer do curso, que contribuíram não só para a minha formação acadêmica, mas também para minha vida pessoal. Obrigado pela confiança e incentivo em poder sempre buscar o melhor.

Ao Professor Djeison Cesar Batista pela coorientação, que sempre nos auxiliou nas análises, com sugestões de melhoria e que foram de grande valia para o desenvolvimento da pesquisa.

À banca examinadora, composta pela professora Rosilani Trianoski, professor Claudio Gumane Francisco Juizo, pesquisador Fred Williams Calonego e o professor Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho, pelas contribuições e sugestões para melhoria do trabalho.

À Jaqueline R. Medeiros, amiga e companheira de laboratório que me auxiliou durante as análises. Obrigado por compartilhar esses momentos, que nem sempre foram fáceis. Sua ajuda foi essencial para a pesquisa.

Aos Técnicos Elecy Constantino (Marcenaria) e Luciano Dias (Laboratório) e ao Nahanni R. C. Paes pelo auxílio na produção das amostras teste e análises químicas.

Aos amigos conhecidos no Espírito Santo, que levarei para a vida, Aécio Dantas, Jéssica Grama, Rayane Menezes, Sandra Bezerra e Paulo Filho. Obrigado pela amizade, por todos os momentos de descontração, conselhos e por sempre

estarem presentes durante essa minha etapa. E, por último, agradeço ao Ser Supremo pela gratidão e todas as dificuldades que enfrentei ao longo desse caminho, se não fosse por elas, hoje eu não seria quem sou.

A todos, minha sincera gratidão!

Esta tese é dedicada ao meu pai, João Claudino de Andrade. Sem sua força e incentivo, nada disso teria acontecido. Obrigado por se fazer presente, mesmo que distante, tornando o possível para a realização dos meus sonhos. Ao senhor, dedico imensamente.

RESUMO

ANDRADE, Jaily Kerller Batista de. **EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA DECK.** 2021. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes, Coorientador: Prof. Dr. Djeison Cesar Batista.

Considerando a diversidade de madeiras tropicais presentes no Brasil, e que são usadas comercialmente, poucas espécies são utilizadas para a produção de pisos, em especial para *deck*. Em decorrência da exploração desordenada de espécies tropicais nativas, madeiras provenientes de reflorestamento, principalmente aquelas do gênero *Eucalyptus* vêm sendo utilizadas com o intuito de suprir a demanda. No entanto, algumas propriedades dessas madeiras necessitam ser melhoradas; assim, sugeriram os tratamentos térmicos, que podem agregar qualidades a fim de atenderem ao mercado. Desta forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos da modificação térmica nas propriedades tecnológicas da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos de idade, para a produção de *deck*. Para tanto, foram utilizados três clones (A, C e E), duas temperaturas de tratamento térmico da madeira (185 e 200 °C) e, comparadas ao controle. Realizaram-se ensaios de colorimetria, caracterização química, física e mecânica, acabamento superficial, arrancamento de parafuso, resistência ao impacto da esfera cadente e o efeito do envelhecimento acelerado na cor da madeira. Os tratamentos térmicos promoveram o escurecimento e uniformização da cor dos clones avaliados, e também alterações positivas nas propriedades físico-químicas, sem alterações significativas das propriedades mecânica avaliadas. Eles também não influenciaram negativamente na aderência e fixação do *stain*, tendo as madeiras com acabamento resistido melhor ao intemperismo artificial. Contudo, o tratamento térmico a 185 °C, para a madeira de clones de eucalipto, e o clone A, promoveram melhores mudanças na resistência ao envelhecimento acelerado, uniformidade da cor e nas propriedades químicas, físicas e mecânicas da madeira, permitindo sua utilização em pisos de baixa circulação, como em *decks*.

Palavras-chave: Tratamento térmico, propriedades da madeira, pisos, acabamentos superficiais, envelhecimento acelerado, colorimetria.

ABSTRACT

ANDRADE, Jaily Kerller Batista de. **EFFECT OF THERMAL MODIFICATION ON TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF EUCALYPTS WOOD FOR DECKING.** 2021. Thesis (Doctorate in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes, Co-advisor: Prof. Dr. Djeison Cesar Batista.

Considering the diversity of tropical woods present in Brazil, which are used commercially, few species are used for the production of floors, especially for decks. As result of the disorderly exploitation of native tropical species, wood from reforestation, especially those of the *Eucalyptus* genus, has been used in order to attend the demand. However, some properties of these woods need to be improved; thus, suggest the thermal treatments, which can add qualities in order to serve the market. This research aims to evaluate the effects of heat treatment on the technological properties of wood from 14-year-old *Eucalyptus* hybrid clones for deck production. For this purpose, three clones (A, C and E), two wood heat treatment temperatures (185 and 200 °C) and the control were used. Tests were carried out on colorimetry, chemical, physical and mechanical characterization, surface finish and stain adhesion, screw-holding and resistance to the impact of the falling sphere and the effect of accelerated aging on the color of the wood. The thermal treatments promoted the darkening and uniformity of the color of the evaluated clones, as well as positive changes in the physicochemical properties, without relevant changes in the evaluated mechanical properties. They also did not negatively influence the adhesion and fixation of the stain, with the finished woods having better resistance to artificial weathering. Thus, the heat treatment at 185 °C, for wood from *eucalypts* clones, and clone A, promoted better changes in resistance to accelerated aging, color uniformity and in the chemical, physical and mechanical properties of the wood, allowing its use on floors with low circulation, such as decks.

Keywords: Heat treatment, wood properties, floors, surface finishes, accelerated aging, colorimetry.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 O GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	14
2.2 PISOS DE MADEIRA MACIÇA, QUALIDADE E CLASSIFICAÇÃO.....	16
2.2.1 Características do piso tipo deck	17
2.2.2 O setor de pisos de madeira	19
2.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA, PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA E SUAS INFLUÊNCIAS NA ESCOLHA DE UMA ESPÉCIE FLORESTAL PARA PRODUÇÃO DE PISOS DE MADEIRA.....	21
2.4 MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA.....	22
2.4.1 Alterações nas propriedades físicas da madeira	24
2.4.2 Alterações na composição química da madeira	26
2.4.3 Alterações nas propriedades mecânicas da madeira	26
2.5 RESISTÊNCIA DE PISOS EXTERNOS AOS AGENTES DETERIORADORES.	27
2.6 ACABAMENTOS SUPERFICIAIS	28
2.7 ENVELHECIMENTO ACELERADO	30
2.8 COLORIMETRIA DA MADEIRA.....	33
3 METODOLOGIA	35
3.1 LOCALIZAÇÃO DO PLANTIO, AMOSTRAGEM E PREPARO DO MATERIAL..	35
3.2 TRATAMENTOS E MODIFICAÇÃO TÉRMICA.....	36
3.3 COLORIMETRIA DA MADEIRA.....	40
3.4 ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA.....	41
3.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E DUREZA JANKA	42
3.6 ACABAMENTO SUPERFICIAL E ADERÊNCIA DO <i>STAIN</i>	44
3.7 ARRANCAMENTO DE PARAFUSO E IMPACTO DA ESFERA CADENTE	45
3.8 ENVELHECIMENTO ACELERADO E COLORIMETRIA.....	47
3.9 ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 COLORIMETRIA DA MADEIRA.....	50

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E CORRELAÇÃO COM A COR	56
4.2.1 Química da madeira antes e após os tratamentos térmicos	56
4.2.2 Relações entre a química e parâmetros colorimétricos da madeira	59
4.3 PERDA DE MASSA, TEOR DE UMIDADE E DENSIDADES.....	62
4.4 CONTRAÇÕES LINEARES E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA.....	66
4.5 INCHAMENTO DA MADEIRA ANTES E APÓS OS TRATAMENTOS TÉRMICOS	70
4.6 DUREZA JANKA, IMPACTO DA ESFERA DE AÇO, ARRANCAMENTO DE PARAFUSO E ADERÊNCIA DE <i>STAIN</i>	73
4.7 RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO E ESTABILIDADE DA COR.....	77
5 CONCLUSÕES	83
6 REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

A madeira é o principal produto extraído de florestas naturais ou plantadas, sendo considerada um material versátil com características complexas. Suas propriedades podem ser beneficiadas, por meio do melhoramento genético e manejo adequado, conforme sua finalidade de uso. É utilizada de diversas formas, como na produção de celulose, carvão vegetal, produtos serrados, painéis reconstituídos, fabricação de móveis, na fabricação de pisos, entre outros. No entanto, o seu uso ainda se restringe na utilização de florestas nativas, podendo acarretar na redução desse recurso de forma a não garantir a sustentabilidade.

Sabe-se que existem variações nas propriedades tecnológicas da madeira entre espécies, dentro de uma mesma espécie florestal, entre árvores e dentro da mesma árvore (TSOUMIS, 1991). O conhecimento desse comportamento tem sido importante para avaliar se determinadas espécies florestais apresentam melhores características para determinados usos industriais, principalmente quando se deseja produzir pisos de madeira maciça.

Considerando a diversidade de madeiras tropicais presentes no Brasil, e que são usadas comercialmente, poucas espécies são utilizadas para a produção de pisos, em especial para a produção de decks. Assim, surge a necessidade de novas alternativas que venham a suprir a demanda desses produtos. Além disso, estudos sobre a qualidade da madeira, visando determinados tipos de uso são importantes para o conhecimento de suas características, visto que a qualidade do produto final está diretamente relacionada com a da madeira utilizada.

As florestas plantadas no Brasil, conforme a Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2020) totalizam cerca de 9 milhões de hectares, dos quais 6,97 milhões são com eucalipto, onde o país apresentou uma produtividade média de 35,3 m³/ha ao ano. A ampla variedade de espécies e híbridos de *Eucalyptus*, de rápido crescimento, com distintas capacidades de adaptação edafoclimáticas associado à facilidade de propagação por sementes e clonagem, favorece a adaptação para a maioria das regiões tropicais do Brasil (SILVA; XAVIER, 2006; STACKPOLE et al., 2011); tais características favorecem a disponibilidade da madeira de eucalipto para diversos usos. Necessitando, em alguns casos, de pesquisas a fim de melhorar e adequar a qualidade da mesma para uma finalidade específica.

O mercado de pisos de madeira é responsável por uma grande quantidade de empregos e por uma movimentação expressiva de renda (POLZL; SILVA, 2001). No entanto, os pisos de madeira sólida são fabricados, principalmente a partir de espécies tropicais provenientes da Floresta Amazônica, o que tornou tema de debates, tanto nacionais quanto internacionais. Contudo, por ser uma fonte natural e renovável, a madeira pode ser obtida de árvores oriundas de plantios florestais comerciais ou de florestas naturais, devidamente manejadas. Por isso, é necessário conhecer a matéria-prima e adotar procedimentos adequados para obtenção da melhor forma de uso do material, garantindo a satisfação daqueles que a utilizam (ANDRADE, 2015).

Dentre os diversos tipos de pisos disponíveis no mercado existem aqueles que podem ser empregados em ambientes internos (taco, parquet e pisos engeheirados) e externos; conhecidos por decks, os quais são frequentemente empregados ao redor de piscinas, mezaninos, varandas e em áreas de acesso em parques e hotéis fazenda.

Por serem destinados ao uso em ambientes externos, estão susceptíveis às intempéries e não existe necessidade de controle rigoroso de umidade, durante o processo de secagem. Por isso, deve ser constituído de material resistente ao apodrecimento e danos causados por organismos xilófagos (GUIMARÃES et al., 2018). Desta forma, ressalta-se a importância de estudos sobre espécies alternativas para a sua produção e de formas de prolongar a vida útil das instalações e minimizar os efeitos causados pela retirada de madeiras nativas. Além disso, estudos envolvendo a utilização de espécies de eucalipto para produção de decks de madeira maciça são escassos, o que tornará este estudo uma fonte de dados que contribuirá com o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre o tema.

Madeiras para utilização em pisos, principalmente aquelas expostas às condições ambientais, necessitam de acabamentos que possam aumentar a sua durabilidade, uma vez que ela é um material biológico e se deteriora pela ação da radiação ultravioleta, fatores ambientais e agentes xilófagos. A aplicação do *stain* reforça ainda mais as características de sua superfície, aumentando assim, a durabilidade, impermeabilidade e diminuição de gastos com a manutenção do deck.

Assim, para melhorar as propriedades tecnológicas da madeira de clones de eucalipto, como as características físico-mecânicas, químicas e biológicas,

principalmente quanto sua estabilidade dimensional e durabilidade, é possível usar tratamentos térmicos, que além de propiciar ganhos nas propriedades da madeira, melhora a sua qualidade, agrega valor aos produtos e amplia a possibilidade de utilização. Além disso, a madeira modificada termicamente adquire uma coloração escura, o que pode ser vista como uma característica comercialmente atrativa para a produção de decks.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos da modificação térmica nas propriedades tecnológicas da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos de idade, para a produção de deck.

1.1.2 Objetivos específicos

- Testar diferentes temperaturas para o tratamento térmico da madeira de clones de eucalipto e determinar qual irá obter melhores resultados nas características tecnológicas da madeira;
- Analisar a influência da modificação térmica nas propriedades químicas da madeira;
- Verificar a variação da densidade básica e retratibilidade da madeira submetida aos tratamentos térmicos;
- Analisar e comparar a dureza Janka obtida pela madeira antes e após a modificação térmica; bem como os resultados de massa específica;
- Verificar o comportamento das madeiras tratadas de *Eucalyptus* spp. para a produção de deck, por meio de métodos de qualificação de superfícies, como a aderência do material de acabamento;
- Analisar o efeito da modificação térmica no envelhecimento acelerado e aplicação de *stain* sobre a cor da madeira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O GÊNERO *Eucalyptus*

O eucalipto foi descoberto pelos ingleses em 1788, na Austrália, entretanto, algumas publicações fazem referência à Nova Zelândia e Tasmânia (MACHADO et al., 2014). O nome eucalipto é a designação vulgar das diversas espécies vegetais que compõem o gênero *Eucalyptus* e significa “verdadeira cobertura” no grego. É traduzido por *eu* (bem) e *kalipto* (cobrir) e está relacionado ao seu fruto, uma estrutura globular caracterizada pelo opérculo que protege suas sementes. Pertence à família Myrtaceae e tem origem no continente australiano. Segundo Bertola (2013), existem aproximadamente 700 espécies identificadas, quase todas originárias da Austrália, existindo apenas um pequeno número de espécies na Indonésia e Filipinas.

Foi introduzido no Brasil no século XX por Edmundo Navarro de Andrade, que realizou os primeiros estudos com espécies do gênero. Em virtude de seus trabalhos na Companhia Paulista de Estradas de Ferro e outras pesquisas relacionadas, constatou a superioridade da planta, quando comparada com espécies florestais nativas, para a finalidade energética para as locomotivas e produção de madeira sólida para dormentes e postes (FLORES, 2016).

O gênero *Eucalyptus* é visto como uma das mais importantes alternativas para a produção de madeira em curto espaço de tempo, não somente por sua capacidade produtiva e adaptação aos diversos ambientes, mas principalmente pela grande diversidade de espécies com capacidade de atender aos requisitos tecnológicos necessários aos segmentos da produção industrial (SILVA, 2009) e pela capacidade de hibridação e clonagem.

O setor florestal brasileiro possui cerca de 9 milhões de hectares de áreas de florestas plantadas, dos quais 6,97 milhões são do gênero *Eucalyptus*. Os plantios de clones, espécies e híbridos desse gênero são utilizados pela indústria de base florestal como a principal fonte de insumo nos processos de produção de celulose, carvão vegetal, painéis de madeira reconstituída e usinas de tratamento de madeira (IBÁ, 2020). O uso da madeira para tais finalidades está relacionado com algumas características do gênero, como o rápido crescimento, facilidade de adaptação às

diversas condições climáticas e solos, diversidade de espécies e capacidade de propagação (SILVA; XAVIER, 2006; STACKPOLE et al., 2011).

De acordo Benatti (2013), por ser oriundo de regiões tropicais, o gênero *Eucalyptus* possui espécies tolerantes a diferentes ambientes. Suas características o tornam adaptável a condições mais adversas. Tal rusticidade fez com que o mesmo ocupasse diferentes áreas do mundo. A madeira de *Eucalyptus* é utilizada para o abastecimento da maior parte da indústria de base florestal brasileira, sendo o gênero florestal mais implantado e estudado.

No Brasil, o cultivo é realizado em condições distintas, com plantios em regiões próximas ao litoral, cuja precipitação não é considerada um fator limitante e em áreas de altas altitudes, em que as temperaturas baixas podem interferir no crescimento. Além disso, também existem cultivos no Brasil Central, onde as características edafoclimáticas nem sempre são favoráveis, como por exemplo, a baixa fertilidade do solo e déficit hídrico, juntamente com altas temperaturas. Em outras regiões, as condições diferem das comumente utilizadas para o plantio das espécies do gênero, porém tem sido intensificada a expansão dos cultivos (SOUZA et al., 2017).

Na Região Sudeste está concentrado a maior quantidade de florestas plantadas de eucalipto do País. Essa expressividade ocorreu pelo grande número de espécies viáveis de serem cultivadas, pelos testes de competição instalados nas décadas de 1960 e 1980 e, principalmente, pela substituição de mudas seminais por clonais. Além disso, as inovações tecnológicas relacionadas às estratégias de melhoramento genético contribuíram para o desenvolvimento desse cenário (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2011).

O potencial do eucalipto proporciona um importante leque de alternativas para a obtenção de madeira com diferentes características tecnológicas. No entanto, o sucesso do investimento nessa cultura requer atenção para alguns pontos, como a escolha do material genético, preparo mínimo da área, controle de pragas e doenças e tratos silviculturais. Dentre as principais espécies utilizadas, destacam-se o *Eucalyptus grandis* e seus híbridos, sobretudo com a espécie *E. urophylla*, pelo seu uso intensivo e crescente nos segmentos industriais e para a produção de madeira serrada (FONSECA et al., 2007; SILVA, 2009).

2.2 PISOS DE MADEIRA MACIÇA, QUALIDADE E CLASSIFICAÇÃO

A madeira é constituída por células que desempenham diferentes funções na planta e que a torna um material complexo. Por apresentar diversidade nas suas características de resistência mecânica, cor e textura, o uso da madeira em pisos é agradável pela aparência estética e sensação de conforto. Entretanto, por ser de origem biológica, pode apresentar comportamentos indesejados, destacando-se a necessidade de se conhecer o material e utilizar processos e procedimentos adequados para se obter o melhor desempenho dos produtos e a satisfação dos usuários (ANDRADE, 2015).

Para Silva e Bittencourt (2002), piso é considerado uma superfície qualquer, contínua ou não, construída com a finalidade de permitir o trânsito leve a pesado. O piso de madeira maciça é definido com aquele em que há o beneficiamento da madeira, sem combinações com outros tipos de produtos processados. Alguns fatores devem ser levados em consideração, como a estética, economia, qualidade e segurança.

Segundo a Associação Nacional de Produtores de Pisos de Madeira – ANPM (2018), no Brasil existe uma diversidade de espécies utilizadas para a fabricação de pisos de madeira maciça. A heterogeneidade entre espécies, variações de cores, dimensões e formatos possibilitam a concepção de uma ampla gama de padrões de acabamentos e revestimento. Para selecionar uma espécie como adequada à fabricação de pisos de madeira, devem ser observadas, principalmente, as propriedades físico-mecânicas como massa específica, dureza Janka e estabilidade dimensional. Adicionalmente, a escolha do piso de madeira pelo comprador está relacionada com aspectos estéticos (cor, textura, brilho) e as tendências da moda e do mercado.

Dentre as espécies florestais madeireiras utilizadas para a produção de pisos maciços no Brasil, destacam-se o amendoim (*Pterogyne nitens*), cabreúva-vermelha (*Miroxylon balsamum*), cumarú (*Dipteryx odorata*), ipê (*Tabebuia* sp.), jatobá (*Hymenaea* sp.), muiacatiara (*Astronium lecointei*), pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*), perobinha (*Aspidosperma sunbincanum*), roxinho (*Peltogyne recifenses*) e sucupira (*Diplotropis purpurea*). A escolha da espécie implicará na qualidade do produto final. Assim, a qualidade do piso está diretamente relacionada

com a qualidade da madeira. É necessário observar a finalidade e tipo de peça de madeira que se pretende produzir (ANPM, 2008).

Os pisos de madeira maciça já foram alvos de muitas discussões, tanto nacionais quanto internacionais, isso porque em sua maioria, são produzidos de árvores provenientes da Floresta Amazônica. No entanto, o uso sustentável desses recursos favorece a agregação de valor aos produtos e contribui com o manejo das florestas, os quais serão convertidos para outras finalidades (ANDRADE, 2015).

Como forma de minimizar os impactos causados pela exploração inadequada dos recursos naturais provenientes de florestas tropicais, outras espécies foram estudadas como alternativa para a produção de pisos de madeira maciça, destacando-se as espécies do gênero *Eucalyptus*. Estudos realizados por Barroso (1983), Boland et al. (1984), Nogueira (1991) já indicavam o uso da madeira de eucalipto para a produção de assoalhos, tanto para usos residenciais, quanto industriais. Trabalhos mais recentes, desenvolvidos por Gonzalez et al. (2006) destacaram o potencial do *Eucalyptus cloeziana* para a fabricação de pisos.

De acordo com as características como dimensões, espécies, acabamento superficial e presença ou ausência de encaixes laterais, os pisos de madeira recebem nomenclaturas diferentes. Eles podem ser laminados, engenheirados ou maciços. Dentro da categoria de pisos maciços existe outra classificação; podendo ser dividida entre decks, os quais são utilizados em ambientes externos e *flooring*, utilizados em ambientes internos. As características de cada um devem ser observadas na escolha do piso ideal (ANPM, 2018) e, da matéria-prima (madeira) para a sua produção.

2.2.1. Características do piso tipo *deck*

Os pisos tipo *deck* são produzidos de peças de madeira maciça com largura que varia entre 60 a 150 mm, possuem espessura de 18 a 30 mm e comprimento variável. Seus lados são arredondados ou boleados para evitar acidentes e podem apresentar encaixes do tipo macho e fêmea. A face superior pode ser lisa, corrugada ou ranhurada, essas últimas, são desejáveis para o aumento antiderrapante do produto (OLIVEIRA et al., 2015).

São frequentemente empregados em pisos ao redor de piscinas, mezaninos, varandas e áreas de acesso em parque e hotéis fazendas. Por serem destinados ao uso em ambientes externos, estão susceptíveis às intempéries e não existe necessidade de controle rigoroso de umidade. Por isso, deve ser constituído de material resistente ao apodrecimento e danos causados por organismos xilófagos. A manutenção desse tipo de piso deve ser realizada anualmente para conservar suas características e evitar o desgaste, o que pode torná-lo oneroso, pois requer vedação, pintura, lixamento, além da substituição periódica de tábuas danificadas (GUIMARÃES et al., 2018).

Segundo Falk e Williams (1996), a durabilidade de um deck de madeira é bem variável e depende da espécie escolhida para o projeto e da periodicidade de manutenção do mesmo. Dessa forma, podem durar décadas, sem haver alteração na sua estrutura. A manutenção não necessita de grandes reparos, o que torna um ponto positivo para utilização do piso. Aplicações de produtos de acabamento, de preferência do tipo *stains*, devem ser realizadas regularmente para impedir a umidade excessiva e o desgaste por agentes externos. Para os autores, uma maneira óbvia de saber se o deck necessita de retoque é a absorção de água pela madeira.

A seleção da madeira é a principal característica para um deck, já que sua qualidade está relacionada com a matéria-prima empregada. Na escolha do melhor material, é importante observar a disponibilidade para manutenção e o local em que será aplicado. A umidade da madeira também deve ser levada em consideração, pois como o deck está sujeito à ação de chuvas, deve haver uma boa drenagem da água para evitar o acúmulo e deterioração da estrutura (ANDERSON; HEEBINK; OVIATT, 1972).

De modo geral, as madeiras naturalmente duráveis e de procedência certificada, ou as provenientes de reflorestamento (pinus e eucalipto), devidamente tratadas, de acordo com os padrões técnicos, cujas tábuas sejam obtidas por meio de um desdobro radial, durarão mais e com um mínimo de manutenção (LEPAGE, 2013).

2.2.2 O setor de pisos de madeira

Em relação às outras indústrias beneficiadoras de madeira, as indústrias de produção de pisos são consideradas recentes. Por causa disso, os dados são atuais, porém escassos. Segundo Andrade (2015), o setor de base florestal, o qual inclui o segmento de produção de pisos de madeira é limitado pela falta de adoção de padrões internacionais de qualidade. Todavia, nos últimos anos, essa indústria vem passando por um processo de modernização evidente. Do ponto de vista social, a indústria madeireira contribui para a geração de empregos diretos e indiretos. No segmento de obtenção de piso, essa característica se torna mais evidente, pois a classificação do produto é realizada manualmente (SANTOS; LIMA; SILVA, 2010).

A baixa diversidade de madeiras utilizadas para a produção de pisos é vista como um fator limitante para o setor, pois apesar do vasto número de espécies tropicais utilizadas no mercado brasileiro, poucas são direcionadas para pisos. Na construção civil, o consumo desse produto aumenta a cada ano e a matéria-prima usada em sua produção ainda é proveniente de florestas nativas, em especial da Amazônia. Além disso, o elevado custo dessas madeiras e a falta de padronização dificultam sua utilização no mercado (PADILHA et al., 2006; SANTOS; LIMA; SILVA, 2010).

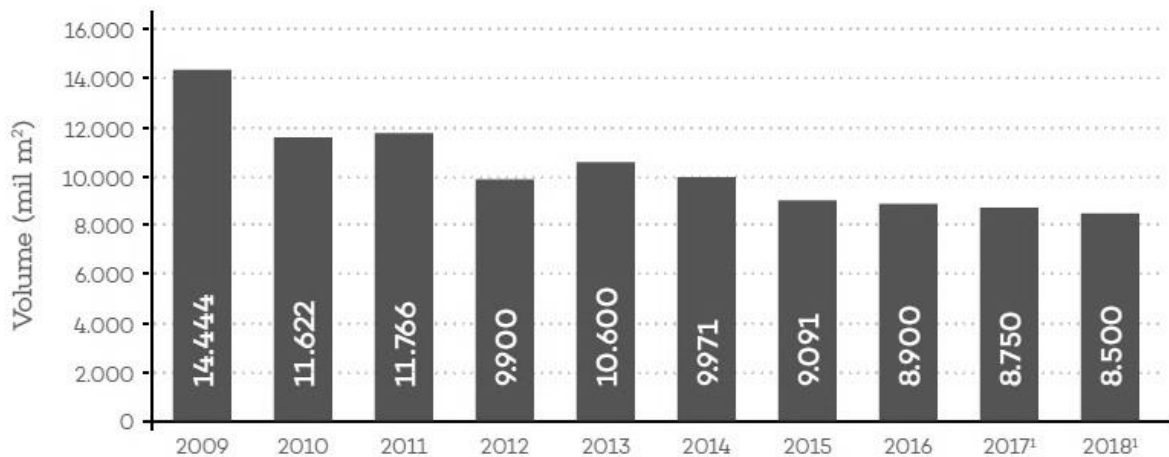
Contudo, a produção de pisos de madeira no País cresceu expressivamente a partir de meados da década de 1990 (IWAKIRI et al., 2006). De 1999 para 2008, a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2009) registrou aumento de 161% na produção de pisos de madeira.

As indústrias do setor florestal brasileiro caracterizam-se, principalmente, pela exportação de matéria-prima de baixo valor agregado, o que não é interessante do ponto de vista econômico e social. Os pisos de madeira agregam um valor superior a 190% em relação à madeira serrada bruta, sendo uma forma viável de aumentar os lucros. No entanto, sua produção e participação ainda são pequenas no mercado. Em termos percentuais, o Brasil representa menos de 5% da produção mundial de pisos de madeira (ANDRADE et al., 2014).

No período de 2000 a 2010 houve um aumento de 15% na produção, avançando de 20 a 23 milhões de m² de pisos por ano. Em decorrência da crise econômica mundialmente, ocorrida entre os anos de 2006 e 2009, houve um

decréscimo na produção (Figura 1). Entretanto, no ano de 2009 o País promoveu 9% da exportação mundial, ficando atrás, apenas da China, responsável por 15% do total (ANPM, 2013).

Figura 1 - Evolução da produção nacional de pisos maciços e engenheirados de 2009 a 2018.



Fonte: ABIMCI (2019).

Em 2015, o País exportou um volume aproximado de 20% a mais em relação ao ano de 2014. Isto ocorreu por causa do câmbio e do número de exportação no período. No ano de 2016, a indústria de madeira sólida, que contempla produtos como compensado, madeira serrada, portas, molduras e pisos, foi responsável por 9% de um total de 369 mil empregos formais. Esse resultado mostra a relevância do setor para a economia brasileira, mesmo diante de um período de desaceleração. No mesmo período, os embarques de pisos maciços, totalizaram 63.317.489 kg, com média mensal de 5.276.457 kg, com crescimento em torno de 20%, comparado a 2015 (ABIMCI, 2016).

No ano de 2017, os produtores de pisos mantiveram os embarques de 2016, cujo principal destino foi os Estados Unidos (66%). O produto conquistou maior participação na França, passando de 6% para 10%, e a Espanha apareceu entre os cinco principais compradores, com 3% (ABIMCI, 2017).

2.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA, PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA E SUAS INFLUÊNCIAS NA ESCOLHA DE UMA ESPÉCIE FLORESTAL PARA PRODUÇÃO DE PISOS DE MADEIRA

A densidade é uma das propriedades físicas mais importantes quando se deseja a produção de decks, pois ela tem influência considerável em outras propriedades. Ela é definida como sendo a medida da quantidade de material da parede celular presente em uma unidade de volume. De acordo com o tipo de material selecionado para a produção de um piso de madeira, pode ocorrer variações dessa característica, dentro da mesma espécie e da mesma árvore. Essa variação pode ser afetada por fatores como a herança genética, condições fisiológicas e fatores do meio (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

A madeira destinada à produção de pisos deve possuir densidade variando de moderada a alta e dureza satisfatória. Além disso, propriedades tecnológicas como a retratibilidade e a durabilidade natural devem ser levadas em consideração para a fabricação desse produto. Como se sabe, a massa específica está ligada a sua umidade, causada pelas variações em massa e volume. Portanto, para a determinação da massa específica, é importante conhecer a retratibilidade volumétrica da madeira (TRIANOSKI et al., 2013).

A retratibilidade da madeira é outra característica importante para a produção de decks, visto que a madeira por ser um material higroscópico, passa por alterações dimensionais quando variam a umidade relativa e a temperatura do ambiente, contraindo-se ou expandindo-se, quando perde ou ganha umidade. Essas alterações dimensionais somente ocorrem quando as variações na umidade da madeira ocorrem abaixo da umidade de saturação das fibras (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

Os decks de madeira são constantemente submetidos ao pisoteio e necessitam resistir à deformação. Nesse sentido, o estudo da dureza contribui com informações relevantes para a sua adequada utilização. A dureza é definida como a resistência requerida para um corpo sólido penetrar em outro por meio de esforço. Segundo Kretschmann (2010) e Moreschi (2012), madeiras pesadas são mais resistentes e possuem maior elasticidade e dureza, entretanto são também de

trabalhabilidade mais difícil. Para a fabricação de pisos são utilizadas madeiras de média a alta densidade e dureza.

Quanto às características químicas, alguns extrativos são responsáveis pela coloração, cheiro, gosto e a resistência ao apodrecimento. Existem extrativos que interferem na utilização e qualidade da madeira, variando entre as espécies, dentro da mesma espécie e no próprio indivíduo (PANSIN; DE ZEEUW, 1980). Sabe-se que o teor de lignina influencia diretamente na densidade da madeira, o que torna uma característica desejável para a produção de decks.

O teor de cinzas é uma característica química que também interfere nas propriedades tecnológicas da madeira para a produção de pisos. Segundo Paes et al. (2013), o elevado teor de cinzas promove redução no ataque dos cupins na madeira. Para a correta utilização da madeira na produção de decks, é necessário que se conheçam as suas propriedades tecnológicas. As combinações das características físicas, químicas e mecânicas; bem como as propriedades anatômicas e estéticas, determinam a qualidade da madeira para esta finalidade.

2.4 MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA

A modificação térmica é o processo em que a madeira é submetida a altas temperaturas, as quais são inferiores a sua combustão e variam entre 100 e 250 °C, provocando o início da degradação de seus constituintes químicos fundamentais, principalmente das hemiceluloses que são as mais sensíveis à ação do calor e, geralmente ocorre na ausência de oxigênio ou na deficiência de ar (BORGES; QUIRINO, 2004; BRITO et al., 2006). Como resultado desse processo, tem-se um produto sólido, com características distintas do original. Algumas dessas características são viáveis para diversificar as aplicações da madeira, principalmente, quando exposta às intempéries, como no caso dos decks.

A finalidade do tratamento térmico é melhorar as propriedades da madeira, somente com a ação do calor, causando alterações químicas, físicas e mecânicas. Essas alterações podem variar de acordo com a temperatura, tempo e taxa de aquecimento. As propriedades físicas, químicas e mecânicas devem ser avaliadas para cada espécie e para cada programa de tratamento térmico, visando o aproveitamento do potencial máximo do material. Dessa forma, o tratamento térmico

pode variar desde a secagem até a gaseificação, com eliminação e formação de diversas substâncias por meio de reações simples e outras mais complexas (RODRIGUES, 2009).

Segundo Esteves e Pereira (2009), os processos de modificação térmica mais utilizados são: *Thermowood* (Finlândia), *Plato* (Holanda), *Bois Perdure* e *Rectification* (França) e *Oil Heat Treatment* (Alemanha) (Quadro 1), os quais desenvolvem-se normalmente nas fases de aquecimento, tratamento, arrefecimento e estabilização.

Quadro 1 - Descrição dos principais processos de modificação térmica.

Processos	Descrição
<i>Thermowood</i>	Aumento rápido da temperatura usando calor e vapor até 100 °C seguido de um aumento mais suave até 130 °C e secagem durante 1h. Aumento até à temperatura de tratamento (185-215 °C) que se mantém durante cerca de 2-3h. Arrefecimento e estabilização.
<i>Plato</i>	Processo em quatro etapas: hidrotérmólise, a temperaturas de 160-190°C em condições húmidas e com pressões acima da pressão atmosférica, secagem normal até 10% de humidade, tratamento térmico a seco a temperaturas de 170-190 °C e estabilização.
<i>Bois Perdure</i>	Secagem rápida com vapor e gases de combustão quentes produzidos pela subida na temperatura da madeira e reinjetados na câmara de combustão.
<i>Retification</i>	A madeira com humidade de 12% é tratada numa fase, a temperaturas de 200-240 °C com azoto (nitrogênio), garantindo um máximo do oxigênio de 2%.
<i>OHT</i>	Tratamento com óleo quente (180-240 °C) num recipiente fechado que limita o teor de oxigênio.

Fonte: Esteves e Pereira (2009).

É importante lembrar que o aquecimento, não é o único responsável pelas mudanças ocorridas na madeira. Há outros fatores adicionais que contribuem para o processo, como a velocidade de aquecimento, tempo de tratamento, pressão, atmosfera e a espécie florestal empregada. Nessas condições, são gerados produtos que possuem características distintas da madeira original. Assim, é

possível administrar a interação desses fatores de forma a atender ao objetivo específico do processo (BRITO et al., 2006).

Os benefícios do tratamento térmico são diversos e comprovados por pesquisas científicas, podendo observar alterações no aumento na estabilidade dimensional e a resistência contra intempéries, causadas pela melhoria nas propriedades de molhabilidade, dureza superficial e ligação com adesivos. Reduz o teor da umidade de equilíbrio e melhora a propriedade de inchamento. A redução da variação dimensional agrega valor ao produto comercializado, permitindo a utilização de espécies antes descartadas. A madeira adquire uma coloração levemente escurecida, visualmente atrativa. Portanto, o tratamento térmico possibilita a obtenção de produtos com maior qualidade e valor agregado (BORGES; QUIRINO, 2004; MOURA; BRITO, 2011).

Em relação à produção de pisos, o tratamento térmico, dependendo da temperatura utilizada, pode proporcionar benefícios como o aumento da densidade da madeira, proporcionado pela redução do volume, tornando viável sua utilização no segmento, com alteração na sua cor original (QUIRINO, 2003). Além disso, já se constatou que esse mesmo tratamento aumenta a resistência a fungos xilófagos, o que é um ponto positivo quando se pretende a utilização em ambientes externos.

2.4.1 Alterações nas propriedades físicas da madeira

Ao avaliarem os efeitos da modificação térmica nas propriedades físicas da madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus saligna*, com 40 anos de idade, Menezes et al. (2014) constataram alterações benéficas na umidade de equilíbrio da madeira de ambas as espécies. As maiores reduções da umidade de equilíbrio foram observadas para as maiores temperaturas. Os autores concluíram que os resultados evidenciam o efeito positivo do tratamento térmico nas propriedades físicas e, conseqüentemente, na estabilidade dimensional da madeira. Tal afirmação reforça a importância dessa característica para usos em móveis, decks e laminados (DIAS JÚNIOR et al., 2015).

Espécies nativas produtoras de madeiras, geralmente possuem densidade elevada, em comparação com algumas espécies de eucalipto. E isso pode ser considerado um ponto positivo em relação às madeiras de reflorestamento, pois

para a produção de pisos, é necessário um material com densidade variando de moderada a alta e dureza satisfatória. No entanto, o processo de modificação térmica promove redução da densidade aparente e da higroscopicidade da madeira, e conseqüentemente, da retratibilidade. Alguns autores notaram reduções de 2 a 6% na densidade de madeiras de *Eucalyptus grandis* submetidas a temperatura de 160 °C, além de redução na higroscopicidade, o que resultou em diminuição na contração e inchamento da mesma (BATISTA, 2012; CALONEGO; SEVERO; BALLARIN, 2012).

Para a avaliação do tratamento térmico em madeiras de espécies florestais da Amazônia, como o ipê (*Tabebuia* sp.) e roxinho (*Peltogyne* sp.), Santana (2016) constatou em sua pesquisa que houve perda de massa em todas as espécies estudadas. Dentre as espécies que apresentaram os menores valores percentuais, está o roxinho, espécie comumente empregada na fabricação de pisos, com 12,26% de perda de massa. Essa diminuição na perda de massa ocorre pela degradação de seus principais constituintes químicos como a celulose, hemicelulose e lignina.

A modificação térmica influencia nessas propriedades à medida que ocasiona a diminuição da umidade de equilíbrio e, conseqüentemente, diminui a higroscopicidade da madeira tratada. O conhecimento das propriedades físicas associadas à higroscopicidade de espécies do gênero *Eucalyptus* não está consolidado; no entanto, um incremento nessas propriedades é de interesse para expandir a gama de possibilidades mercadológicas dessas madeiras (DELUCIS et al., 2014).

A hemicelulose é o componente mais hidrófilo da madeira e também o que é mais influenciado pela degradação causada pelo tratamento térmico. A alteração desse constituinte promove a estabilidade dimensional da madeira, uma vez que reduz a capacidade de troca de água da madeira com o meio. A menor variação dimensional da peça agrega valor ao produto comercializado, permitindo utilização de madeiras antes descartadas, além de permitir a obtenção de um produto com maior qualidade (BORGES; QUIRINO, 2004).

2.4.2 Alterações na composição química da madeira

A modificação térmica da madeira altera sua composição química degradando os compostos da parede celular e extrativos. As transformações químicas ocorrem com o aquecimento e dependem da duração e temperatura do tratamento empregado, sendo a temperatura o principal fator que mais influencia esse processo (BOURGOIS; BARTHOLIN; GUYONNET, 1989). Na faixa entre 20 e 150 °C, ocorre a secagem da madeira, com perda de água livre e de adsorção química. Entre 180 e 250 °C, a madeira passa por transformações químicas, e em temperaturas acima de 250 °C iniciam-se os processos de carbonização com formação de CO₂ e outros produtos da pirólise (ESTEVES; PEREIRA, 2009).

As hemiceluloses são os primeiros componentes estruturais a serem afetados termicamente, mesmo em baixas temperaturas. A degradação começa por desacetilação, e o ácido acético liberado age como um catalisador de despolimerização, aumentando ainda mais a decomposição do polissacarídeo. A lignina e a celulose são mais resistentes à ação do calor. Em altas temperaturas, os grupos acetilas de hemiceluloses reagem formando ácido acético, o que divide as cadeias de celulose em partes menores. Ao mesmo tempo, o calor produz reações de desidratação e oxidação, gerando a condensação da lignina. Estas reações geram combinações que alteram as propriedades mecânicas e químicas da madeira (KARTAL; HWANG; IMAMURA, 2007).

A maioria dos componentes secundários da madeira (extrativos) é eliminada pela evaporação, já que estes não constituem os componentes estruturais da madeira. Ao serem submetidas ao tratamento térmico, podem migrar para a superfície da mesma, em forma de resina ou goma superficial (OLIVEIRA, 2009), afetando, negativamente, o acabamento da madeira, e necessitam de serem removidos pelo processo de aplainamento.

2.4.3 Alterações nas propriedades mecânicas da madeira

As propriedades mecânicas da madeira tratada termicamente foram estudadas por Huller et al. (2017), cujo objetivo foi avaliar o efeito do tratamento térmico nas propriedades físicas e na resistência mecânica de *Eucalyptus cloeziana*.

Foi constatado que a resistência máxima ao impacto foi influenciada pela temperatura, havendo decréscimo dos valores com o aumento da mesma. Os tratamentos térmicos apresentaram alterações nas propriedades mecânicas da madeira em todos os ensaios avaliados. Quanto maior a temperatura utilizada, menor a resistência mecânica da madeira e maior a sua fragilidade.

Uma das principais limitações da madeira tratada termicamente é a diminuição da resistência mecânica, tornando a mesma inadequada para a maioria das aplicações estruturais (ESTEVES; PEREIRA, 2009). A utilização de tratamentos térmicos prolongados produz um menor efeito no módulo de elasticidade (MOE) e maior nas resistências à flexão estática (MOR) e ao impacto (UNSAI et al., 2003).

Os efeitos atribuídos ao tratamento térmico da madeira são dependentes de fatores como temperatura, duração do tratamento e pelas modificações ocorridas pelos polímeros constituintes da madeira, os quais influenciam na intensidade das alterações de sua estrutura interna, promovendo a perda de resistência mecânica, em consequência de temperaturas elevadas. Para Poncsak et al. (2006), os parâmetros do tratamento precisam ser otimizados para manter essa perda em um nível mínimo, enquanto melhoram as propriedades físicas e biológicas.

Em estudos realizados por Modes et al. (2017), o tratamento térmico promoveu aumento na resistência máxima à compressão paralela e no impacto; e diminuição no módulo de ruptura e dureza (tangencial e radial) da madeira de *Eucalyptus grandis*, com 25 anos. Cademartori et al. (2015) para as espécies *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* observaram redução da higroscopicidade e da resistência mecânica, enquanto a massa específica básica não foi alterada pelo processo. Resultados satisfatórios de redução da molhabilidade foram observados para as temperaturas mais baixas, e a estabilidade dimensional aumentou em função da temperatura. Tendo a maior perda de resistência mecânica obtida com o tratamento a 240 °C para as duas espécies avaliadas.

2.5 RESISTÊNCIA DE PISOS EXTERNOS AOS AGENTES DETERIORADORES

A modificação térmica da madeira aumenta a resistência ao ataque de fungos, devido a degradação das hemiceluloses e redução na higroscopicidade, a modificação química dos polissacarídeos e lignina; o que promove a inibição

enzimática degradativa (BELLON et al., 2014). Paes et al. (2007) relatam que a maior ou menor suscetibilidade da madeira à deterioração irá depender das condições ambientais.

A presença de alguns constituintes da madeira, como os extrativos com teores elevados em espécies tropicais, é responsável pela coloração, cheiro, gosto e a resistência ao apodrecimento. O teor de lignina interfere na densidade da madeira, e conseqüentemente na densidade do deck produzido, o que torna a madeira proveniente de espécies nativas desejável para a sua produção. O teor de cinzas também pode ser motivo de influência nas propriedades tecnológicas da madeira para a produção de pisos, visto que, segundo Paes et al. (2013), teores elevados de cinzas reduzem o ataque dos cupins na madeira, danificando suas mandíbulas e conseqüentemente reduzindo seu potencial de ataque.

Desta forma, madeiras com alta durabilidade, como as madeiras nativas e certificadas, ou espécies provenientes de plantios florestais como o pinus e eucalipto, quando devidamente tratadas de acordo com os padrões técnicos, cujas tábuas sejam obtidas por meio de um desdobro, durarão mais e com um mínimo de manutenção (LEPAGE, 2013).

2.6 ACABAMENTOS SUPERFICIAIS

A madeira e seus derivados precisam de um tratamento para a proteção contra as intempéries e situações de uso diário. Com um acabamento satisfatório, tem-se como garantia a durabilidade e a estética do produto ao longo do tempo. Os acabamentos superficiais promovem melhoria estética da madeira e maior durabilidade, além da agregação de valor aos produtos. Normalmente são utilizados em madeiras as seladoras ou *primers*, tintas e os vernizes, naturais ou sintéticos (AVELINO, 2012).

Na indústria moveleira e de pisos, os produtos sintéticos mais utilizados são as tintas, os vernizes e seladoras. Os produtos de origem natural são as ceras e os óleos, que podem ser aplicados à superfície da madeira, com a função proteger, limpar, lustrear e conservar (SOUZA; SILVA; EVANGELISTA, 2011).

A gestão da qualidade de um produto resulta em grandes transformações, tendo como principais benefícios: melhoria na qualidade de produtos, redução de

perdas e custos de operação e, principalmente, para diminuição de barreiras técnicas e aumento da competitividade (CERQUEIRA NETO, 1991). A qualidade de uma superfície pode ser definida como o conjunto de condições que a torna capaz de distingui-la das outras e de determinar a sua natureza (SILVA et al., 2002).

O preparo da superfície a ser trabalhada é importante para a obtenção de bons resultados no acabamento da madeira. De acordo com Gomide (1973), a madeira necessita passar pela secagem para receber acabamentos superficiais como, pintura ou envernizamento, pois a superfície úmida dificulta a aderência do produto. Além do mais, o excesso de umidade promove pressão, podendo formar bolhas e rachaduras na superfície acabada.

A velocidade de avanço de ferramentas de corte é a relação entre o comprimento da peça e o tempo de operação. É dependente de fatores como o tipo de madeira, teor de umidade, potência disponível e altura de corte (GONÇALVES, 2000), e também da profundidade de corte, que influencia no tempo de uso da ferramenta. Por isso, a seleção e o controle da melhor combinação de velocidade de corte e de avanço, para cada espécie de madeira são essenciais para aumentar a vida útil da ferramenta e manter o padrão de qualidade da usinagem (LUCAS FILHO, 2004). Uma das formas de se obter um melhor acabamento superficial pode ser pela diminuição da velocidade de avanço das ferramentas de corte, no entanto o volume de produção ficaria prejudicado (GONÇALVES, 2000).

O lixamento é a operação mais importante na preparação da superfície. É o primeiro passo para a obtenção de uma boa pintura, pois elimina marcas de serra e plaina, nivelando a superfície da madeira, deixando-a lisa, devendo ocorrer sempre no sentido das fibras. Assim, há melhor ancoragem do material aplicado (WATAI, 1995).

Quanto à qualidade de acabamentos de madeiras de eucalipto, observou-se que clones de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla* obtiveram alta aderência dos produtos de acabamento de natureza sintética, sendo compatíveis com os produtos atualmente existentes no mercado, e exibiram a qualidade exigida no setor moveleiro (SOUZA; SILVA; EVANGELISTA, 2011).

Com o intuito de analisar a qualidade de acabamento superficial de madeiras de *Eucalyptus grandis* tratadas termicamente, Dias Júnior et al. (2015) concluíram que a umidade de equilíbrio, densidade aparente e variação volumétrica foram

afetadas pelos tratamentos. As temperaturas de 160 °C - 2h e 215 °C - 4h apresentaram resultados inferiores de aderência do acabamento superficial para os vernizes avaliados.

2.7 ENVELHECIMENTO ACELERADO

A madeira é um material de origem orgânica que pode ser modificada pela ação do intemperismo (ação combinada dos raios solares, chuva ou umidade e ventos). Assim, ao ser exposta às condições extremas, algumas propriedades da madeira são alteradas, como a cor e textura. Essas mudanças ocorrem por causa da ação dos raios ultravioletas (UV), que provocam tanto a fotodegradação quanto a fotodescoloração da madeira, diminuindo sua vida útil (SUDIYANI et al., 1999). A exposição desse material não tratado em ambientes suscetíveis à deterioração deve-se ao desconhecimento dos tipos de tratamentos superficiais existentes ou até mesmo por livre escolha do consumidor final (CADEMARTORI; MISSIO; MATTOS, 2015).

O intemperismo atua somente na superfície da madeira, pois, após as primeiras reações, é formada uma pequena camada que protegerá as inferiores e os outros constituintes químicos, entretanto, acarreta em um problema para os consumidores e para os tecnólogos, pois interfere no comportamento dos produtos aplicados na mesma (SILVA; PASTORE; PASTORE JÚNIOR, 2007). Há várias formas de prevenir à madeira da fotodegradação, como a aplicação de compostos químicos inorgânicos, de produtos de acabamento, como vernizes, *stains* e tintas, que apesar de protegerem, podem alterar a característica natural da madeira (GONÇALEZ et al., 2010).

As alterações da cor da madeira se iniciam com a perda de brilho, que ocorre pela ação dos raios UV, em conjunto com a umidade, temperatura e a oxidação (LESAR et al., 2011; ROSU et al., 2010). Estes agentes causam a despolimerização da lignina, que é o constituinte químico da parede celular mais propício às intempéries, sobretudo dos raios UV (QIAN et al., 2017). Como as coníferas normalmente possuem teores maiores de lignina, as madeiras de folhosas são consideradas mais resistentes à mudança de cor (MITSUI; TSUCHIKAWA, 2005).

Para reduzir o período de duração e os custos dos testes em campo, para a avaliação do envelhecimento acelerado, foram desenvolvidos ensaios laboratoriais que simulam o intemperismo e permitem estimar e comparar a durabilidade natural das madeiras de diversas espécies (OLIVEIRA et al., 1986).

Os ensaios de envelhecimento acelerado são realizados em câmaras que possuem uma atmosfera controlada, com radiação UV, temperatura e umidade. A simulação é realizada com a alternância de fenômenos, como luz solar, chuva e orvalho. Os efeitos provocados nos materiais são similares aos que ocorrem com o intemperismo natural (SANTOS et al., 2017). Esses testes são realizados quando se pretende conhecer a resposta das madeiras submetidas a envelhecimento, em um curto tempo (AYADI et al., 2003).

Na literatura, trabalhos com a aplicação da metodologia do envelhecimento acelerado em pisos do tipo deck são escassos ou praticamente não há relatos, por isso a necessidade de estudos que aprofundem essa área do conhecimento. No geral, estudos que avaliem a qualidade da madeira para a produção de decks encarecem de estudos aprofundados. Dessa forma, serão abordadas algumas pesquisas que fizeram uso do método do intemperismo artificial ou envelhecimento acelerado em espécies produtoras de madeira.

Em estudo sobre avaliação das superfícies usinadas da madeira de carvalho vermelho em relação ao desempenho de um revestimento, Ugolino e Hernández (2015) utilizaram a metodologia em que as amostras foram seladas em suas extremidades com parafina para diminuir a troca de umidade durante o tratamento. Em seguida, foram dispostas numa câmara climática de simulação ambiental Cincinnati Sub Zero (WM-906-MP2H-3-SC/CC) e foram submetidas a um tratamento de envelhecimento, que consistia de quatro ciclos de 48h à 15% de umidade relativa (UR) e 50°C, seguido de 48h a 90% de UR e 50°C. Após envelhecimento, as amostras foram recondicionadas à 20°C e 40% de UR.

O procedimento de simulação de intemperismo descrito no trabalho de Silva, Pastore e Pastore Júnior (2007) foi realizado por meio de ciclos de 10 horas de irradiação UV, seguido por 2 horas de lixiviação e secagem em temperatura ambiente, com média de três dias e tempo total de irradiação foi 2.000 horas e o de lixiviação foi 400 horas. Os autores concluíram que o procedimento foi adequado para monitorar o processo de fotodegradação das madeiras por 2.000 horas, em

função da variação de cor ocasionada pela decomposição da lignina e dos extrativos.

Para a avaliação do efeito do envelhecimento acelerado nas propriedades colorimétricas da madeira de angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*), Teles e Costa (2014) utilizaram uma câmara de teste de radiação UV/condensação que simula os efeitos de degradação na superfície de produtos causados pela luz solar, chuva e orvalho, modelo QUV/Spray. Os materiais foram expostos em ciclos alternados de radiação, umidade e temperatura. Os autores ressaltam que, nas primeiras 24 horas de exposição houve o escurecimento, com diminuição da luminosidade nos parâmetros de cor da madeira.

Ao analisarem a resistência ao intemperismo artificial de revestimentos aplicados nas madeiras de duas *Eucalyptus grandis* e *Tetrorchidium rubrivenium* em uma câmara de intemperismo artificial, com radiação luminosa de 1,35W/m²/nm, Soares et al. (2018) observaram que cada ciclo simulado pela câmara representou os efeitos de degradação causados pela luz solar, chuva e orvalho na superfície das amostras. Foram realizados 40 ciclos, com duração de 12 h cada, totalizando 480 h de exposição. Segundo os autores, os diferentes revestimentos aplicados na superfície das madeiras alteraram suas colorações naturais, tornando-as opacas.

Para simular o efeito da radiação ultravioleta na superfície da madeira de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Martins et al. (2011) utilizaram um reator fotoquímico Rayonet com 12 lâmpadas UV, cada uma com 8 W, que emitem radiação no comprimento de onda de 350 nanômetros. As amostras foram fixadas em um carrossel, de forma que as faces analisadas ficaram expostas a aproximadamente dois centímetros de distância das lâmpadas. Essa técnica permitiu simular uma avaliação da alteração da cor da madeira quando expostas em um ambiente natural.

Portanto, o envelhecimento acelerado é uma técnica eficiente, que simula as condições de intemperismo em ambiente controlado, usada como medida de controle de qualidade em diversos processos de fabricação e análise de materiais. Além disso, permite obter informações como a resistência a corrosão, a durabilidade e a estabilidade à luz, as mudanças na cor, perda de brilho (Q-LAB, 2021).

Se tratando da madeira para a produção de decks, essa análise contribui com dados importantes quanto ao seu uso e durabilidade, visto que esse tipo de piso é

muito empregado em locais abertos, expostos às intempéries ambientais. Dessa forma, é necessário conhecer o comportamento do material, frente as mudanças do ambiente em que o mesmo se encontra. Um requisito necessário para saber se uma determinada espécie de madeira é apropriada para um tipo de uso, é o conhecimento de suas características.

2.8 COLORIMETRIA DA MADEIRA

A determinação da cor de uma madeira além de contribuir com o conhecimento científico permitirá a comparação com outras espécies florestais tradicionais, bem como a uniformidade e agregação de valor na comercialização dos produtos sólidos ou derivados da madeira. Deste modo, a cor torna-se uma das características importantes para a classificação, identificação e indicação de usos das espécies florestais e, está associada à superfície e ao desenho da madeira (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001, GARCIA et al., 2014). Por essas razões, e pela crescente demanda do mercado por produtos de melhor qualidade, esta característica deve ser incorporada à caracterização tecnológica da madeira e ao planejamento da produção, visando atender as diretrizes de usos de maior valor agregado (MORI et al., 2004).

Existem alguns fatores que podem alterar a cor da madeira, como; a umidade, temperatura, deteriorações provocadas por organismos xilófagos ou, até mesmo, reações fotoquímicas dos componentes químicos presentes em sua estrutura (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001). A idade das árvores também é um fator que influencia a cor natural deste material, assim como, os tratamentos silviculturais e o tipo de solo onde o vegetal se desenvolveu (SOTELO MONTES et al., 2008).

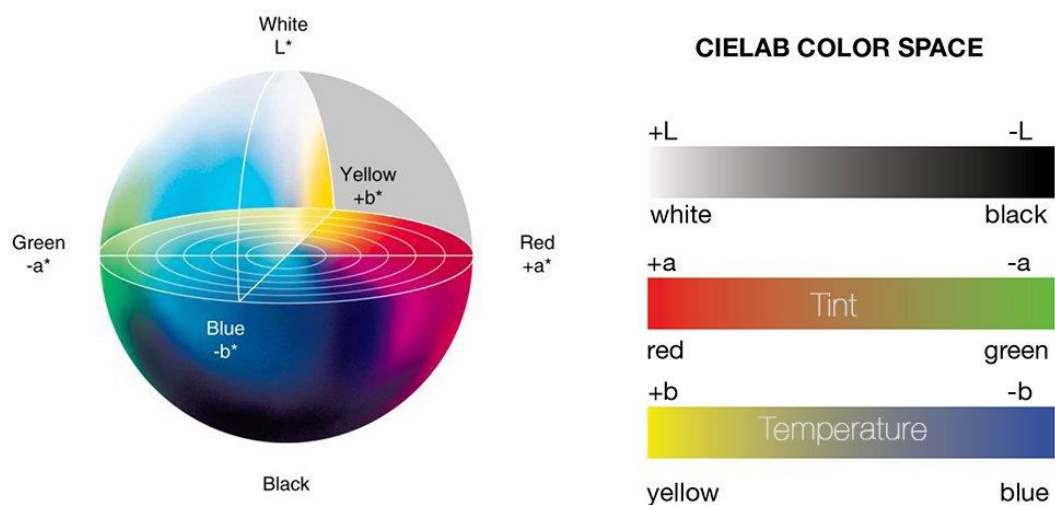
A atribuição da cor de uma madeira apenas pela análise visual é subjetiva, podendo ser classificada de forma diferente, dependendo do observador e da luminosidade. Para contornar isto, foram desenvolvidos métodos quantitativos que empregam variáveis numéricas para as interações provocadas pela luz em uma superfície (SILVA et al., 2015).

A colorimetria é uma metodologia eficiente na medição da cor, que permite a sua classificação por meio de coordenadas cromáticas, tendo por objetivo, agregar valor as espécies florestais pouco conhecidas, melhorar o preço deste material no

mercado, tornando o produto mais homogêneo, além, de ser um critério relevante na hora da compra de produtos derivados ou modificados de madeira (GONÇALEZ et al., 2001; MORI et al., 2004).

A *Commission Internationale de L'Eclairage* - CIE (1974) é um dos sistemas mais utilizados para a medição de cores (Figura 1), sendo fundamentado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade. Esses elementos são obtidos por meio dos parâmetros colorimétricos L^* , $+a^*$, $-a^*$, $+b^*$, $-b^*$ e C . Neste sistema, L^* indica a luminosidade e varia entre 0 e 100, em que 0 representa o preto e 100 o branco total. O a^* indica o matiz vermelho-verde, em que o número positivo indica o vermelho e o negativo, o verde. O b^* indica o matiz amarelo-azul, sendo o número positivo correspondente ao amarelo e o negativo, ao azul. A saturação (C) indica a pureza da cor, enquanto o h^* corresponde ao ângulo de tinta.

Figura 2 - Representação gráfica do sistema de cores CIE $L^*a^*b^*$.



Fonte: Napoli et al. (2018).

A utilização desta ferramenta para a determinação da cor de madeiras proveniente de plantios florestais é importante na agregação de valor das espécies, principalmente, as não tradicionais no mercado nacional ou internacional (ZANUNCIO; FARIAS; SILVEIRA, 2014), e também para uniformizar a cor de madeiras tratadas termicamente, por meio da separação por categorias de tonalidades.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO DO PLANTIO, AMOSTRAGEM E PREPARO DO MATERIAL

As árvores foram coletadas de um plantio localizado em uma área experimental do Complexo Agroindustrial Pindobas Ltda., no município de Venda Nova do Imigrante, Microrregião Sudoeste Serrana do estado do Espírito Santo (latitude 20°23'37.1"S, longitude 41°08'29.6"W e altitude de 730 m).

De acordo com informações disponibilizadas pela empresa, citadas por Silva (2018), o plantio foi realizado em janeiro de 2002 e teve como propósito a produção de madeira serrada. Foram produzidas covas de 40 x 40 x 40 cm com aplicação de 400 g de NPK 00-24-00 e micronutrientes por cova; o espaçamento do plantio era de 5,0 x 4,0 m. Após oito meses do plantio, realizou-se a última adubação de cobertura, com 100 g da formulação citada. A atividade de desrama foi realizada aos dois e três anos de idade, nas alturas de quatro e sete metros; respectivamente e, por último, o plantio foi desbastado em 40% aos nove anos.

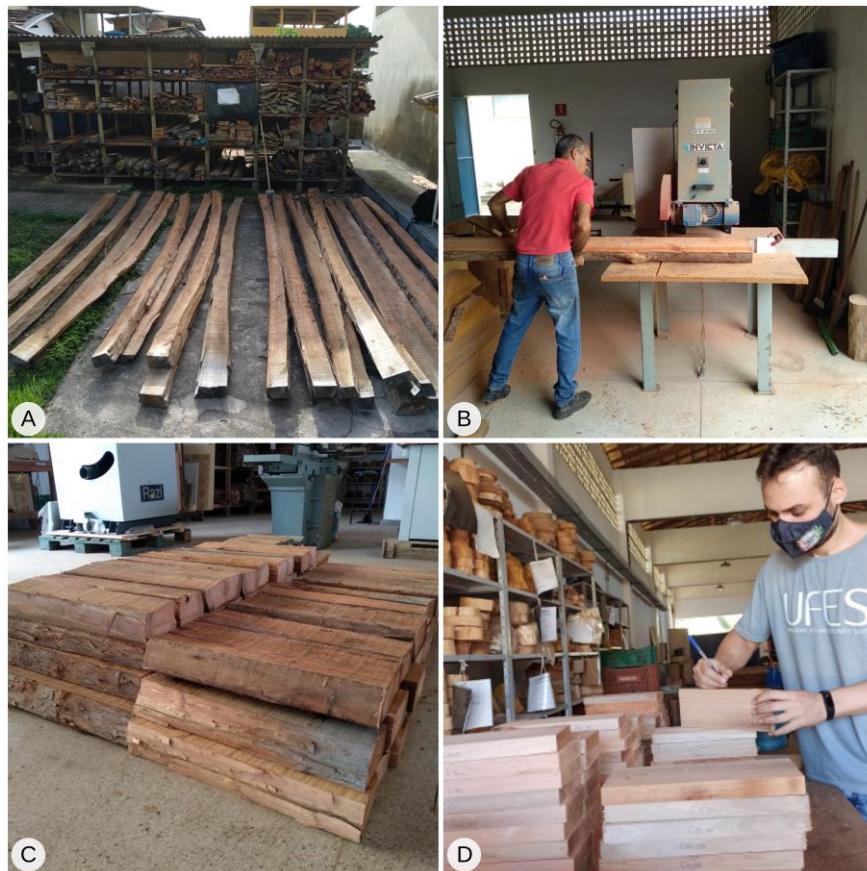
Segundo a classificação de Köppen (1928), o clima da região serrana do sudoeste do Espírito Santo é tropical de altitude (Cwb), caracterizado por temperaturas inferiores a 22 °C no verão, com chuvas concentradas e inverno rigoroso. Possui índice de precipitação alto, causado pela influência das serras, onde o índice pluviométrico varia de 1.200 a 1.500 mm (FEITOZA et al., 2010).

A madeira para o estudo foi proveniente de três clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, denominados genericamente A, C e E por questões de sigilo da empresa. Os progenitores foram as espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* (com variação da porcentagem de cada um deles).

Para a amostragem, foram selecionadas três árvores por clone, adotando-se como critérios de seleção a boa formação do fuste (sem tortuosidade e com boas condições fitossanitárias) e com diâmetros a altura do peito (DAP) entre 31 e 35 cm, visando a maior homogeneidade. As segundas toras foram desdobradas, produzindo-se um pranchão central por tora (80 a 100 mm de espessura), com comprimento de aproximadamente 4.200 mm, os quais foram transportados para o Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo.

Os pranchões foram desdobrados em sarrafos de 2,5 x 10 x 55 cm (espessura x largura x comprimento) (Figura 3), os quais foram aplainados para aumentar a qualidade das superfícies das amostras utilizadas nos ensaios. Os sarrafos foram condicionados em câmara climática a 20 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa (UR) até atingir a umidade de equilíbrio ($\approx 12\%$).

Figura 3 - Desdobro dos pranchões em sarrafos para a realização das análises. Seleção dos pranchões (A); desdobro em serra circular (B); amostras após o corte (C); identificação após aplainamento das amostras.

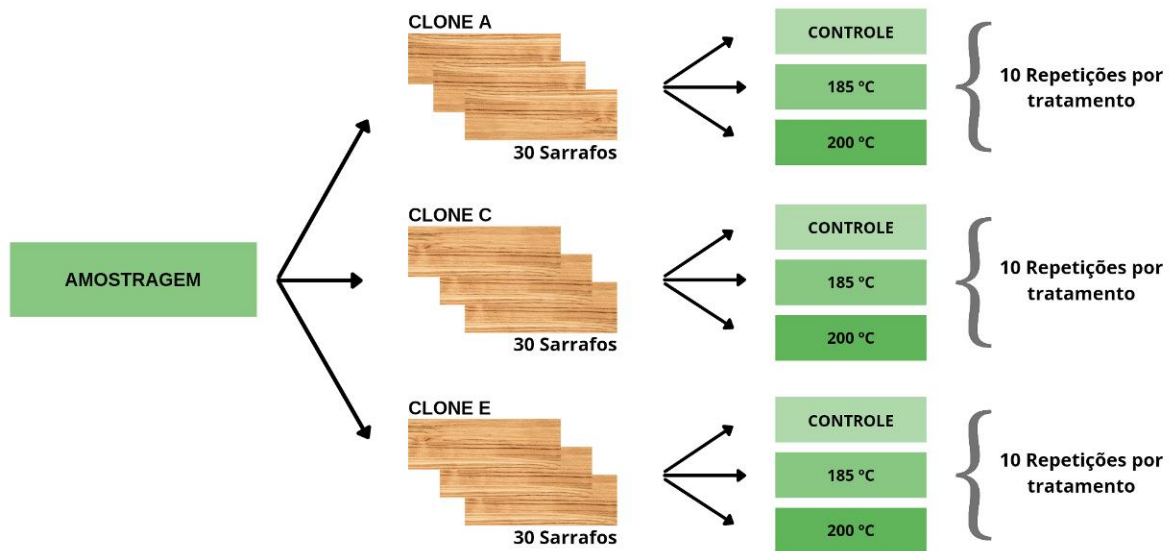


Fonte: O autor.

3.2 TRATAMENTOS E MODIFICAÇÃO TÉRMICA

Foram avaliadas três condições para cada clone: controle, modificação térmica a 185 °C e modificação térmica a 200 °C. A interação entre as condições e a quantidade de clones resultou em nove tratamentos avaliados. Na Figura 4 encontra-se a descrição dos tratamentos e a quantidade de sarrafos utilizados.

Figura 4 - Descrição dos tratamentos aplicados às madeiras de clones de eucalipto e suas respectivas repetições.



Fonte: O autor.

A modificação térmica da madeira foi realizada em um forno elétrico (Linn Elektro, Alemanha), dotado de um controlador programável de temperatura e tempo, e atmosfera interior com presença de oxigênio (Figura 5), no Laboratório de Painéis do DCFM da UFES com o objetivo de melhorar suas propriedades. As amostras foram organizadas no interior do forno, com as camadas separadas por tabiques de madeira, com abastecimento interno, similar para ambos os tratamentos térmicos. A temperatura inicial foi de ≈ 25 °C e, posteriormente, as amostras foram submetidas aos programas de tratamento (Figura 6A, B).

Ao final do tratamento, o forno foi desligado e as amostras alocadas em um recipiente de plástico duro (bombona de 50 L), adaptado em um dessecador portátil, contendo sílica no seu interior, para resfriamento e posteriormente a determinação do teor de umidade e perda de massa, obtida pela diferença de massa dos sarrafos antes e depois da modificação térmica, conforme metodologia proposta por Cademartori et al. (2012). Em seguida, os sarrafos foram mantidos em câmara climática, sob as condições já descritas, até atingir o teor de umidade de equilíbrio e realização dos ensaios.

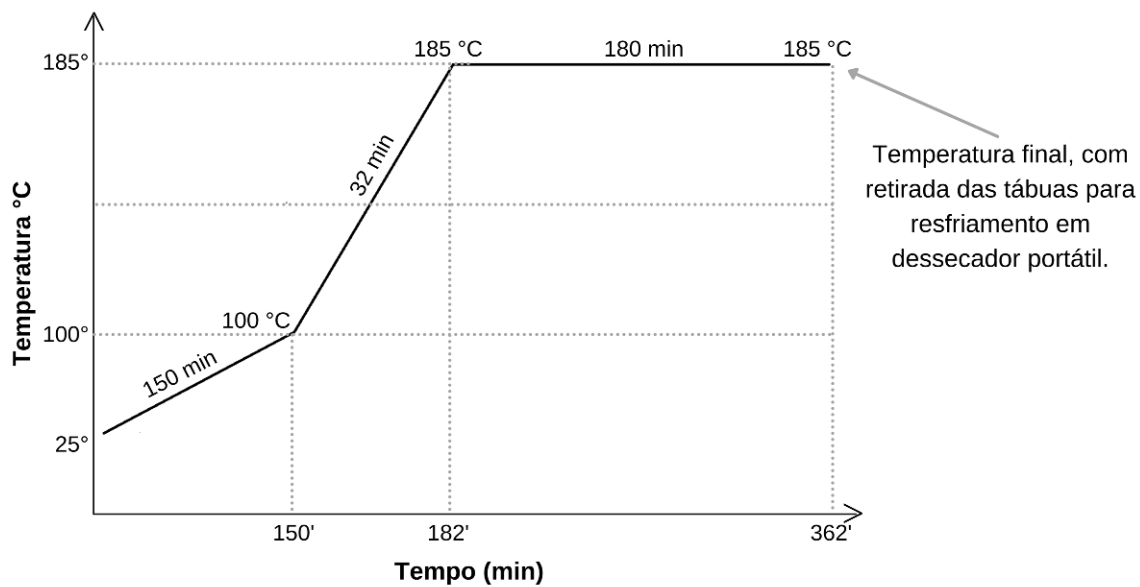
Figura 5 - Forno elétrico em que foram realizados os tratamentos térmicos. Vista frontal do equipamento (A); disposição das amostras no interior do forno antes do tratamento térmico (B); amostras no interior do forno após o tratamento (C).



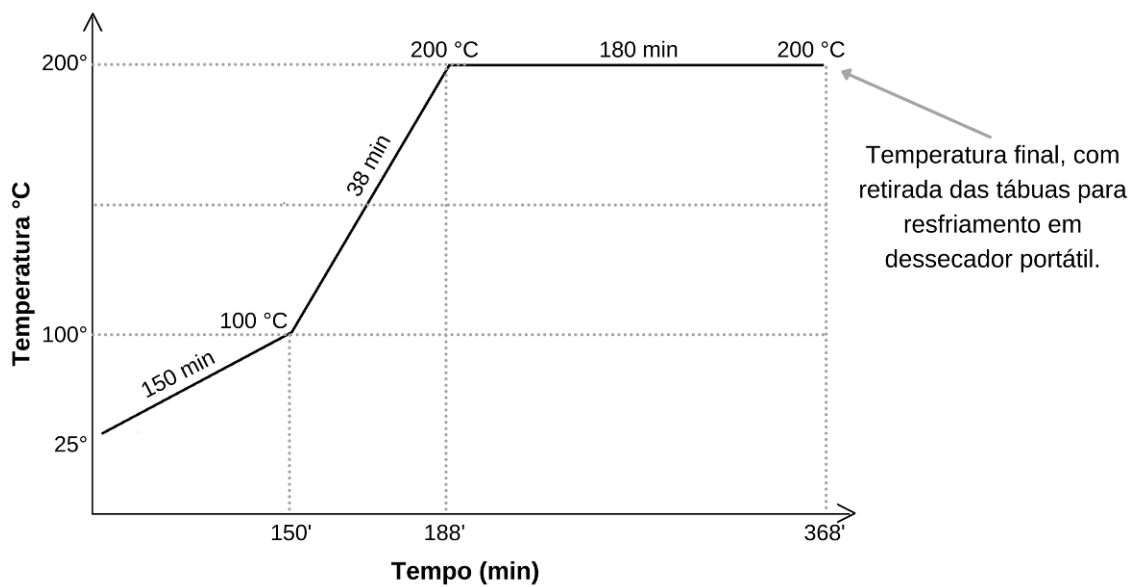
Fonte: O autor (registro fotográfico de Joyce de Almeida Pinto em 2020).

Figura 6 - Programas de modificação térmica para as temperaturas finais de 185 °C (A); e 200 °C (B).

A)



B)



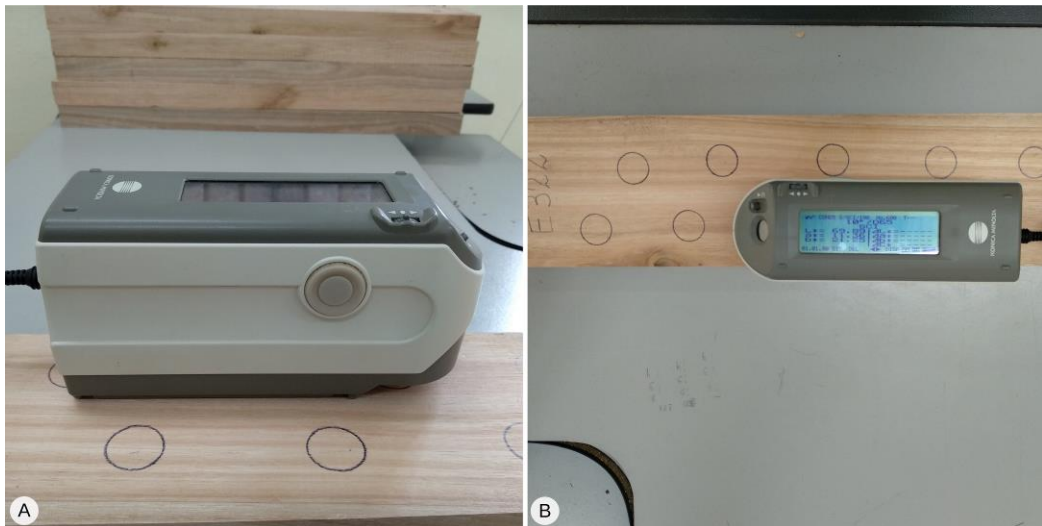
Fonte: O autor.

3.3. COLORIMETRIA DA MADEIRA

Antes e após a modificação térmica, os sarrafos foram submetidos à análise colorimétrica para avaliação do efeito dos tratamentos. Para mensuração da cor da madeira foi utilizado o sistema da *Commission Internationale de L'éclairage* - CIE (1976), com o uso do espectrofotômetro Konica Minolta (CM-2500D, Japão) (Figura 7A), com iluminante padrão D65, ângulo de observação de 10° e luz especular incluída. O equipamento foi calibrado com padrão preto e branco, ao utilizar uma placa calibradora do próprio equipamento. Antes da análise colorimétrica, a superfície das amostras foi lixada com uma sequência de lixas de grã 80 e 150 e armazenadas em sacos plásticos escuros, fora do contato com a luz, para evitar possíveis alterações na cor causadas pela oxidação promovida pela luz.

Em cada sarrafo foram obtidas 10 leituras de cor (Figura 7B), sendo 100 mensurações para cada tratamento. No total, foram realizadas 900 mensurações, divididas entre os clones e tratamentos avaliados.

Figura 7 - Equipamento portátil espectrofotômetro Konica Minolta (A); leitura de cor dos parâmetros colorimétricos em um sarrafo (B).



Fonte: O autor.

Os parâmetros colorimétricos analisados, foram a luminosidade (L^*), a coordenada vermelho-verde ou matiz vermelho (a^*) e a coordenada azul-amarelo ou matiz amarelo (b^*), fundamentados no sistema CIE (1976).

Em seguida, determinou-se a variação total da cor (ΔE) da madeira (Equação 1), calculada pela diferença entre as variações das coordenadas colorimétricas obtidas dos sarrafos antes e depois da modificação térmica.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

Em que, (ΔE^*): variação total da cor da madeira após os tratamentos; ΔL^* , Δa^* e Δb^* : variação das coordenadas L^* , a^* e b^* , após a modificação térmica, respectivamente.

Após os cálculos das variações totais da cor, as amostras foram classificadas conforme o proposto por Hikita, Toyoda e Azuma (2001), tendo como base os níveis de percepção visual (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação da variação total da cor (ΔE^*) da madeira após a modificação térmica.

Variação total da cor (ΔE^*)	Classificação
Desprezível	0,0 - 0,5
Quase imperceptível	0,5 - 1,5
Ligeiramente perceptível	1,5 - 3,0
Notável	3,0 - 6,0
Muito expressiva	6,0 - 12,0

Fonte: Adaptado de Hikita, Toyoda e Azuma (2001).

3.4 ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA

Com o intuito de verificar possíveis alterações nos constituintes químicos do material, causado pelas temperaturas de tratamento, as análises químicas das madeiras tratadas e não tratadas termicamente foram realizadas de acordo com a *Technical Association of the Pulp and Paper Industry - TAPPI* (Tabela 2), em que foram obtidos os teores de extrativos (etanol:tolueno), lignina total e pentosanas.

Tabela 2 - Descrição das análises químicas realizadas e seus respectivos métodos.

Análises químicas	Métodos
Extrativos em etanol:tolueno (1:2)	T264 cm (TAPPI, 1992)
Lignina insolúvel (Klason) e solúvel em ácido	T222 om-88 (TAPPI, 1998)
Pentosanas	ABCP C 8/70 (ABCP, 1974)

Fonte: O autor.

A preparação do material foi realizada por meio de amostras compostas provenientes das três árvores de cada clone, em seguida, transformadas em serragem, em moinho tipo Willey e classificadas em peneiras (40 – 60 *mesh*), sendo utilizada a fração retida na malha de 60 *mesh*. Por fim, o material foi homogeneizado e armazenado em câmara climática. Foram utilizadas seis repetições por clone (duas por árvore), 54 análises para cada componente químico avaliado.

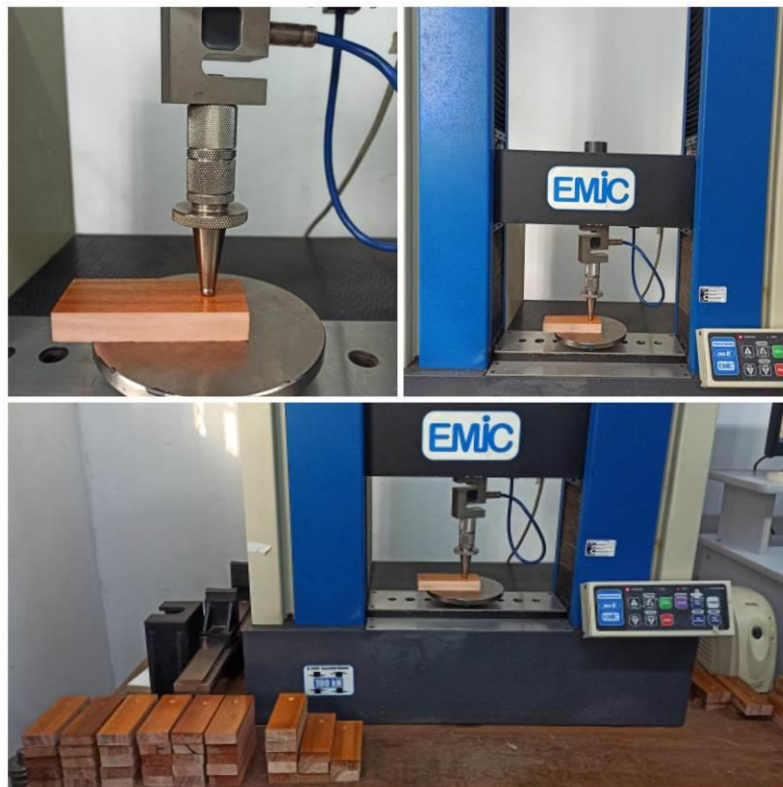
3.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E DUREZA JANKA

A densidade básica e retratibilidade foram determinadas para cada tratamento térmico e controle. De cada amostra de madeira, foi retirado um corpo de prova, com orientação radial, com dimensões de 10,0 x 3,0 x 2,0 cm (radial x tangencial x longitudinal), totalizando 10 repetições para cada tratamento. Conforme as especificações da Norma Brasileira - NBR 11941, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003), as amostras foram saturadas com imersão em água para obtenção do volume e secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até a estabilização da massa. A massa seca das amostras foi obtida em balança de precisão de 0,01 g. A densidade básica foi calculada pela relação entre massa seca e o volume saturado.

A retratibilidade da madeira foi determinada de acordo com a NBR 7190, ABNT (1997), para tanto as amostras, depois de saturadas foram submetidas à secagem natural até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente ($\approx 12\%$). Em seguida, mantidas em estufa na temperatura inicial de $50 \pm 2^\circ\text{C}$, sendo aumentada gradativamente até atingir $103 \pm 2^\circ\text{C}$ e mantidos nessa temperatura até massa constante. Em cada uma dessas etapas, foram tomadas as massas, com precisão de 0,001 g e suas dimensões mensuradas com paquímetro digital (0,01mm). Assim, foram determinadas as contrações lineares e volumétrica.

Para o ensaio de dureza Janka (Figura 8), foram preparadas amostras com dimensões reduzidas de 12,0 x 5,0 x 2,0 cm (comprimento x largura x espessura) com cinco repetições para cada tratamento, totalizando 45 corpos de provas analisados para os três clones. Esses foram condicionados ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de UR) até atingirem $\approx 12\%$ de umidade.

Figura 8 - Ensaio de dureza Janka na madeira de clones de eucalipto.



Fonte: O autor.

O ensaio foi realizado em uma máquina universal de ensaios (EMIC, Brasil, com 100 kN ou 10 toneladas de capacidade de carga), seguindo as orientações da *American Society for Testing and Materials* - ASTM D - 143 (2005). Foi realizada uma impressão em uma das faces da largura de cada corpo de prova, e determinou-se a tensão máxima necessária para a penetração de uma esfera de aço com 10 mm de diâmetro.

3.6. ACABAMENTO SUPERFICIAL E ADERÊNCIA DO STAIN

O ensaio de aderência do acabamento superficial (Figura 9) foi realizado em amostras de madeira com dimensões de 24,0 x 10,0 x 2,0 cm (comprimento x largura x espessura). Inicialmente, os corpos de prova foram lixados ao longo das fibras (face da largura) com uma sequência de lixas de grã 60 e 80. Os corpos de prova receberam o produto de acabamento *stain* transparente (Osmocolor), aplicado com rolo de espuma (10 cm) em três demãos, com intervalo de 24 h entre as aplicações. Este tipo de acabamento é o indicado para madeiras expostas a ambientes externos, como os *decks*.

Figura 9 - Acabamento superficial da madeira de clones de eucalipto. Corpos de prova organizados para o acabamento (A); superfície dos corpos de prova após a aplicação do *stain* (B).

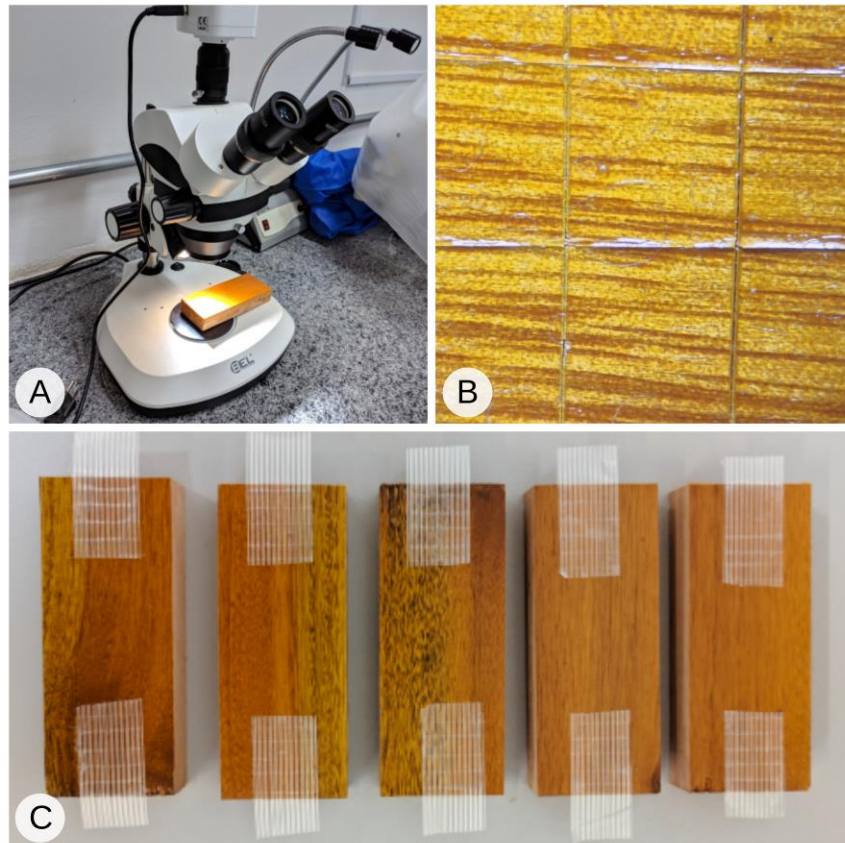


Fonte: O autor.

O ensaio de aderência do *stain* (Figura 10) foi realizado de acordo com a NBR 14535, ABNT (2008), utilizando-se cinco corpos de prova radiais por tratamento, com dimensões 10,0 x 3,0 x 2,0 cm (comprimento x largura x espessura). Foram marcadas duas quadrículas de 25 mm² por corpo de prova, uma em cada extremidade do comprimento, na face da largura. As quadrículas foram realizadas com um estilete, e eram compostas por cinco linhas horizontais e cinco linhas verticais. Em seguida, aplicou-se manualmente em cada quadrícula uma fita adesiva filamentosa, com adesividade de 32 g.mm⁻¹. Depois de dois minutos de adesão, as

fitas foram removidas, e a área da película destacada foi analisada sob uma lupa de 10 x de aumento.

Figura 10 - Ensaio de aderência do *stain*. Visualização das quadrículas sob lupa de 10 x (A); área destacada após a retirada da fita adesiva (B); corpos de prova com adesivo em suas extremidades (C).



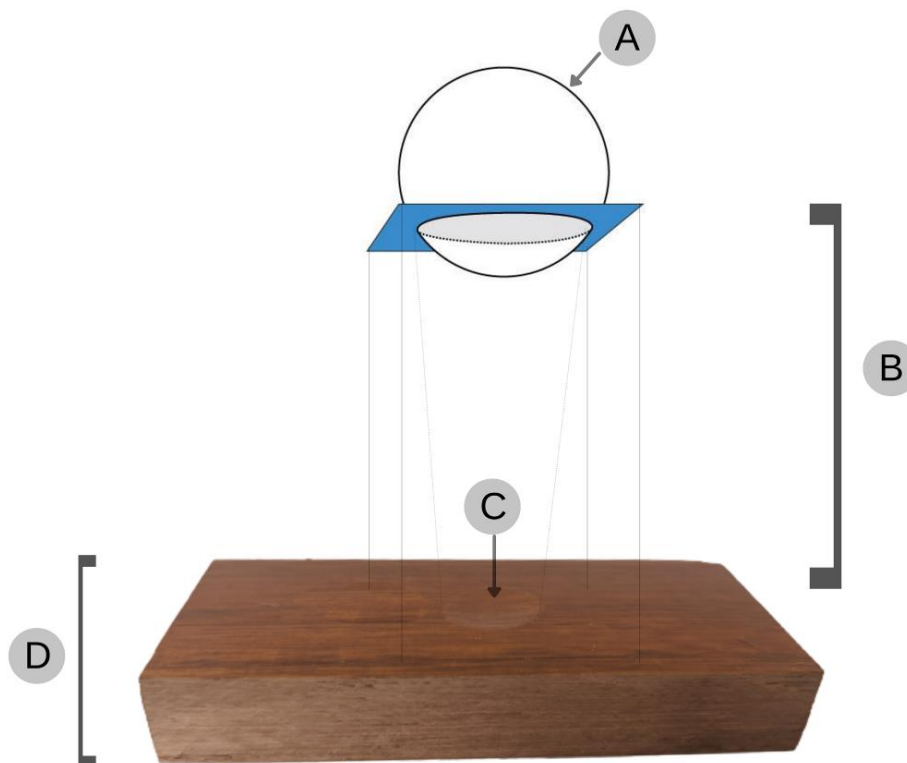
Fonte: O autor.

3.7 ARRANCAMENTO DE PARAFUSO E IMPACTO DA ESFERA CADENTE

O ensaio de arrancamento de parafuso foi realizado conforme a NBR 14810-3, ABNT (2018). Para isso, foram utilizados cinco corpos de prova radiais por tratamento, com dimensões de 150 x 75 x 25,5 mm (comprimento x largura x espessura), totalizando 45 ensaios para os três clones. Cada corpo de prova foi perfurado na face da largura, no ponto central, com uma broca de 2,8 mm, até uma profundidade de 17 mm. Posteriormente, foi introduzido um parafuso por corpo de prova.

O ensaio de impacto da esfera de aço cadente foi realizado conforme a norma ASTM D2394-05 (2011), que consiste na queda de uma esfera de aço de 51 mm de diâmetro e massa de 535 g, cuja altura de queda foi de 1,90 m (Figura 11). Foram ensaiados três corpos de prova radiais por tratamento, com dimensões de 120 x 50 x 20 mm (comprimento x largura x espessura).

Figura 11 - Ensaio do impacto da esfera de aço cadente. Esfera de aço de ≈ 51 mm com massa de ≈ 535 g, evidenciando a calota esférica (A); altura de queda de 1,90 m (B); depressão causada pelo impacto de queda (C); corpo de prova ensaiado (D).



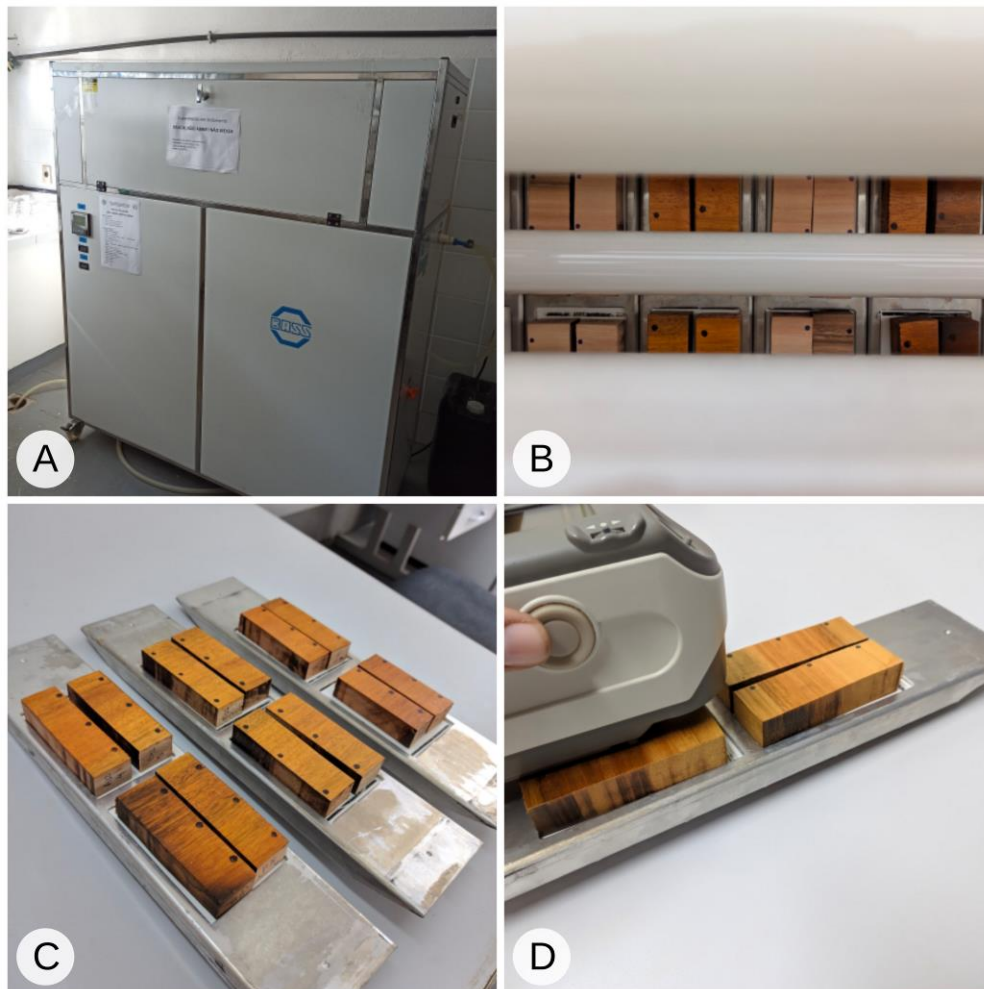
Fonte: O autor.

O ensaio foi realizado com um equipamento constituído por uma torre com divisões verticais fixadas em uma parede até a altura máxima de 1,90 m, com uma base fixa, onde as amostras foram acomodadas para suportar o impacto causado pela queda da esfera. Em seguida, as depressões causadas foram determinadas pela diferença entre a leitura realizada na profundidade e na superfície da calota de depressões.

3.8 ENVELHECIMENTO ACELERADO E COLORIMETRIA

O envelhecimento acelerado foi realizado em câmara de intemperismo modelo BASS – UUV/2019 (Brasil), Figura 12, equipamento projetado para a realização de ensaios envolvendo ciclos combinados com luz ultravioleta A e B, (UVA ou UVB) e unidade saturada (condensação) ou simulação solar (por lâmpada de xenônio), tendo como objetivo provocar a degradação acelerada de diversos materiais orgânicos e revestimentos de plásticos. A câmara possui duas janelas de exposição localizadas em lados opostos para disposição do material a ser analisado.

Figura 12 - Câmara de intemperismo acelerado BASS-UUV (A); disposição dos corpos de prova no interior do equipamento (B); placas metálicas com fixação dos corpos de prova (C); procedimento de leitura de cor em pontos demarcados (D).



Fonte: O autor.

Os corpos de prova com dimensões de 100 x 30 x 20 mm (comprimento x largura x espessura) foram expostos em ciclos de radiação com 8h de exposição em luz e 4h de condensação, com umidade e temperatura controlados de acordo com o estipulado pelo ciclo 4, contido na ASTM G 154 (2006). O ciclo total de exposição foi de 336 h, totalizando 28 ciclos completos de 12 h cada.

A mensuração da cor foi realizada em amostras com e sem *stain*, em três momentos, sendo estes, antes do intemperismo, após 168h intemperizada (sete dias de exposição) e após 336h (quatorze dias de exposição). Ao término do experimento, as amostras foram acondicionadas em sala climatizada (20 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de UR) por três semanas até atingirem a umidade equilíbrio e pesadas para averiguar a perda de massa após o ensaio. Em seguida, foi calculada a variação total da cor da madeira após os tratamentos submetidos ao intemperismo.

3.9. ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Para as análises colorimétricas, densidade e estabilidade dimensional da madeira (tratadas e não tratadas) foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial, sendo avaliados os efeitos dos clones (três níveis) e das temperaturas (três níveis) e 10 repetições, totalizando 90 análises.

Na análise química da madeira, foram utilizadas seis repetições para cada tratamento, sendo 54 análises para cada componente químico avaliado, totalizando 162 análises divididas para os teores de extrativos, lignina e pentosanas. A relação entre os parâmetros colorimétricos e química da madeira foi avaliada por correlação de Pearson e valor p (teste F).

Os ensaios de dureza Janka e arrancamento de parafuso também avaliaram o efeito dos clones e das temperaturas, com cinco repetições para cada tratamento, totalizando 45 análises para cada propriedade. Já a análise do impacto da esfera de aço cadente foi realizada no mesmo delineamento, com três repetições (nove análises por clone e 27 análises no total).

Para análise do envelhecimento acelerado e colorimetria, ao delineamento proposto foram acrescentados a aplicação do *stain* e os períodos de tempos antes e após 168 e 336 h (três níveis), sendo avaliados cinco repetições por tratamento.

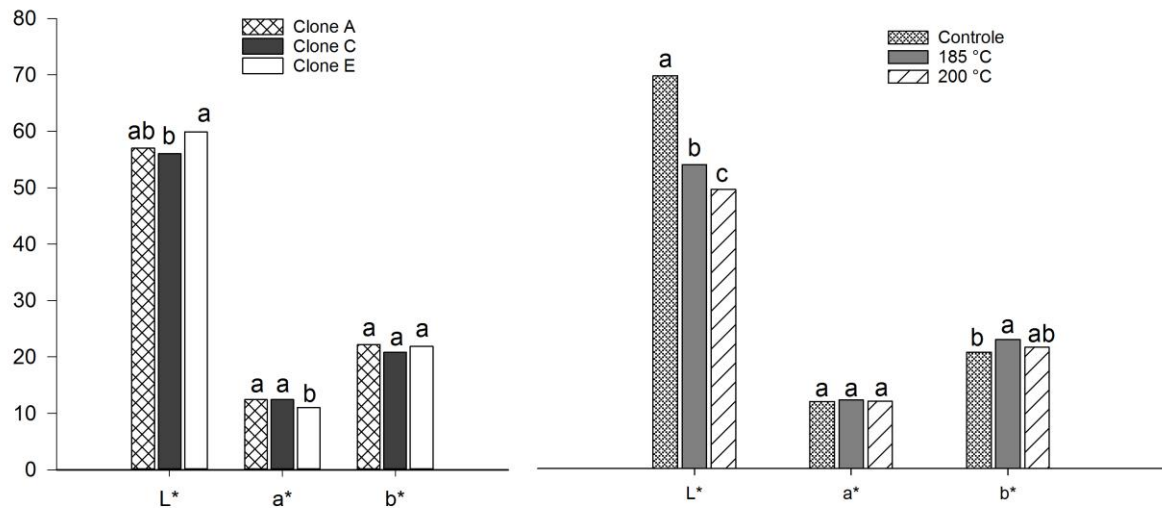
Para todas as análises foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Lilliefors e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran. Os valores que atenderam a esses requisitos foram submetidos à análise de variância - ANOVA (teste F, $p < 0,05$) e quando detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Aqueles que não atenderem ao pressuposto foram transformados, ao utilizarem exemplos sugeridos por Steel e Torrie (1980), tendo atingidos os pressupostos para a ANOVA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COLORIMETRIA DA MADEIRA

Houve diferença significativa entre alguns parâmetros colorimétricos da madeira para os clones de eucalipto (A, C e E) e para as temperaturas (controle, 185 e 200 °C). Nota-se que para o fator clone (Figura 13), apenas a coordenada colorimétrica b^* (pigmentação amarela - azul) não exibiu diferença significativa, enquanto nas temperaturas avaliadas, não foi observada diferença significativa entre a coordenada a^* (pigmentação vermelha - verde), o que indica que houve uma estabilização da cor em relação a esses parâmetros, não sendo influenciada pelas temperaturas testadas.

Figura 13 - Coordenadas L^* , a^* e b^* para os clones de eucalipto e temperaturas do tratamento térmico da madeira.



L^* = claridade; a^* = coordenada vermelho-verde ou matriz vermelho; b^* = coordenada azul-amarelo ou matriz amarelo. Médias seguidas pela mesma letra em cada parâmetro colorimétrico, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

Observa-se que as madeiras dos clones E e A possuíram maiores valores de luminosidade (L^*), atingindo 59 e 57, respectivamente. O clone C diferiu estatisticamente do clone E, com valor de 56, sendo estatisticamente semelhante ao clone A. Tais resultados indicam a claridade ou luminosidade da madeira dos clones

de eucalipto, pois quanto maior este valor, mais clara é a sua madeira. Segundo Camargos e González (2001), espécies florestais com valores de luminosidade (L^*) acima de 56 são classificadas como madeiras claras, e espécies com valores menores ou iguais a 56 são madeiras escuras. Neste sentido, pode-se dizer que os clones estudados possuem tonalidade classificada como clara.

Semelhanças de claridade na cor entre clones da madeira de eucalipto é importante para a classificação visual do material, sendo uma forma de uniformização das tábuas de madeira para a utilização em pisos, principalmente quando se trata do deck, que é para uso em áreas externas e que está sempre visível, sem efeito de sombreamentos ou desvio de luz causado pelas paredes laterais, teto e móveis e objetos expostos no ambiente.

Em relação às temperaturas avaliadas (185 e 200 °C) e tratamento controle, houve um decréscimo da luminosidade em decorrência do tratamento térmico, cujos valores médios foram de 69, 53 e 49, respectivamente. Quanto maior a temperatura empregada, menor foi o valor de L^* , resultando no escurecimento da madeira, que de acordo com a classificação de Camargos e González (2001), as madeiras tratadas nas temperaturas de 185 e 200 °C exibiram valores de luminosidade abaixo de 56, sendo classificadas como escuras, o que pode ser um ponto positivo, pois madeiras mais escuras são visualmente mais atrativas para pisos de locais externos.

Esse padrão de diminuição dos valores de L^* foram os mesmos observados na literatura, visto que quanto maior o tempo de exposição das amostras de madeira ou a temperatura final de uma modificação térmica, maior a degradação provocada e, conseqüentemente ocorre diminuição da luminosidade (GOUVEIA, 2008; LIMA, 2019; PINTO, 2020).

Além da temperatura do tratamento empregado, o plano de corte das toras, destinadas para a produção de madeira serrada, também deve ser considerado, principalmente para utilização em pisos. Segundo Sousa et al. (2019), madeiras com corte radial possuem maiores valores de luminosidade em comparação aquelas cujos cortes foram realizados no plano tangencial. A diferença de brilho nas faces radial e tangencial pode auxiliar na separação da madeira para posterior secagem em estufa.

De modo geral, a precisão da análise colorimétrica da madeira de clones de eucalipto permite sua classificação por combinações, ou seja, facilita a seleção de

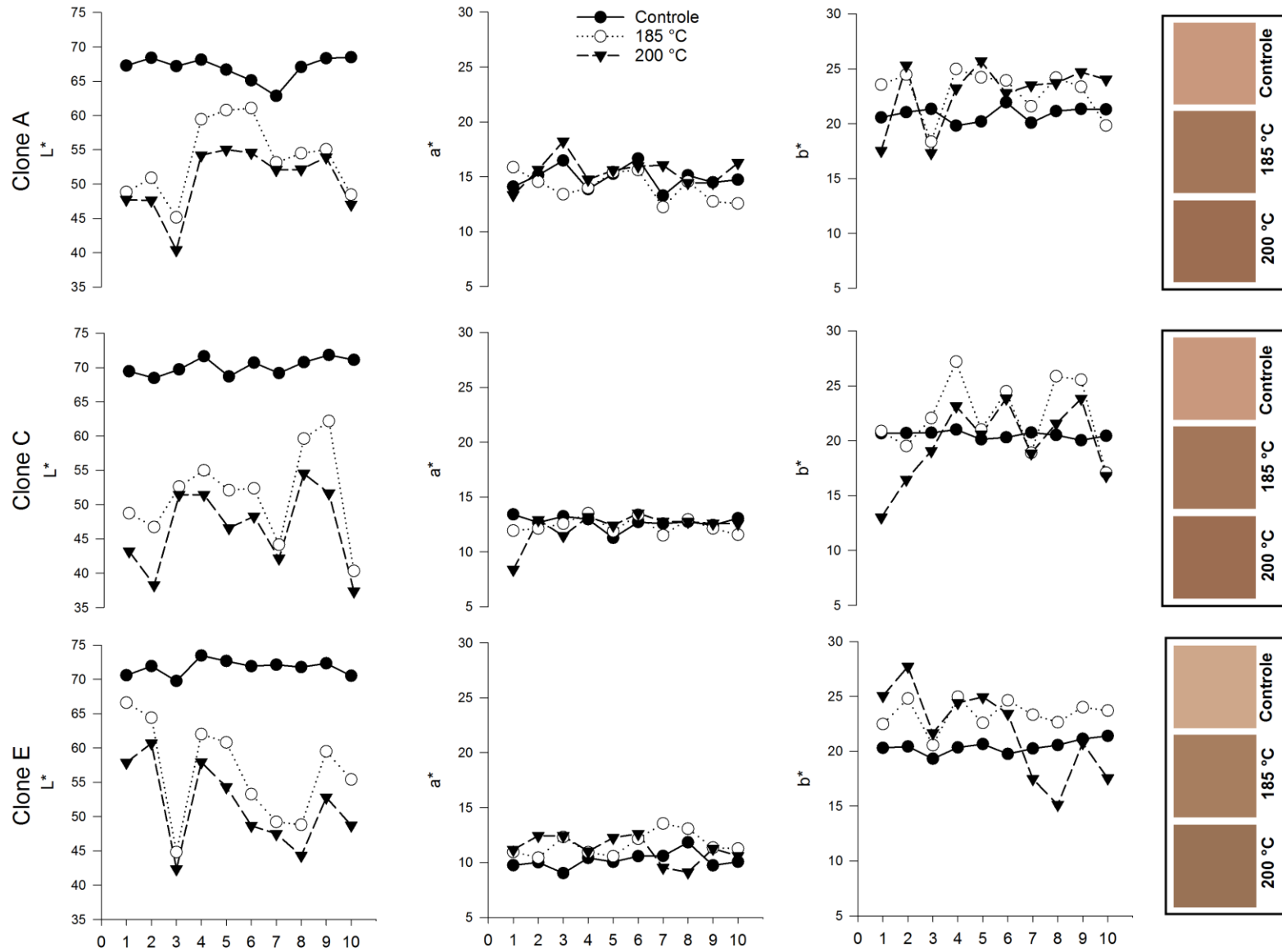
peças serradas de um mesmo padrão colorimétrico ou em tonalidades diversificadas, seja para a utilização em pisos de madeira, fabricação de móveis ou em outros produtos de maior valor agregado (BARROS; MUNIZ; MATOS, 2014).

Na Figura 14, observa-se as médias dos parâmetros colorimétricos para os clones e temperaturas. Para os três clones avaliados (A, C e E), houve um decréscimo no parâmetro L^* da madeira, evidenciando que quanto maior a temperatura, maior o escurecimento, ou seja, à medida que se intensifica o tratamento térmico, os valores de luminosidade das madeiras de eucalipto diminuem. Tal ocorrido também foi observado por Zanúncio, Farias e Silveira (2014), que avaliaram as alterações colorimétricas na madeira de *Eucalyptus grandis* em temperaturas de 140, 170, 200 e 230 °C. Os autores constataram que o tratamento térmico escureceu a madeira, podendo ser uma alternativa para ampliação do uso do material.

Esse mesmo comportamento também foi observado por Pinto (2020), para a espécie de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, sendo constatado que os tratamentos térmicos a 200 °C tornaram as madeiras mais escuras, com as tonalidades marrons, o que seria interessante do ponto de vista comercial para a espécie.

No geral, para a coordenada a^* verificou-se um comportamento semelhante para os clones de eucalipto. A coordenada b^* aumentou em consequência dos tratamentos térmicos. Essa composição resultou numa tonalidade que passou da pigmentação rosa claro para marrom, sendo perceptível após os tratamentos de 185 e 200 °C. Levando em consideração que madeiras mais escuras são desejáveis para a produção de pisos, principalmente para decks, pode-se dizer que ambos os clones exibiram tonalidade diferenciadas com o emprego do tratamento térmico, resultando em um produto de maior valor agregado.

Figura 14 - Médias dos parâmetros colorimétricos (L^* , a^* e b^*) ao longo dos sarrafos de eucalipto nas temperaturas 185, 200 °C e controle, e suas respectivas cores.



A variação total da cor (ΔE^*) da madeira de clones de eucalipto (Tabela 3) indicou que os tratamentos térmicos 185 e 200 °C ocasionaram mudanças expressivas nas madeiras de clones de eucalipto.

Tabela 3 - Variação das coordenadas colorimétricas e alterações totais (ΔE^*) em relação a madeira tratada termicamente a 185 e 200 °C.

Clone	Controle – 185 °C				Controle – 200 °C			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
A	-13,22	-0,82	1,97	13,21 b	-13,82	-1,01	2,62	14,01 b
C	-18,77	-0,36	1,73	18,62 a	-19,21	0,04	1,85	19,13 a
E	-15,23	1,45	2,96	15,33 ab	-17,49	1,62	2,90	17,62 a










Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$).
Fonte: O autor.

Observa-se que, da madeira controle para o tratamento em temperatura de 185 °C, os clones C e E exibiram maiores variações totais. O mesmo padrão ocorreu para as madeiras tratadas em temperatura de 200 °C. De modo geral, a cor da madeira dos clones de eucalipto atingiu maior variação quando as amostras foram expostas em temperatura mais elevada (200 °C). E, de acordo com a classificação proposta por Hikita, Toyoda e Azuma (2001), as temperaturas ocasionaram uma variação total enquadrada na categoria “muito expressiva” (Tabela 4), visto que todos os valores foram superiores a 12.

Quanto maior a exposição da madeira sob condições adversas de temperatura, possivelmente maiores serão as suas alterações. Mudanças na tonalidade da madeira estão associadas aos extrativos presentes na parede celular, que, ao ser exposta sob tais condições, ocasiona o seu clareamento ou escurecimento (CONTE et al., 2014). Isto é causado pela migração de alguns compostos químicos para a superfície da madeira.

Os resultados obtidos para os parâmetros colorimétricos da madeira são semelhantes aos encontrados por Lima (2019) e Pinto (2020), cujas temperaturas de 180 e 200 °C promoveram melhorias na uniformidade da cor, podendo agregar valor comercial às madeiras tratadas termicamente. Os autores citados analisaram um tempo de permanência de 2h após atingir as temperaturas finais, o que difere desta pesquisa, a qual a permanência das amostras no interior do forno foi de 3h.

Tabela 4 - Classificação e variação da cor da madeira de clones de eucalipto antes e após os tratamentos térmicos.

Clone A			
Temperatura	Camargos e Gonzalez (2001)	Hikita, Toyoda e Azuma (2001)	Cor
Controle	Rosa	-	
185 °C	Amarelo-amarronzado	Controle – 185 °C Muito expressiva	
200 °C	Amarelo-amarronzado	Controle – 200 °C Muito expressiva	
Clone C			
Controle	Rosa-acinzentado	-	
185 °C	Marrom-claro	Controle – 185 °C Muito expressiva	
200 °C	Marrom-claro	Controle – 200 °C Muito expressiva	
Clone E			
Controle	Rosa-acinzentado	-	
185 °C	Marrom-claro	Controle – 185 °C Muito expressiva	
200 °C	Marrom-claro	Controle – 200 °C Muito expressiva	

Fonte: O autor.

É importante ressaltar que variações na coloração da madeira após o tratamento térmico pode ser considerado um fator importante, visto que, na maioria das vezes, o consumidor é atraído pelo aspecto visual da madeira, pois tais características estão associadas a madeiras nobres e de maior resistência biológica e mecânica. Dessa forma, a uniformização da cor do material deve ser considerada, principalmente quando se deseja a produção de pisos de madeira, seja para ambientes internos ou externos.

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E CORRELAÇÃO COM A COR

4.2.1 Química da madeira antes e após os tratamentos térmicos

Os resultados das análises dos teores de extrativos, lignina e pentosanas para as madeiras de clones de eucalipto, antes e após os tratamentos térmicos a 185 e 200 °C, constam na Tabela 5. Observou-se que o efeito do clone foi dependente da temperatura, e vice-versa, uma vez que, houve uma interação significativa entre esses fatores para todos os componentes químicos analisados.

Tabela 5 - Composição química da madeira em função dos clones e temperaturas do tratamento térmico.

Extrativos (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	14,19 Ab	13,13 Bb	13,20 Bb
C	16,48 Aa	14,08 Ba	14,22 Ba
E	14,11 Ab	13,82 Aa	12,91 Bb
Lignina (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	28,30 Aa	28,50 Aa	26,68 Ba
C	25,21 Bb	25,71 ABb	26,68 Aa
E	25,15 Bb	26,58 Ab	25,21 Bb
Pentosanas (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	19,86 Aa	19,73 ABa	19,69 Ba
C	19,44 Ab	18,91 Bb	18,71 Cb
E	18,99 Ac	18,73 Bc	18,69 Bb

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

A interação significativa entre os clones, expressa que o comportamento da química da madeira nas temperaturas pode não ser o mesmo para as espécies, o que pode diminuir a padronização das peças serradas. Para os três clones estudados, houve uma diminuição nos teores de extrativos da madeira após os tratamentos térmicos. Observa-se um decréscimo de aproximadamente 7, 14 e 2%

(clones A, C e E, respectivamente) do teor de extrativos da madeira controle para a tratada a 185 °C. Para os clones A e C, estatisticamente não houve diferença significativa entre as médias dos extrativos para as temperaturas 185 e 200 °C, já para o clone E, essa diferença foi observada.

Quando empregadas altas temperaturas no processo do tratamento térmico da madeira, ocorre a volatilização dos extrativos, causada pela quebra de ligações químicas e perda de água livre, ocasionando a sua redução. Moore et al. (2015) ressaltam que os teores de extrativos estão diretamente relacionados à durabilidade natural da madeira ao ataque de organismos xilófagos, o que pode ser um fator a ser considerado para a produção de pisos de madeira comumente usados em ambientes externos.

A degradação dos extrativos, que tornam a madeira escura, é mais acelerada em temperaturas elevadas. Em temperaturas inferiores, a degradação deste componente é mais demorada (ZANUNCIO; FARIAS; SILVEIRA, 2014). Estudos realizados por Silva et al. (2015) também constataram redução no teor de extrativos para a madeira de *Corymbia citriodora* aos 18 anos de idade. Os autores concluíram que, quanto maior a severidade do tratamento térmico, maiores foram as mudanças nas propriedades químicas da madeira.

No entanto, Brito et al. (2008) observaram um aumento do teor de extrativos para a madeira de *Eucalypto saligna* aos nove anos de idade. As madeiras foram tratadas em forno elétrico em temperaturas de 120, 140, 160 e 180 °C, cujos valores médios dos extrativos foram 4,8; 5,3; 5,7; 5,6 10,1%, respectivamente, havendo diferença estatística somente para a madeira tratada em 180 °C. Esses diferentes comportamentos podem ser explicados pelas diferenças nos constituintes químicos entre as madeiras avaliadas durante o tratamento térmico da madeira.

Os maiores teores de lignina foram observados para o clone A, com 28,50% do componente para a madeira tratada a 185 °C. O menor valor foi observado para o clone E, com 25,15%. Esses clones apresentaram um aumento no teor de lignina da madeira controle para a madeira tratada a 185 °C, com um leve decréscimo ocorrido nas madeiras tratadas a 200 °C. No entanto, o clone C possuiu um aumento no teor de lignina após ambos os tratamentos térmicos, sendo o maior valor observado para 200 °C, com um aumento de aproximada 6%. O aumento do teor de lignina após o tratamento térmico ocorre pela redução dos carboidratos, com a ação da

degradação das moléculas de celulose e hemiceluloses. Assim, a lignina aumenta a sua disponibilidade, em virtude da degradação desses compostos e junção a outras substâncias (KORTILAINEN, 2000).

De acordo com Tjeerdsma et al. (1998), após o tratamento a 180 °C ou temperaturas mais elevadas, ocorrem mudanças químicas na lignina e hemiceluloses e a madeira tratada torna-se menos higroscópica, o que para a produção de deck é visto como um ponto positivo, melhorando a sua estabilidade dimensional, uma vez que esse tipo de piso está em constante contato com a água.

O teor de pentosanas da madeira variou entre 18,69 e 19,86% (clones E e A, respectivamente). Tais valores foram próximos aos encontrados por Mokfienski et al. (2008), com valor máximo de 18,60% para madeiras de eucalipto. Observa-se, para todos os clones, uma tendência de decréscimo conforme o aumento da temperatura. Neste sentido, a decomposição desse tipo de hemicelulose, demonstra a eficiência e importância da modificação térmica para o aumento da resistência a biodeterioração dos pisos de madeira, visto que a redução do teor de pentosanas acarreta na diminuição de fonte de nutriente para os fungos. Além disso, dentre os polímeros, a hemicelulose é a mais hidrofílica, favorecendo a troca de água com o meio e, conseqüentemente a variação dimensional da madeira (MODES et al., 2017).

Em madeiras de eucalipto, o teor de pentosanas se aproxima muito do teor de hemiceluloses, já que estas são compostas principalmente de pentoses. Em outros estudos, Brito (2017) relataram o efeito do processo de modificação térmica na redução do teor de hemiceluloses para as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis* tratadas termicamente a 160 °C, efeito contrário ao observado para o teor de lignina total, extrativos totais e em água quente. Assim, concluíram que a modificação térmica a 160 °C da madeira juvenil de *Eucalyptus grandis* é mais recomendável do que para a juvenil de *Tectona grandis*.

4.2.2 Relações entre a química e parâmetros colorimétricos da madeira

As correlações entre os teores de extrativos, lignina, pentosanas e os parâmetros colorimétricos L*, a* e b* das madeiras de clones de eucalipto antes e após os tratamentos térmicos a 185 e 200 °C encontram-se na Tabela 6. Observa-se que houve correlação negativa entre o teor de extrativos e luminosidade (L*) para a madeira controle do clone A, ou seja, a medida que há o aumento no teor de extrativos, ocorre a diminuição da coordenada L*, indicando o escurecimento da madeira com o aumento dos extrativos. Também houve correlação positiva entre os extrativos e a luminosidade da madeira tratada a 185 °C, indicando o aumento da luminosidade com o aumento do teor de extrativos.

Tabela 6 - Correlações entre a química e os parâmetros colorimétricos (L*, a* e b*).

Variáveis	Controle			185° C			200° C		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Clone A									
Extrativos	-0,96	0,76	0,09	0,90	0,67	0,67	-0,56	-0,37	-0,83
Lignina	0,13	-0,20	0,52	-0,49	-0,76	-0,55	-0,60	-0,17	-0,48
Pentosanas	-0,26	0,14	-0,22	-0,08	0,04	0,22	-0,50	0,16	-0,008
Clone C									
Extrativos	0,77	-0,85	-0,68	-0,67	-0,22	-0,47	0,20	-0,70	-0,55
Lignina	0,58	-0,67	0,77	0,19	0,24	0,35	-0,17	0,44	0,26
Pentosanas	0,64	0,22	-0,52	0,73	0,59	0,84	-0,63	0,23	0,13
Clone E									
Extrativos	0,86	0,59	0,27	0,32	-0,36	0,53	0,48	0,93	0,93
Lignina	0,54	0,89	0,65	-0,02	-0,05	-0,81	-0,50	-0,54	0,50
Pentosanas	0,79	0,14	-0,19	-0,36	0,47	-0,47	0,40	-0,56	-0,13
Grupo *									
Extrativos	0,34	0,07	-0,13	0,17	-0,30	0,21	0,06	-0,08	-0,3
Lignina	-0,74	0,78	0,58	-0,009	0,44	-0,12	-0,36	0,27	-0,22
Pentosanas	-0,73	0,92	0,44	-0,08	0,75	-0,089	0,04	0,77	0,16

*Grupo (efeito da temperatura para todos de clones); Valores com destaque, coeficiente de correlação significativo (teste t, $p \leq 0,05$). Demais valores são não significativos (teste t, $p > 0,05$).

Para o clone A, observa-se também, uma correlação inversa entre os extrativos e a coordenada b* para a madeira tratada a 200 °C, sugerindo o aumento da pigmentação amarelada juntamente com os extrativos, após tratamento térmico. Para o clone C, houve correlação negativa entre os extrativos e a coordenada a* no tratamento controle. A influência do teor de extrativos varia de espécie para espécie, e está ligada ao conteúdo de substâncias fenólicas e a formação do cerne (MOYA et al., 2012), cujos os elementos foram observados nas amostras de madeira, o que pode ter contribuído para a presença ou ausência dessas correlações. A química da

madeira influencia na destinação de usos do material. Madeiras com maior teor de extrativos tendem a ter maior durabilidade a ação de organismos xilófagos, sendo indicadas para produção de móveis e utilização em ambientes externos.

As características colorimétricas da madeira dependem dos extrativos e lignina que interagem com a luz. O nível de pigmentação vermelha na madeira está associado ao seu teor de extrativos. O teor de lignina correlacionou-se positivamente com coordenada a^* em amostras controle do clone E, indicando que a cor vermelha está relacionada ao aumento da lignina. González-Peña e Hale (2009) relataram que as alterações na cor foram influenciadas pelo comportamento da claridade e, também sugeriu, que variações na madeira tratada termicamente devem-se às mudanças químicas nos polímeros da madeira, principalmente lignina. Durante o tratamento térmico, as temperaturas mais altas alteram não apenas as propriedades físicas, mas também a estrutura química da madeira.

Para o clone E, tratado a 185 °C, ocorreu correlação inversa entre o teor de lignina e a variável b^* , indicando diminuição da coloração amarelada. Isto também foi observado para as madeiras que, após o tratamento térmico, exibiram tonalidade próxima do marrom. Bekhta e Niemz (2003) afirmaram que um dos principais efeitos do tratamento térmico é o escurecimento da madeira.

Na avaliação em grupo, o tratamento controle obteve correlação entre o teor de lignina e todas as coordenadas colorimétricas. A correlação negativa com a coordenada L^* , indica que o aumento no teor de lignina da madeira ocasiona a diminuição da coordenada L^* e, conseqüentemente, o escurecimento da cor. Fato semelhante ao ocorrido para o teor de extrativos do clone A (controle). A correlação positiva entre as coordenadas a^* e b^* , juntamente com a correlação inversa com a coordenada L^* , indicam a tonalidade próxima à cor rosa para as madeiras sem tratamento, as quais foram visivelmente modificadas pela ação dos tratamentos térmicos.

Houve correlação entre conteúdo de pentosanas e coordenada b^* (clone C a 185°C), entre as coordenadas L^* e a^* para a análise em grupo (controle) e coordenada a^* (200 °C). A correlação negativa desse componente químico com a luminosidade (L^*), indica que as madeiras mais claras possuem baixo teor de pentosanas, enquanto as mais escuras, maior teor. Bourgois, Janin e Guyonnet (1991) atribuíram que a diminuição da luminosidade (maiores valores de L^*) e

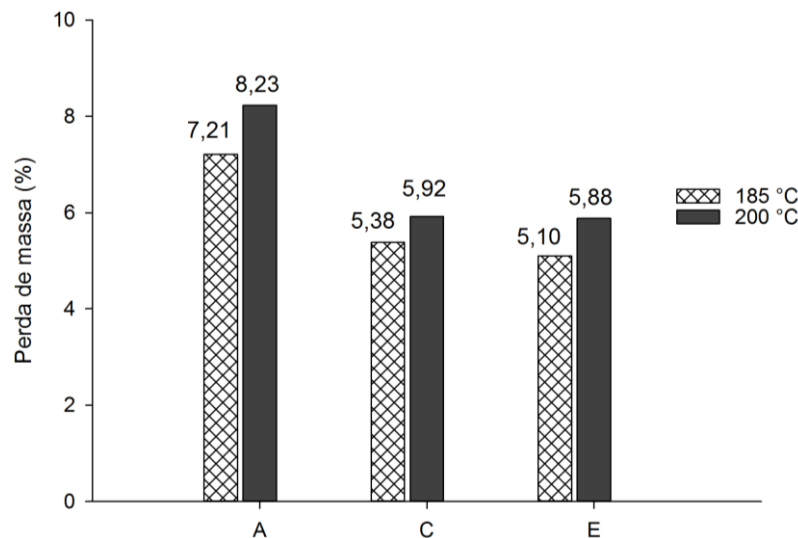
aumento das coordenadas a^* e b^* da madeira pelo tratamento térmico, deve-se à diminuição (transformação total) das hemiceluloses, principalmente das pentosanas, causadas pelas temperaturas mais elevadas (240-310 °C).

De modo geral, as madeiras dos clones de eucalipto analisadas tiveram comportamento químico semelhante aos observados na literatura (MOKFIENSKI et al., 2008; TJEERDSMA et al., 1998). É importante ressaltar que se conheçam as propriedades tecnológicas da madeira para a produção de decks, pois as combinações das características químicas, físicas, mecânicas e biológicas; além das propriedades anatômicas e estéticas, definem a qualidade da madeira para esse uso.

4.3 PERDA DE MASSA, TEOR DE UMIDADE E DENSIDADES

Entre os clones avaliados, os maiores valores de perda de massa, causados pelos tratamentos térmicos, foram obtidos pelo clone A (Figura 15). Houve um aumento de perda de massa com a elevação da temperatura para todos os clones avaliados. Essa redução de massa ocorre pela perda de extrativos voláteis e de água, a qual depende diretamente das condições de temperatura e tempo adotado no processo de modificação térmica (GARCIA et al., 2012).

Figura 15 - Valores médios de perda de massa da madeira de eucalipto por clone e temperatura de modificação térmica.



Fonte: O autor.

O processo de modificação térmica causa alterações na composição química da madeira em decorrência da decomposição das moléculas de celuloses, hemiceluloses e lignina, diminuindo a acessibilidade dos grupos hidroxilas (OH⁻) responsáveis pela higroscopicidade da madeira, e conseqüentemente aumento da perda de massa pela redução do material lenhoso (BRITO et al., 2008). Segundo pesquisas desenvolvidas pelos autores citados, a madeira de *Eucalyptus saligna* tratada termicamente em temperaturas de 160 e 180 °C obtiveram maiores perdas de massa, com valores de 5,3 e 9,6%, respectivamente; o que se aproximam dos valores médios observados nesta pesquisa.

O efeito da modificação térmica na perda de massa da madeira também foi observado por Nunes (2012) que avaliou as propriedades tecnológicas e qualidade

de adesão de madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* tratadas a 180 e 200 °C, temperaturas similares as utilizadas na presente pesquisa. Os resultados mostraram que as duas espécies apresentaram perda de massa, a qual foi crescente com o aumento da temperatura e mais acentuada para a madeira de *Eucalyptus pellita*. Ainda, segundo o autor, menores perdas de massa são observadas em atmosferas inertes, condições anaeróbicas, sistemas abertos, madeiras secas (anidras) e de coníferas. Enquanto ambientes aeróbicos, sistemas fechados, madeiras úmidas, climatizada e de folhosas proporcionam elevada perda de massa.

Estudos realizados por Wentzel et al. (2019) com madeiras de *Eucalyptus nitens* tratadas e não tratadas termicamente, provenientes do Chile e Espanha, para a produção de decks, constataram perda de massa de 2,4; 6,1 e 12,3% para as madeiras chilenas tratadas em temperaturas de 185, 200 e 215 °C, respectivamente. Para as madeiras espanholas, as perdas foram de 2,6; 5,7 e 12%, nas respectivas temperaturas. De acordo com os autores, a modificação térmica da madeira de ambos os países, apresentou potencial para ser utilizado como deck, principalmente quando modificado a 200 °C.

No entanto, pesquisa desenvolvida para a madeira de *Eucalyptus* sp. tratada termicamente em temperaturas de 180, 210 e 240 °C, com uso de forno cerâmico elétrico, semelhante ao utilizado na presente pesquisa, ocasionaram perda de massa mais elevada, com valores de 9,15; 19,76 e 23,9%. Esses resultados são decorrentes das elevadas temperaturas, associadas ao tempo de exposição, causando acréscimo da perda de massa e da efetiva repelência de água, com redução da massa específica aparente e taxa de absorção de água (JUÍZO et al., 2018).

Em relação ao teor de umidade de equilíbrio higroscópico (UE), não houve diferença significativa entre os clones avaliados (Tabela 7), cujos valores foram próximos, variando entre 10,372 e 10,582%; clones C e E, respectivamente. Entretanto, para as temperaturas avaliadas e o tratamento controle, houve diferença estatística. Observa-se que do tratamento controle para temperaturas utilizadas, ocorreu diminuição da UE, em que as médias das temperaturas 185 e 200 °C possuíram valores semelhantes, diferindo da madeira sem tratamento térmico. Da

madeira controle para o tratamento 185 °C esse decréscimo foi de ≈31%, enquanto de controle para 200 °C ocorreu diminuição de ≈27% do teor.

Tabela 7 - Teor de umidade de equilíbrio (UE), densidade básica (DB) e aparente (DA) para os clones e tratamentos térmicos testados.

Clone	UE (%)	DB (g.cm⁻³)	DA (g.cm⁻³)
A	10,582 a	0,517 c	0,620 c
C	10,372 a	0,653 a	0,790 a
E	10,436 a	0,601 b	0,719 b
Temperatura (°C)	UE (%)	DB (g.cm⁻³)	DA (g.cm⁻³)
Controle	12,948 a	0,589 a	0,738 a
185	8,988 b	0,589 a	0,690 b
200	9,454 b	0,593 a	0,700 b

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na vertical, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

Alterações no teor de umidade de equilíbrio higroscópico (UE) ocorrem com o aumento proporcional da celulose cristalina por causa da degradação causada na região amorfa, acarretando na diminuição da acessibilidade aos grupos hidroxílicos (OH⁻), pelo vapor d'água e, com isso, a diminuição do teor de umidade da madeira (ESTEVES; PEREIRA, 2009). Dessa forma, a diminuição do teor de umidade de equilíbrio é explicada pela diminuição de grupos OH⁻, clivagem das cadeias de celulose e hemiceluloses, e perdas de constituintes químicos após os tratamentos térmicos (AKYILDIZ; ATES, 2008; BOONSTRA; TJEERDSMA, 2006). Essa redução degrada os compostos higroscópicos da madeira, provocando o aumento da estabilidade dimensional (ESTEVES; DOMINGOS; PEREIRA, 2008).

Os resultados da UE expressam que as mudanças ocorridas na madeira, após os tratamentos térmicos contribuíram para que a capacidade de absorção da umidade relativa do ambiente, pelas amostras, diminuísse para o fator temperatura, quando comparadas ao tratamento controle.

O comportamento da densidade básica (DB) foi similar ao da aparente (DA) para o fator clone, em que as maiores densidades foram observadas para os clones C e E. O clone A possuiu maior perda de massa após os tratamentos térmicos e, conseqüentemente, foi o que apresentou menor densidade, tanto a DB quanto a DA. A madeira tratada termicamente exibiu maior perda de massa, em relação ao controle, afetando a sua densidade. Para o fator temperatura, não houve influência

dos tratamentos térmicos na DB, cujas médias foram iguais, variando entre 0,589 e 0,593 g.cm⁻³. No entanto, as médias da densidade aparente exibiram diferenças, em que as temperaturas de 185 e 200 °C, foram menores e estatisticamente iguais, diferindo do tratamento controle.

Valores similares de densidade aparente para o clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptos urophylla* foram observados por Juizo et al. (2021), que obtiveram densidades de 0,50 e 0,61 g.cm⁻³ (não tratado e tratado), e constataram que não houve influência do tratamento térmico a 200 °C, durante quatro horas. Os autores recomendaram o uso da madeira para decks, por não necessitar de maiores exigências de carga, diferentemente de pisos de áreas internas e com alto tráfego.

Pesquisa realizada com madeiras de *Eucalyptus grandis* modificadas termicamente sob diferentes condições de temperatura e tempo de tratamento (160 °C-2 h; 180 °C-2 e 4 h; 200 °C-2 h; 215 °C-4 h; e tratamento controle), indicou que os tratamentos térmicos influenciaram diretamente nas propriedades físicas da madeira, com redução da densidade aparente, que variou entre 0,47 e 0,59 g.cm⁻³. Além disso, os tratamentos térmicos proporcionaram redução no teor de umidade de equilíbrio e variação volumétrica (DIAS JÚNIOR et al., 2015). Os autores ressaltaram que, durante o tratamento térmico, o aumento de temperatura não provocou diminuição de massa proporcional à diminuição de volume. Dessa forma, a massa específica básica não deve ser utilizada como parâmetro isolado para avaliar a qualidade do tratamento térmico.

Para o uso industrial é importante que a madeira tenha uniformidade em sua densidade, cor, resistência mecânica, biológica e trabalhabilidade. Contudo, a madeira é um material heterogêneo, impossibilitando o atendimento dessas características simultaneamente. Assim, plantios de clones de *Eucalyptus*, manejados adequadamente, podem produzir madeira mais homogênea, refletindo em maior qualidade do produto final (BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010).

4.4 CONTRAÇÕES LINEARES E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA

Os valores médios das contrações tangencial, radial, volumétrica e fator de anisotropia da madeira; da condição saturada para a climatizada encontram-se na Tabela 8. Observou-se a interação clone x temperatura apenas para a contração radial, indicando que o efeito do clone foi dependente da temperatura, e vice-versa, uma vez que, houve uma interação significativa entre esses fatores.

Tabela 8 - Contrações tangencial, radial, volumétrica e fator anisotrópico da madeira em condição saturada para climatizada para os clones e tratamentos térmicos.

Contração Tangencial (%)				
Clone		Temperatura (°C)		
A	6,382 b	Controle	7,669 a	
C	7,455 a	185	5,972 b	
E	6,348 b	200	6,544 b	

Contração Radial (%)				
Clone	Temperatura (°C)			
	Controle	185	200	
A	3,322 Ab	3,271 Ab	3,875 Aa	
C	4,064 Aa	3,654 Aab	3,494 Aba	
E	4,605 Aa	4,000 Aa	3,075 Bb	

Contração Volumétrica (%)				
Clone	Temperatura (°C)			
	Controle	185	200	
A	10,165 ABb	8,941 Ba	10,508 Aa	
C	12,650 Aa	10,114 Ba	10,815 Ba	
E	12,185 Aa	9,787 Ba	8,753 Bb	

Coefficiente de Anisotropia (%)				
Clone		Temperatura (°C)		
A	1,859 a	Controle	1,988 a	
C	2,017 a	185	1,705 b	
E	1,946 a	200	1,945 ab	

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, horizontal ou minúscula na vertical, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

Para a contração tangencial, o clone C apresentou maiores valores, com média de 7,455%, diferindo estatisticamente dos clones A e E (6,382 e 6,348%), cujos valores foram semelhantes entre si. Para as temperaturas, ocorreu um decréscimo do tratamento controle para os tratamentos 185 e 200 °C, de

aproximadamente 22 e 15%, respectivamente. Esses resultados evidenciam o efeito positivo da modificação térmica na estabilidade da madeira para esse plano dimensional.

Os clones A e C não foram influenciados pelas temperaturas para a contração radial, sendo estatisticamente iguais. No entanto, para o clone E, a contração radial foi proporcionalmente inversa ao aumento da temperatura. Os valores médios das contrações tangenciais foram superiores aos das contrações radiais, corroborando com pesquisas realizadas por Kollmann e Côté Júnior (1968), os quais afirmam que essa diferença, antes explicada exclusivamente pela influência restritiva dos raios na direção radial, também pode ser explicada adicionalmente, pelo menos para madeira de coníferas, pelo arranjo helicoidal diferente das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais (OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; FIEDLER, 2010).

Quanto à contração volumétrica, os clones C e E possuíram comportamento estaticamente iguais nas temperaturas avaliadas, decrescendo do tratamento controle para 185 e 200 °C. Para o clone A, houve diminuição da contração volumétrica apenas do tratamento controle para 185 °C. Já para o tratamento 200 °C ocorreu um aumento pouco expressivo, porém o valor não diferiu do tratamento controle. Essa divergência dos valores de contração volumétrica obtidas pelo clone A, após o tratamento a 200 °C, pode estar relacionada com características intrínsecas ao clone, cuja proporcionalidade de material genético de seus híbridos diferem dos demais clones.

No tratamento controle, os clones C e E possuíram maiores valores de contração volumétrica (12,650 e 12,185%), diferindo do clone A, que obteve uma média de 10,65%. Na temperatura de 185 °C, as médias variaram entre 8,941 e 10,114%, entretanto, foram iguais para os clones. Na temperatura de 200 °C, os clones A e E (10,508 e 10,815%) não possuíram diferença significativa, mas ambos diferiram do clone C, que possuiu contração volumétrica de 8,753%. A retratibilidade volumétrica se caracteriza pela variação total ocorrida na madeira, em função da higroscopicidade. Embora seja um parâmetro para avaliação de madeiras tratadas termicamente, as contrações lineares são mais relevantes, pois refletem no coeficiente de anisotropia da madeira (OLIVEIRA et al., 1997).

Não houve diferença significativa entre as médias dos clones para o coeficiente de anisotropia. No entanto, o clone C apresentou maior valor (2,017),

quando comparado aos clones A e E, cujos valores foram 1,859 e 1,946; respectivamente, sendo considerados como normais, segundo classificação de Durlo e Marchiori (1992). Houve diminuição do fator anisotrópico do tratamento controle para as temperaturas avaliadas, indicando mais uma vez, a efetividade do tratamento térmico. Os baixos fatores anisotrópicos encontrados para os clones de eucalipto, mostram que as madeiras possuem baixa disposição para rachamentos, caracterizando-as como estáveis, ideais quando se deseja utilizar madeira com menor processamento, como em decks.

Em relação a madeira em condição saturada para a seca, houve interação entre o fator clone x temperatura para todas as contrações e coeficiente de anisotropia da madeira (Tabela 9), pois a diferença existente na resposta entre os níveis de um fator não foi a mesma para os demais. Para o clone A, não houve diferença significativa entre as médias das temperaturas e tratamento controle para a contração tangencial, enquanto os clones C e E apresentaram comportamento semelhante, tendo as médias das temperaturas 185 e 200 °C sido iguais, diferindo do tratamento controle, o qual possuiu maior valor (9,454%).

Assim como na contração tangencial, o clone A também não possuiu influência das temperaturas avaliadas para a contração radial, cujas médias foram iguais ao controle. No entanto, observa-se uma pequena redução desses valores após os tratamentos térmicos. Comportamento semelhante também foi constatado para a contração tangencial da madeira em condição saturada para a climatizada, para o mesmo clone. Para o clone C, a média da contração radial em 185 °C (5,783%) foi semelhante ao controle (6,492%) e 200 °C (5,560%). Contudo, o tratamento controle diferiu do tratamento 200 °C, temperatura esta, que ocasionou menor média. Entretanto, para o clone E, a contração radial foi proporcionalmente inversa ao aumento da temperatura.

Tabela 9 - Contrações tangencial, radial, volumétrica e fator anisotrópico da madeira em condição saturada para anidra para os clones e tratamentos térmicos.

Contração Tangencial (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	9,454 Ab	8,423 Aa	8,805 Ab
C	11,513 Aa	9,483 Ba	10,261 Ba
E	10,825 Aa	8,683 Ba	8,182 Bb

Contração Radial (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	5,038 Ab	4,802 Ab	5,597 Aa
C	6,492 Aa	5,783 ABa	5,560 Ba
E	7,363 Aa	6,299 Ba	4,981 Ca

Contração Volumétrica (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	14,492 Ab	13,225 Ab	14,402 Ab
C	18,005 Aa	15,265 Ba	15,822 Ba
E	18,189 Aa	14,982 Ba	13,162 Cb

Coefficiente de Anisotropia (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	1,889 Aa	1,791 ABa	1,578 Ba
C	1,801 Aab	1,662 Aba	1,855 Aa
E	1,506 Ab	1,418 Ab	1,703 Aa

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, horizontal ou minúscula na vertical, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

As médias das contrações volumétricas do clone A, não diferiram entre tratamentos térmicos. Porém, do tratamento controle para 185 °C, houve um decréscimo de aproximadamente 9%; para o tratamento 200 °C, esse decréscimo foi de apenas 0,6%. Para o clone C, também houve diminuição da contração volumétrica após os tratamentos térmicos. Constatou-se, novamente, para o clone E, proporcionalidade inversa ao aumento da temperatura, com diminuição aproximada de 18% após tratamento a 185 °C e 28% após temperatura de 200 °C.

Estudos realizados por Brito et al. (2006) com madeiras de *Eucalyptus grandis* aos 21 anos, modificadas termicamente em temperaturas de 120, 140, 160, 180 e 200 °C em estufa elétrica demonstraram que a contração volumétrica foi 25% menor

para a temperatura mais elevada, quando comparada com a madeira sem tratamento.

Em relação ao tratamento controle, houve diminuição do coeficiente de anisotropia após os tratamentos avaliados, para todos os clones. Observa-se, que não houve diferença entre os clones na temperatura de 200 °C. As maiores médias foram obtidas pelo clone A, enquanto o E possuiu os menores valores que, segundo a classificação de Durlo e Marchiori (1992), nos tratamentos controle e 185 °C (1,506 e 1,418%, respectivamente) foram classificadas como excelentes. As demais médias enquadraram-se como normais. Madeiras com um coeficiente anisotrópico superior a dois, são mais propensas a defeitos como empenamentos e rachaduras, proporcionados pelas contrações de secagem, e aquelas que menos contraem são mais estáveis dimensionalmente (GONÇALVES et al., 2009).

Para Oliveira (1997), espécies de eucalipto possuem madeira com elevadas contrações volumétricas e, segundo Brito et al. (2006), a madeira de *Eucalyptus grandis* comumente possui elevada retratibilidade. Com isso, a modificação térmica foi benéfica para as madeiras dos clones de eucalipto, pelo aumento da estabilidade dimensional observada após o emprego das temperaturas estudadas. Diferenças entre as contrações observadas, também podem estar associadas ao comportamento diferenciado que ocorre dentro de uma mesma árvore (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

4.5 INCHAMENTO DA MADEIRA ANTES E APÓS OS TRATAMENTOS TÉRMICOS

Os resultados comprovaram que os tratamentos térmicos ocasionaram variação nas propriedades dimensionais dos clones de eucalipto, influenciando na redução da higroscopicidade da madeira (Tabela 10). Para o inchamento tangencial, não houve interação entre os fatores clone x temperatura. Assim, ao analisar os efeitos individuais dos fatores, observa-se que para os clones, o maior valor de inchamento tangencial foi observado para o C, cuja média foi de 8,079%. Os clones A e E exibiram valores similares, com médias de 6,822 e 6,801%, respectivamente; os mesmos diferiram do clone C. Para o fator temperatura, houve diminuição do inchamento tangencial do tratamento controle para os demais, com decréscimo de $\approx 24\%$ em 185 °C e $\approx 16\%$ em 200 °C.

Tabela 10 - Inchamentos da madeira em condição climatizada para saturada, para os clones e tratamentos térmicos.

Inchamento Tangencial (%)				
	Clone	Temperatura (°C)		
	A	6,828 b	Controle	8,325 a
	C	8,079 a	185	6,367 b
	E	6,801 b	200	7,017 b
Inchamento Radial (%)				
Clone	Temperatura (°C)			
	Controle	185	200	
A	3,438 Ab	3,386 Ab	4,031 Aa	
C	4,239 Aa	3,797 Aab	3,623 Aab	
E	4,838 Aa	4,174 Aa	3,183 Bb	
Inchamento Volumétrica (%)				
Clone	Temperatura (°C)			
	Controle	185	200	
A	10,794 ABb	9,409 Ba	11,138 Aa	
C	13,642 Aa	10,716 Ba	11,537 Ba	
E	13,053 Aa	10,335 Ba	9,212 Bb	

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, horizontal ou minúscula na vertical, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

Quanto ao inchamento radial, não houve influência das temperaturas para os clones A e C, sendo as médias do tratamento controle, 185 e 200 °C semelhantes. Para o clone E o inchamento se comportou de forma decrescente com o aumento da temperatura. O tratamento 200 °C se mostrou mais efetivo, tendo baixos valores em relação ao tratamento controle.

O inchamento volumétrico do clone A, reduziu do tratamento controle (10,794%) para o tratamento 185 °C (9,409%), sendo a redução de $\approx 13\%$. Contudo, o aumento da temperatura não promoveu diminuição do inchamento volumétrico para 200 °C. O mesmo ocorreu para a contração volumétrica, podendo estar relacionada com características inerentes ao clone e diferentes proporções do material genético em relação aos demais clones. A diminuição dos inchamentos, com o aumento da temperatura, pode ser explicada pela maior perda de massa, promovida pelas mudanças na estrutura da madeira, gerando um produto mais estável, causado pelo menor ganho de umidade.

Houve interação clone x temperatura para os inchamentos tangencial, radial e volumétrico, da condição anidra para saturada (Tabela 11). Constatou-se que, para

o inchamento tangencial e radial obtido pelo clone A, não houve influência dos tratamentos térmicos empregados, cujos valores foram semelhantes.

Tabela 11 - Inchamentos da madeira em condição anidra para saturada, para os clones e tratamentos térmicos.

Inchamento Tangencial (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	10,451 Ab	9,210 Aa	9,658 Ab
C	13,033 Aa	10,487 Ba	11,444 Ba
E	12,152 Aa	9,536 Ba	8,920 Bb
Inchamento Radial (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	5,306 Ac	5,051 Ab	5,930 Aa
C	6,947 Ab	6,146 ABa	5,891 Ba
E	7,966 Aa	6,730 Ba	5,260 Ca
Inchamento Volumétrica (%)			
Clone	Temperatura (°C)		
	Controle	185	200
A	15,758 Ab	14,260 Ab	15,588 Ab
C	19,981 Aa	16,633 Ba	17,335 Ba
E	20,118 Aa	16,265 Ba	14,180 Cb

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, horizontal ou minúscula na vertical, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

O clone E possuiu inchamento radial decrescente com o aumento da temperatura, com um decréscimo de 16 e 34% após tratadas a 185 e 200 °C, respectivamente. Em madeira de *Eucalyptus grandis* modificada termicamente pelo processo brasileiro, em temperaturas de 140, 160 e 180 °C, Batista (2012) ressaltou diminuição do inchamento volumétrico com a elevação da temperatura.

Pesquisa realizada em madeiras de *Eucalyptus cloeziana* modificadas termicamente em temperaturas de 160 e 210 °C, durante uma hora obtiveram redução dos inchamentos tangencial, radial e volumétrico após os tratamentos térmicos. Em relação às reduções no inchamento volumétrico, a menor variação na madeira ocorreu com o tratamento de 160 °C, com aproximadamente 28% e a maior redução encontrada foi observada na temperatura de 210 °C, com aproximadamente 32%. Os autores concluíram que as modificações foram positivas para o coeficiente

anisotrópico e inchamentos, proporcionando melhores desempenhos (HULLER et al., 2017).

As modificações térmicas causam alterações nas propriedades físicas da madeira, especialmente na retratibilidade e umidade de equilíbrio, causado pela degradação das moléculas de hemiceluloses e redução dos grupos hidroxílicos (KORKUT et al. 2008). No geral, a temperatura de 185 °C apresentou menores valores de inchamento tangencial e volumétrico, em relação a temperatura de 200 °C, mostrando-se mais efetiva, acarretando numa maior estabilidade dimensional para as madeiras tratadas de clones de eucalipto. Inchamentos menores em madeiras modificadas termicamente estão relacionadas à formação de polímeros de baixa higroscopicidade e aumento da cristalinidade da celulose com a elevação da temperatura (VITAL; DELLA-LUCIA, 1982).

4.6 DUREZA JANKA, IMPACTO DA ESFERA DE AÇO, ARRANCAMENTO DE PARAFUSO E ADERÊNCIA DE *STAIN*

Não houve influência dos tratamentos térmicos nos ensaios de dureza Janka, impacto da esfera de aço cadente, arrancamento de parafuso e aderência do produto de acabamento (*stain*), Tabela 12. Isso indica que as temperaturas não interferiram negativamente nos valores dessas propriedades analisadas na madeira de clones de eucalipto. No entanto, entre clones, houve diferença entre as médias para a dureza Janka e arrancamento de parafuso. As médias das depressões do ensaio de impacto da esfera de aço cadente e aderência de *stain* também não diferiram entre os clones.

Tabela 12 - Dureza Janka, depressões por impacto de esfera de aço (DIE), arrancamento de parafuso da madeira (AP) e aderência de *stain*.

Clone	Dureza Janka (MPa)	DIE (mm)	AP (N)	Aderência (%)
A	33,06 b	0,351 a	1897,45 b	95,43 a
C	60,67 a	0,319 a	2665,24 a	95,07 a
E	42,54 b	0,352 a	2421,12 ab	94,66 a
Temperatura (°C)	Dureza Janka (MPa)	DIE (mm)	AP (N)	Aderência (%)
Controle	51,33 a	0,332 a	2464,66 a	95,26 a
185	38,99 a	0,333 a	2085,08 a	94,91 a
200	45,94 a	0,358 a	2434,06 a	95,28 a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na vertical, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$). Fonte: O autor.

Quanto à dureza Janka, as médias variaram entre 33,06 e 60,67 MPa, clones A e C, respectivamente. As médias dos clones A e E foram semelhantes, diferindo do clone C, que apresentou maior média. Tal valor pode estar associado aos maiores valores de densidade básica e aparente obtidos pelo clone. Maiores valores de dureza são determinantes para o emprego da madeira em pisos, pois apresentam resistência a riscos, desgastes e depressões provocados pelo pisoteio. Estudos realizados por Juizo et al. (2018) com o objetivo de avaliar as propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* sp. modificadas termicamente (180, 210 e 240 °C); indicou que a Dureza Janka foi influenciada pelos tratamentos empregados, reduzindo com o aumento da temperatura e tempo de exposição.

A inexistência de diferença significativa para a dureza Janka entre as temperaturas avaliadas e o tratamento controle é considerado fator positivo, visto que a diminuição dos valores dessa propriedade pode reduzir a qualidade do piso tipo deck. Ao avaliarem a madeira de *Eucalyptus grandis* modificadas termicamente em temperaturas de 180 e 200 °C, Calonego, Severo e Ballarin (2012) constataram redução de 12,1 a 20,7% na dureza Janka, quando comparadas com a madeira controle. O mesmo foi observado por Waskett e Selmes (2001), cujas propriedades de resistência tiveram redução de aproximadamente 30% com o aumento da temperatura.

Menores valores de dureza Janka para clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptos urophylla* modificados termicamente foram observados por Juizo et al. (2021), que obtiveram resultados que variaram entre 22,96 e 25,96 MPa. Na condição natural, as madeiras do *E. grandis* e do *E. urophylla* apresentaram maiores valores de dureza Janka, que os clones provenientes do cruzamento das mesmas espécies. Os autores associaram esses resultados à maior massa específica aparente, que também pode ter influenciado na resistência à penetração da esfera de aço cadente.

Paras as depressões causadas pelo impacto da esfera de aço cadente, não houve diferença entre clones, nem entre temperaturas (Tabela 12). Para o fator clone, as médias variaram entre 0,319 e 0,352 mm, clones C e E, respectivamente. Apesar de não haver diferença significativa entre as temperaturas, houve um aumento das depressões com elevação da temperatura, que pode ser explicada pela diminuição da densidade aparente após os tratamentos térmicos. Essa

estabilidade das depressões, mesmo após os tratamentos térmicos, indicam o uso das madeiras estudadas para pisos, pois esses valores foram baixos, quando comparados àqueles encontrados por Juizo et al. (2021), para clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptos urophylla*.

No entanto, os valores encontrados nesta pesquisa se aproximam aos resultados obtidos por Padilha et al. (2006) para sete clones de *Eucalyptos urophylla* aos oito anos de idade, em que as depressões médias variaram entre 0,394 e 0,525 mm. Em outra pesquisa, Martins et al. (2013) avaliaram as madeiras de *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus microcorys* e *Corymbia maculata* de diferentes procedências, e obtiveram depressões médias de 0,265, 0,213 e 0,206 mm, respectivamente. Segundo os autores, as maiores depressões foram observadas nas madeiras que possuíam baixa densidade básica. Além disso, quanto maior a altura de queda da esfera, maior a depressão causada na madeira com tendência exponencial de incremento (BLANCO-FLÓREZ et al., 2015).

Para a resistência ao arrancamento de parafuso (Tabela 12), o clone A possuiu menor média, o qual foi semelhante ao E, e diferente do C. Os valores médios variaram entre 1897,45 e 2665,24 N. Observa-se que a força exercida para o arrancamento do parafuso do clone A foi menor que a dos outros, em decorrência de sua baixa massa específica aparente (Tabela 8) e dureza Janka, comparada aos demais clones, que necessitaram de uma maior força para o arrancamento do parafuso. Segundo Zhou (1990), além da densidade, outros fatores também alteram a resistência ao arrancamento, como o teor de umidade e direção das fibras em relação ao eixo do parafuso. Contudo, os tratamentos térmicos não ocasionaram mudanças significativas na resistência ao arrancamento de parafuso.

Para Newlin e Gahagan (1938) a massa específica é considerada o melhor parâmetro para avaliar a resistência ao arrancamento de parafusos. E, segundo os mesmos, a resistência ao arrancamento é diretamente proporcional à massa específica da madeira. Fato este, possivelmente obtido nesta pesquisa, visto que madeiras com maiores densidades possuíam maior resistência ao arrancamento, e vice-versa.

Quanto à aderência do *stain* (Tabela 12) não houve diferença entre as médias dos fatores clones e temperaturas. Para os clones, os valores variaram entre 94,66 e 95,43% (E e A, respectivamente), enquanto para as temperaturas variaram entre

94,91 e 95,28% (185 e 200 °C). Isto pode ter sido evidenciado, uma vez que o *stain* penetra nas fibras da madeira sem formar filme, ao contrário do verniz, que forma uma película na superfície da madeira. Por ser um impregnante, o *stain* possui ação fungicida e inseticida, protegendo a superfície da madeira contra agentes xilófagos e, além disso, proporciona maior proteção às intempéries do ambiente. Assim, para a aplicação em decks, recomenda-se o *stain* para uso em ambientes externos, ao contrário do verniz, pois os raios ultravioletas penetram e degradam a superfície da madeira revestida, causando descascamentos e até mesmo desenvolvendo rachaduras (MAGALHÃES et al., 2016).

Estudos realizados por Juizo (2019) relataram o efeito da modificação térmica na qualidade do acabamento superficial da madeira de quatro clones de eucalipto, pela avaliação da aderência do verniz. O autor não observou diferença quanto à aderência entre os clones, cujos percentuais foram de 88,75 e 93,80% para os clones de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* não tratados termicamente. Após os tratamentos térmicos, a adesão foi 17,50 e 56,40% para os mesmos clones, que atribuíram tais decréscimos pela redução dos grupos hidroxílicos (OH^{-1}) da madeira, presentes nas moléculas de celulose e hemiceluloses, reduzindo os pares ligantes entre a madeira e a solução diluída do verniz.

De modo geral, as madeiras dos clones de eucalipto tratadas termicamente possuíram boa aderência do *stain*, visto os altos percentuais em todos os tratamentos, mesmo não havendo diferenças significativas. A aplicação do *stain* para o emprego da madeira na forma de decks é importante, visto que ela é um material biológico e se deteriora pela ação da radiação ultravioleta (UV), de outros fatores ambientais e agentes xilófagos, quando exposta ao ar livre. Com isso, a aplicação do *stain* reforça ainda mais as características de sua superfície, aumentando assim, a durabilidade, impermeabilidade e diminuição de gastos com a manutenção do deck.

4.7 RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO E ESTABILIDADE DA COR

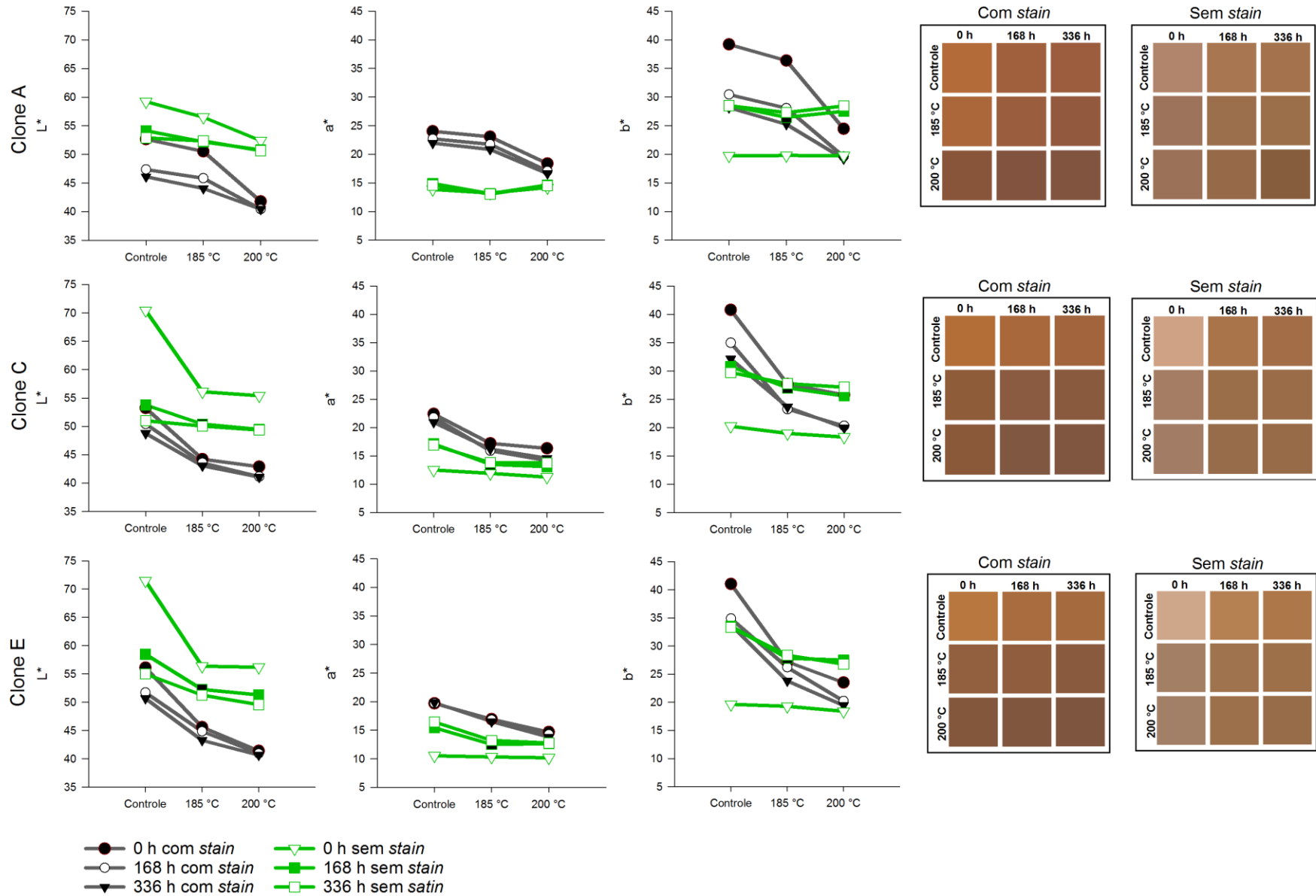
Na Figura 16, encontram-se os gráficos referentes às coordenadas colorimétricas L^* , a^* e b^* da madeira tratada termicamente dos clones de eucalipto, com e sem a aplicação do *stain*, submetidas ao intemperismo artificial nos períodos de zero horas (madeira não intemperizada), após 168 h e 336 h de intemperismo em câmara artificial. Observa-se que, para os três clones analisados, a luminosidade ou claridade (L^*) foi maior nas madeiras sem a aplicação do *stain*. Já naquelas com acabamento, houve uma diminuição da claridade. Isso ocorre, uma vez que a aplicação do *stain* cria um aspecto escurecido, ressaltando sua cor natural, para o *stain* transparente. Dessa forma, os valores de L^* diminuem, acarretando em escurecimento da madeira.

É evidente que o tempo de exposição ao intemperismo influenciou na claridade da madeira, deixando-a mais escura com o aumento das horas de exposição. Isso foi observado tanto para a madeira com e sem a aplicação do *stain*. Quando exposta ao intemperismo, os componentes químicos da madeira como a celulose, lignina e extrativos são foto-oxidados, alterando a sua tonalidade natural. Entretanto, a aplicação do *stain* contribuiu para uma maior estabilidade e uniformidade da cor da madeira, quando comparada àquela sem o acabamento.

Observa-se que houve um decréscimo dos valores de L^* , da madeira controle para os tratamentos a 185 e 200 °C em ambas as condições e clones, visto as alterações causadas pela modificação térmica e ressaltadas com a aplicação do *stain* e o tempo em que as mesmas foram envelhecidas artificialmente. A maior luminosidade foi observada na madeira controle e sem a aplicação do *stain*, enquanto que a menor, para a madeira tratada a 200 °C e com a aplicação do acabamento, independentemente do clone avaliado.

Além disso, nota-se que os valores de L^* em madeiras com tempo de exposição de 168 e 336 h foram mais próximos, quando comparadas às madeiras com zero horas de exposição, que exibiram valores superiores de luminosidade. O *stain* penetra na madeira, podendo se degradar. No entanto, forma uma maior proteção quando comparada a madeira sem o acabamento.

Figura 16 - Parâmetros colorimétricos (L^* , a^* e b^*) da madeira de clones eucalipto nas temperaturas 185, 200 °C e controle, submetidas ao intemperismo artificial, com e sem a aplicação de *stain* e suas respectivas cores.



Em relação à coordenada a^* , os maiores valores foram observados para a madeira após a aplicação do *stain*. No entanto, o tempo de exposição ao intemperismo não influenciou os valores de a^* . Enquanto na madeira sem *stain* foi perceptível o aumento da tonalidade vermelha com o aumento da exposição ao intemperismo, sendo mais evidente nos clones C e E. Já para o clone A, houve maior estabilidade dessa tonalidade após o período de exposição. Também foi observado uma tendência de decréscimo da coordenada a^* do controle para os tratamentos térmicos a 185 e 200 °C, tanto para a condição com e sem o *stain*.

A coordenada b^* (tonalidade amarela) também decresceu do controle para os tratamentos térmicos analisados. Notou-se que a madeira com aplicação do *stain*, promoveu o decréscimo dos valores com o aumento do tempo de exposição ao intemperismo, deixando a madeira mais opaca e sem brilho, em virtude do clareamento do pigmento amarelo, juntamente com a diminuição da claridade. Para Mitsui e Tsuchikawa (2005), alterações de cor da madeira pela ação da luz e agentes ambientais externos estão relacionadas à produção de quinonas, extrativos responsáveis pela mudança de cor, e tem início após a degradação da lignina por oxidação.

No entanto, para a madeira sem aplicação do *stain*, ocorreu o inverso, com aumento da tonalidade amarela após os períodos de exposição. Isso se deve à oxidação dos componentes químicos da madeira em sua face superficial, já que a mesma não possui proteção, estando mais susceptível à foto-oxidação, aumentando assim a tonalidade amarela, que juntamente com os valores das coordenadas a^* e L^* , conferiram cor próxima do marrom às madeiras de eucalipto. Isto é interessante para o comércio de decks, uma vez que a madeira mais escura e de coloração uniforme é mais apreciada esteticamente, assemelhando àquelas advindas de florestas tropicais naturais. Assim, as tonalidades das madeiras dos clones de eucalipto estudados foram expressivas após a exposição ao intemperismo.

Para os três clones avaliados, as coordenadas L^* , a^* e b^* foram determinantes para a formação da tonalidade da madeira, variando de acordo com o clone, tratamento térmico e tempo de envelhecimento. Em ambas as condições, a coordenada b^* apresentou-se de forma mais pronunciada do que a coordenada a^* . No entanto, as mesmas não devem ser analisadas de forma isolada, uma vez que a junção de ambas é que formam a cor da madeira.

A variação total da cor (Tabela 13) da madeira dos clones de eucalipto com a aplicação do *stain* foi mais expressiva após o período de 336 horas, comparado ao tempo de exposição de 168 h, que também ocasionou mudanças perceptíveis na cor da madeira. Os sinais positivos e negativos fornecidos pelo sistema significam: $+\Delta L^*$ aumento da luminosidade; $-\Delta L^*$ redução da luminosidade; $+\Delta a^*$ aumento na cor vermelha; $-\Delta a^*$ aumento na cor verde; $+\Delta b^*$ aumento na cor amarela e $-\Delta b^*$ aumento na cor azul.

Observa-se que o clone A apresentou maiores variações da cor, indicando que o mesmo foi menos resistente à ação do intemperismo e possuiu menor estabilidade da cor. A madeira controle exibiu maior variação total da cor em todos os clones, em comparação com a madeira tratada termicamente a 185 e 200 °C. Assim, o tratamento térmico proporcionou mudanças nos constituintes químicos da superfície da madeira, tornando-a mais uniforme e resistente à degradação.

Tabela 13 - Variação das coordenadas colorimétricas e alterações totais (ΔE^*) em relação a madeira com acabamento *stain*, intemperizada após os períodos de 168 e 336 horas.

Clone	Tratamento	Após 168 h				Após 336 h			
		ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
A	Controle	-5,29	-1,31	-8,74	10,31 a	-6,55	-2,07	-11,03	13,01 a
	185 °C	-4,70	-1,32	-8,31	9,67 a	-6,48	-2,23	-11,12	13,08 a
	200 °C	-1,33	-1,30	-4,86	5,43 b	-1,34	-1,75	-5,25	5,85 b
C	Controle	-2,81	-0,64	-5,81	6,52 a	-4,46	-1,48	-8,66	9,88 a
	185 °C	-0,67	-1,00	-4,02	4,25 a	-1,18	-1,32	-4,42	4,82 b
	200 °C	-1,82	-2,17	-5,47	6,32 a	-1,74	-1,75	-5,81	6,51 ab
E	Controle	-4,39	-0,02	-6,16	7,60 a	-5,45	0,11	-7,32	9,15 a
	185 °C	-2,35	-0,43	-3,42	5,29 ab	-0,75	-0,10	-1,00	5,85 a
	200 °C	-0,44	-0,42	-3,30	3,56 b	-0,73	-0,88	-4,08	4,87 a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na vertical para cada clone, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

Além do escurecimento da madeira, os tratamentos térmicos empregados podem melhorar as propriedades do material, como redução da higroscopicidade, aumento da estabilidade dimensional e resistência à degradação biológica, tornando-a menos susceptível ao fenômeno de amarelecimento ou avermelhamento superficial, após períodos de exposição ao envelhecimento acelerado (AYADI et al., 2003). Dessa forma, os tratamentos de 185 e 200 °C promoveram uma maior

resistência e estabilidade da cor das madeiras de eucalipto modificada termicamente em comparação a madeira controle.

Observa-se que o clone E, após a aplicação do *stain* indicou maior estabilidade da cor e resistência ao intemperismo, que foi verificada em madeiras tratadas a 200 °C. E, segundo a classificação proposta por Hikita, Toyoda e Azuma (2001), o intemperismo ocasionou uma variação total enquadrada na categoria “notável” (Tabela 4), ao final do experimento. Para os três clones, as madeiras controle proporcionaram variações totais classificadas como “muito expressivas”.

A variação total da cor (Tabela 14) da madeira dos clones de eucalipto sem a aplicação do *stain* também foi mais expressiva após o período de 336 horas (Figura 17), comparado ao tempo de exposição de 168 h. Para os três clones analisados, a madeira controle possui menor estabilidade da cor, quando comparadas aquelas tratadas termicamente, ressaltando mais uma vez a resistência ao intemperismo exibidas pelas madeiras modificadas termicamente.

Tabela 14 - Variação das coordenadas colorimétricas e alterações totais (ΔE^*) em relação a madeira sem acabamento, intemperizada após os períodos de 168 e 336 horas.

Clone	Tratamento	Após 168 h				Após 336 h			
		ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
A	Controle	-5,08	1,03	8,77	10,44 a	-6,34	0,76	8,73	11,21 a
	185 °C	-1,62	-0,10	6,65	7,27 b	-1,76	-0,18	7,49	7,94 b
	200 °C	-4,30	0,43	7,75	9,04 ab	-4,14	0,31	8,67	9,95 ab
C	Controle	-16,67	4,63	10,55	20,30 a	-19,43	4,42	9,47	22,12 a
	185 °C	-5,69	2,58	8,69	11,05 b	-6,03	2,91	9,44	12,05 b
	200 °C	-5,95	1,86	6,61	9,83 b	-6,04	2,51	8,16	10,95 b
E	Controle	-12,98	5,07	13,90	19,75 a	-16,50	6,09	13,69	22,36 a
	185 °C	-4,12	1,99	8,57	10,08 b	-5,11	2,69	9,07	11,22 b
	200 °C	-4,88	2,47	9,10	11,74 b	-6,62	2,59	8,40	11,81 b

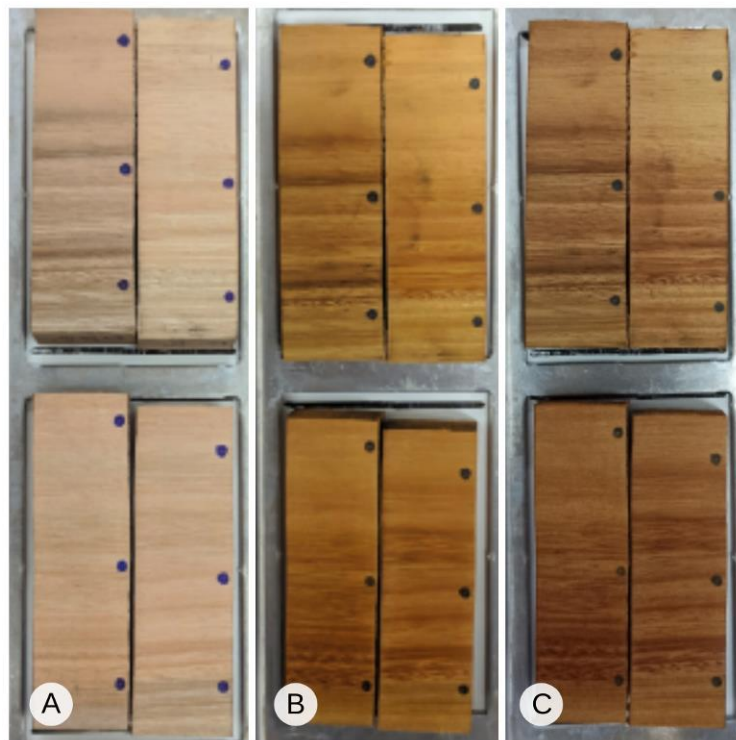
Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na vertical para cada clone, não diferem significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

Os clones C e E foram menos resistentes ao intemperismo em comparação ao A. No entanto, é possível observar que as madeiras sem aplicação do *stain* exibiram maiores valores de variação total da cor em comparação àquelas com acabamento. E, conforme a classificação proposta por Hikita, Toyoda e Azuma (2001), o intemperismo promoveu uma variação total enquadrada na categoria

“muito expressivas” (Tabela 4) para todos os clones, condições e tempo de exposição. Dessa forma, é possível afirmar que o revestimento sobre a madeira é importante para controlar sua degradação por luz e umidade.

Figura 17 - Aspecto visual das amostras de eucalipto sem aplicação do *stain*, antes do intemperismo acelerado (A); após 168 horas (B) e após 336 horas (C).



Fonte: O autor.

As diferenças observadas de variações totais da cor, para os clones de eucalipto nas condições com e sem *stain*, pode ser dada pela diferença nos teores e tipos de extrativos presentes nas madeiras analisadas, e também à diferença na distribuição desses compostos na madeira. Para a aplicação em decks, é importante que a madeira possua maior estabilidade da cor e que seja resistente aos agentes ambientais, pois a estética do produto é um fator que geralmente é levado em consideração. Madeiras com baixa estabilidade da cor alteram as características superficiais com o passar do tempo, tornando-se visualmente menos atrativa. A aplicação de revestimentos, como o *stain*, contribuiu para a proteção da madeira submetida ao envelhecimento acelerado, aumentando sua resistência ao intemperismo.

5 CONCLUSÕES

A modificação térmica ocasionou alterações na cor natural da madeira para os três clones avaliados, resultando em melhorias na uniformidade, podendo agregar valor comercial às madeiras e ampliação de sua utilização, causada pelo escurecimento e aparência estética.

Diminuição nos teores de extrativos e pentosanas foram observadas após os tratamentos térmicos. Os maiores teores de lignina foram observados para o clone A. Ocorreu aumento no teor de lignina da madeira controle para a madeira modificada a 185 °C, com decréscimo naquelas submetidas a 200 °C.

A modificação térmica promoveu o aumento da perda de massa com a elevação da temperatura para todos os clones avaliados. Os maiores valores de perda de massa foram obtidos pelo clone A na temperatura de 200 °C.

As modificações térmicas causaram alterações nas propriedades físicas da madeira, especialmente na retratibilidade e umidade de equilíbrio. Ocorreu diminuição da umidade de equilíbrio, do tratamento controle para as temperaturas 185 e 200 °C. O comportamento da densidade básica foi similar ao da aparente para o fator clone, cujas maiores densidades foram observadas para os clones C e E.

Os tratamentos térmicos não influenciaram negativamente a dureza Janka, impacto da esfera de aço cadente, arrancamento de parafuso e aderência do produto do *stain*. Para as depressões causadas pelo impacto da esfera de aço cadente, não houve diferença entre clones, nem entre temperaturas.

De modo geral, as madeiras dos clones de eucalipto modificadas termicamente possuíram boa aderência do *stain*, visto os altos percentuais em todos os tratamentos, mesmo não havendo diferenças entre tratamentos. As madeiras sem aplicação do *stain* exibiram maiores valores de variação total da cor em comparação àquelas com acabamento. Os tratamentos 185 e 200 °C promoveram uma maior resistência ao intemperismo e estabilidade da cor das madeiras de eucalipto, em comparação ao controle.

Dessa forma, o tratamento térmico a 185 °C, para a madeira de clones de eucalipto, e o clone A, promoveram melhores mudanças na resistência ao envelhecimento acelerado, uniformidade da cor e nas propriedades químicas, físicas

e mecânicas da madeira, permitindo sua utilização em pisos de baixa circulação, como em decks.

6 REFERÊNCIAS

AKYILDIZ, M. H.; ATES, S. Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in turkey. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 4, n. 6, p. 660-665, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM D 2394-05**: simulated service testing of wood and wood-base finish flooring. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM D-143**: standard methods of testing small clear specimens timber. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM G 154**: standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2016.

ANDERSON, L. O.; HEEBINK T. B.; OVIATT, A. E. **Construction guides for exposed wood decks**. Washington: Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 1972. 78p. (Agriculture Handbook, 432).

ANDRADE, A. et al. Setor brasileiro de pisos de madeira: oportunidades e ameaças. **Revista da Madeira**, n.139, p. 22-29. 2014. Disponível em: <<https://pt.calameo.com/books/0022986484b204ff6c900>>. Acesso em: 01 set. 2018.

ANDRADE, A. **Guia básico para instalação de pisos de madeira**. 2. ed. Piracicaba: ANPM, 2015. 104 p. Disponível em:<<http://anpm.org.br/publicacoes/guia-basico-para-instalacao-de-pisos-de-madeira/>>. Acesso em: 06 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Geração de emprego mostra importância da indústria da madeira para a economia**. 2016. Disponível em <<http://www.abimci.com.br/geracao-de-emprego-mostra-importancia-da-industria-da-madeira-para-a-economia/>>. Acesso em 03 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Exportações de madeira crescem apesar da redução no faturamento**. 2017. Disponível em <<http://www.abimci.com.br/exportacoes-de-madeira-crescem-apesar-da-reducao-no-faturamento/>>. Acesso em 03 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Estudo setorial 2009 ano base 2008**: indústria de madeira processada mecanicamente. Curitiba: ABIMCI, 2009. 43 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14535**: móveis de madeira - tratamento de superfície - requisitos de proteção e acabamentos. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: projeto de estruturas da madeira. Anexo B - Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-11941**: madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA - ANPM. **Identificação de madeira para piso**. Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://anpm.org.br/publicacoes/>>. Acesso em 09 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA - ANPM. **Pisos de madeira – características de espécies brasileiras**. Piracicaba, 2018. Disponível em: <<http://anpm.org.br/publicacoes/>>. Acesso em 09 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA - ANPM. **Promovendo a sustentabilidade e o desenvolvimento socioeconômico**. 2013. Disponível em: <<http://www.anpm.org.br>>. Acesso em: 01 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - ABCP. **ABCP C 8/70**: Métodos de ensaio. São Paulo, 1974.

AVELINO, E. F. **Avaliação da madeira de teca jovem (*Tectona grandis* L.f.vem) visando uso em movelaria**. 2012, 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

AYADI, N. et al. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. **Holz als Roh-Und Werkstoff**, v. 61, n. 3, p. 221-226, 2003.

BARROS, S. V. S.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 337-342, 2014.

BARROSO, A. B. **Silvicultura especial de arboles maderables tropicales**. La Havana: Editorial Técnico Científico, 1983. 427p.

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**, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BATISTA, D.C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP HolzSysteme®**. 2012. 339 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BEKHTA, P.; NIEMZ P. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. **Holzforschung**, v. 57, p. 539–546, 2003.

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

BENATTI, B. P. **Compartmentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BERTOLA, A. **Eucalipto – 100 anos de Brasil – “Falem mal, mas continuem falando de mim!”**. Curvelo: V&M Florestal Ltda., 2013, 91 p.

BLANCO-FLÓREZ, J. et al. Simulação em serviço de pisos de madeira jovem de *Tectona grandis*. **Matéria**, v. 20, n. 4, p. 1048-1060, 2015.

BOLAND, D. J. et al. **Forest trees of Australia**. Camberra: CSIRO, 1984. 687 p.

BOONSTRA, M.J.; TJEERDSMA, B. Chemical analysis of heat treated softwoods. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.64, n.3, p.204-211, 2006.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Biomassa & Energia**, v.1, n.2, p.173-182, 2004.

BOURGOIS, J.; BARTHOLIN, M. C.; GUYONNET, R. Thermal treatment of wood: analysis of the obtained product. **Wood Science and Technology**, v. 23, n. 4, p. 303-310, 1989.

BOURGOIS, J.; JANIN, G.; GUYONNET, R. La mesure de couleur. Une methode d'étude et d'optimisation des transformations chimiques du bois thermolyse, **Holzforschung**, v. 45, n. 5, p. 377-382, 1991.

BRITO, J. O. et al. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 18, p. 8545-8548, 2008.

BRITO, J. O. et al. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Cerne**, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.

BRITO. T. M. **Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira juvenil de *Eucalyptus grandis* W. Hill e *Tectona grandis* L.** f. 2017, 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.

BULIGON, E. A. **Características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com fibra de vidro**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CADEMARTORI, P. H. G. et al. Effect of thermal treatments on technological properties of wood from two *Eucalyptus* species. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 1, p. 471-481, 2015.

CADEMARTORI, P. H. G. et al. Modification of static bending strength properties of *Eucalyptus grandis* heat-treated wood. *Materials Research*, v. 15, n. 6, p. 922-927, 2012.

CADEMARTORI, P. H. G.; MISSIO, A. L.; MATTOS, B. D. Natural weathering performance of three fast-growing eucalypt woods. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v.17, n.4, p.799-808, 2015.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; BALLARIN, A. W. Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *E. grandis*. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.70, n.4, p.453-460, 2012.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n. 71, p. 30-42, 2001.

CERQUEIRA NETO, E. P. **Gestão da qualidade: princípios e métodos**. São Paulo: Pioneira, 1991. 156 p.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLIRAGE – CIE. **Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources**. Paris: CIE, 1976. (Publication, 13.2).

CONTE, B. et al. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 555-563, 2014

DELUCIS, R. A. et al. Propriedades físicas da madeira termorretificada de quatro folhosas. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 99-107, 2014.

DIAS JÚNIOR, A. F. et al. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 1, p. 93-107, 2013.

DIAS JÚNIOR, A. F. et al. Propriedades físicas e acabamento superficial da madeira de eucalipto termicamente tratada. **Ciências Agrárias**, v. 58, n. 3, p. 270-276, 2015.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33 p. (Série Técnica, 10).

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

ESTEVEES, B.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. Pine wood modification by heat treatment in air. **BioResources**, v. 3, n. 1, p. 142-154, 2008.

FALK, B.; WILLIAMS, S. **Details for a lasting deck**: Government scientists study outdoor structures and report on which details, fasteners and finishes hold up best. 1996. p. 62-81. Disponível em: <<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1997/falk97d.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2018.

FEITOZA, L. R. et al. **Mapa das unidades naturais do estado do Espírito Santo**: informações básicas. Vitória: INCAPER, 2010. 56 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2MPheMX>>. Acesso em: 17 set. 2018.

FLORES, T. B. et al. **Eucalyptus no Brasil**: zoneamento climático e guia para identificação. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.

FONSECA, S. M. et al. **Cultura do eucalipto em áreas montanhosas**. Viçosa: SIF, 2007. 43p.

GARCIA, R. A. et al. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 509-517, 2014.

GARCIA, R. A. et al. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden wood using stress wave method. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 1-3, p. 41-52, 2012.

GOMIDE, J. L. **Secagem da madeira**. Viçosa: UFV, 1973. 76 p.

GONÇALEZ, J. C. et al. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 329-34, 2006.

GONÇALEZ, J. C. et al. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, n. 72, p. 47-58, 2001.

GONÇALEZ, J. C. et al. Efeito da radiação ultravioleta na cor de madeira de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) após receber produtos de acabamentos. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 657-644, 2010.

GONÇALVES, F. G. et al. Densidade básica e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, n. 2, p. 277-288, 2009.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: USC, 2000. 242 p.

GONZALEZ-PEÑA M. M; HALE M. D. Colour in thermally modified wood of beech, Norway spruce and Scots pine. Part 1: colour evolution and colour changes. **Holzforschung**, v. 63, p. 385–393, 2009.

GOUVEIA, F. N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais**. 2008. 130 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GUIMARÃES, C. C. S. et al. Madeira biosintética /plástica /sustentável. **Caderno de Graduação Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 4, n. 3, p. 21-29, 2018.

HIKITA, Y.; TOYODA, T.; AZUMA, M. Weathering testing of timber: discoloration. In:

HULLER, L. A. S. et al. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 183-188, 2017.

IMAMURA, Y. **High performance utilization of wood for outdoor uses**. Kyoto:

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ 2020**. Brasília: 122 p. Disponível em:< <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

IWAKIRI, S. et al. Utilização de lâminas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus maculata* como alternativas para produção de piso laminado com montagem direta. **Floresta**, v. 36, n. 3, p. 425-430, 2006.

JUIZO, C. G. F. et al. Propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto submetida ao tratamento térmico. **Nativa**, v. 6, n. 5, p. 537-542, 2018.

JUIZO, C. G. F. et al. Thermal modification of eucalyptus wood and use for floors of low traffic environments. **Floresta**, v. 51, n. 2, p. 457-465, 2021.

JUIZO, C. G. F. **Modificação térmica da madeira de eucalipto para beneficiamento e simulação de pisos para ambientes de baixo tráfego**. 2019. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

KARTAL, S. N.; HWANG, W. J.; IMAMURA, Y. Water absorption of boron-treated and heat-modified wood. **Journal of Wood Science**, v. 53, n. 5, p. 454-457, 2007.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. 592 p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

KORKUT, D. S. et al. The effects of heat treatment on the physical properties and surface roughness of Turkish hazel (*Corylus colurna* L.). **International Journal of Molecular Science**, v. 9, n. 9, p.1772-1783. 2008.

KORTILAINEN, R. **Chemical changes in wood during heating at 150-260°C**. 2000. 62f. Dissertation (Doctoral) - University of Jyväskylä. Jyväskylä, 2000. (Research Report, 80).

- KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100th ed. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, chapter 5, p. 1-46, 2010. (General Technical Report, FPL-GTR-190).
- LEPAGE, E. **Deck de madeira maciça versus compósito madeira-plástico**. 2013. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/a/deck-de-madeira-macica-versus-composito-madeiraplastico_6825>. Acesso em: 12 set. 2018.
- LESAR, B et al. Wax treatment of wood slows photodegradation. **Polymer Degradation and Stability**, v. 96, n. 7, p.1271-1278, 2011.
- LIMA, A. C. B. **Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira de mogno africano (*khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2019, 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.
- LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem de madeiras visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 2004. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- MACHADO, C. M. et al. **Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência**. Viçosa: SIF, 2014. 551p.
- MAGALHÃES, W. L. E. et al. Desempenho de madeira de grevéia revestida com verniz, tinta e stain exposta a intemperismo natural. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais eletrônicos...** São Carlos: IBRAMEM, 2006. Disponível em: <<https://bit.ly/3xZ2vrc>>. Acesso em: 10 maio 2021.
- MARTINS, M. et al. Simulação em uso dos pisos de madeira de *Eucalyptus* sp. e *Corymbia maculata*. **Cerne**, v. 19, p. 151-156, 2013.
- MARTINS, S. A. et al. Envelhecimento artificial acelerado por radiação ultravioleta de madeiras de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta**, v. 41, n. p. 87-95, 2011.
- MENEZES, M. W. et al. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, p. 1019-1024, 2014.
- MITSUI, K.; TSUCHIKAWA, S. Low atmospheric temperature dependence on photodegradation of wood. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 81, n. 2, p. 84-88, 2005.
- MODES, K. S. et al. Efeito da termorreificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 291-302, 2017.

- MOKFIENSKI, A. et al. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 401-413, 2008.
- MOORE, R. K. et al. The effect of polarity of extractives on the durability of wood. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD, FIBER, AND PULPING, 18, 2015, Vienna. **Proceedings** [...]. Vienna: ISWFPC, 2015.
- MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. 4. ed. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2012.
- MORI, C. L. S. O. et al. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.
- MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Efeito do termorretrificação sobre as propriedades colorimétricas das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p. 69-76, 2011.
- MOYA, R. et al. Relationship between wood color parameters measured by the CIELab system and extractive and phenol content in *Acacia mangium* and *Vochysia guatemalensis* from fast-growth plantations. **Molecules**, v. 17, n. 4, p. 3639-3652, 2012.
- NAPOLI, G. et al. Titanium alloys anodic oxidation: effect of experimental parameters on surface colouring. In: **Materials Science Forum**, v. 941, p. 730-734, 2018.
- NEWLIN, J. A.; GAHAGAN, J. M. **Lag-screw joints: their behavior and design**. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1938, 27 p. (Technical Bulletin, 597).
- NOGUEIRA, M. C. **Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1991. 116 p.
- NUNES, C. S. **Propriedades tecnológicas e qualidade de adesão de madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* termorretrificadas**. 2012. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.
- OLIVEIRA, A. D. et al. Determinação da variação dimensional da madeira em clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 90 meses de idade. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPT, 1997, Colombo. **Anais...** Colombo: Embrapa/CNPF, 1997. Cd-Rom.
- OLIVEIRA, A. M. F. et al. Agentes destruidores da madeira. In: Lepage, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 1, p. 99-278.
- OLIVEIRA, J. T.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Árvore**, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.

OLIVEIRA, M. B. et al. Utilização da técnica sunset laser para qualificação superficial em pisos de madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2., 2015, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: SBCTEM, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3CUvL4p>>. Acesso em: 19 set. 2020.

OLIVEIRA, R. M. **Utilização de técnicas de caracterização de superfícies em madeiras tratadas termicamente.** 2009. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PADILHA, C. et al. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. **Scientia Forestalis**. n. 71, p.141-147, 2006.

PAES, J. B. et al. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 399-405, 2013.

PAES, J.B. et al. Resistência natural de madeiras a fungos xilófagos em condições de laboratório. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 47, p. 199-210, 2007.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas: resultados e perspectivas.** Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 66 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 2014). Disponível em: <<http://core.ac.uk/download/pdf/15439177.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2018.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 4 ed. New York: McGraw-Will, 1980. 722 p.

PEREIRA, H.; ESTEVES, B. Novos métodos de protecção da madeira. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, 6., 2009, Ponta Delgada. **Anais eletrônicos...** Ponta Delgada: SPCF, 2009. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/1707>>. Acesso em: 19 set. 2021.

PINTO, J. A. **Medidas profiláticas para proteger madeiras à ação de insetos xilófagos.** 2020, 100 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2020.

POLZL, W. B.; SILVA, J. C. G. L. Análise do mercado de pisos de madeira laminada na cidade de Curitiba (marketing de vendas ao consumidor final). **Floresta**, v. 31, n. 1, p. 3-14, 2001.

PONCSAK, S. et al. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science and Technology**, v. 1, n. 40, p. 647-663, 2006. Press-Net, 2001.

QIAN, Y. et al. Fabrication of uniform lignin colloidal spheres for developing natural broad-spectrum sunscreens with high sun protection factor. **Industrial Crops and Products**, v.101, p. 54-60, 2017.

Q-LAB. **QUV accelerated weathering tester**. Disponível em: <<https://www.q-lab.com/pt-br/products/quv-weathering-tester/quv/>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: LPF/BAMA, 2003. 35 p.

RODRIGUES, T. O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ROSU, D. et al. FTIR and color change of the modified wood as a result of artificial light irradiation. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 99, n. 3, p.144-149, 2010.

SANTANA, R. B. **Processo de termorreificação em espécies florestais da Amazônia**. 2016. 34 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

SANTOS, I. S.; LIMA, J. T; SILVA, J. R. M. Avaliação de pisos produzidos a partir de toras de clones de *Eucalyptus* sp. com pequenos diâmetros. **Cerne**, v. 16, n. 4, p.

SANTOS, J. C. H. et al. Avaliação da superfície da madeira de duas espécies florestais submetidas a ensaio de envelhecimento acelerado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: UDESC, 2017. Disponível em <<https://bit.ly/2DgSa5>>. Acesso em 19 set. 2018.

SILVA, E. S. et al. Colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2015.

SILVA, F. D.; BITTENCOURT, R. M. Estudo do desgaste à abrasão do eucalipto, madeira laminada e bambu gigante laminado utilizados como elemento de piso. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002. Cd-Rom.

SILVA, J. C. **Paradigmas das plantações de eucalipto**: no limiar entre o bom senso e a insensatez. Viçosa: Arka Editora, 2009. 128 p.

SILVA, J. C.; XAVIER, B. A.; **Eucalipto**: manual prático do fazendeiro florestal, produzindo madeira com qualidade. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 65 p.

SILVA, J. O.; PASTORE, T. C. M.; PASTORE JÚNIOR, F. Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento. **Ciência Florestal**, v.17, n.1, p.17-23, 2007.

SILVA, J. R. M. et al. **Produtos utilizados no setor de acabamento de móveis de madeira**: características e técnicas de aplicação. Lavras: UFLA, 2002. 33 p.

SILVA, L. F. **Avaliação da aptidão da madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus* para o processamento mecânico**. 2018. 90f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018.

SILVA, M. R. et al. Chemical and mechanical properties changes in *Corymbia citriodora* wood submitted to heat treatment. **International Journal of Materials Engineering**, v.5, n.4, p. 98-104, 2015.

SOARES, A. K. et al. Intemperismo artificial de quatro revestimentos aplicados em madeiras de duas espécies florestais. **Nativa**, v. 6, n. 3, p. 313-320, 2018.

SOTELO MONTES, C. et al. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. **New Forests**, v. 35, n. 1, p. 57-73, 2008.

SOUSA, W. C. S. et al. Wood colorimetry for the characterization of amazonian tree species: a subsidy for a more efficient classification. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 451-462, 2019.

SOUZA, M. O. A.; SILVA, J. C.; EVANGELISTA, W. V. Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake visando ao uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 403-409, 2011.

SOUZA, T. S. et al. Performance of *Eucalyptus* clones according to environmental conditions. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 116, p. 601-610, 2017.

STACKPOLE, D. J. et al. Genetic variation in the chemical components of *Eucalyptus globulus* wood. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 1, n. 2, p. 151-159, 2011. Disponível em: < <http://www.g3journal.org/content/1/2/151.short>>. Acesso em: 06 set. 2018.

STELL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistic: a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633 p.

SUDIYANI, Y. et al. Chemical characteristics of surfaces of hardwood and softwood deteriorated by weathering. **Journal of Wood Science**, v. 45, n. 4, p. 348-353, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **Test method TAPPI 222 om-88: acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1998.

TELES, R. F.; COSTA, A. F. Influência do intemperismo acelerado nas propriedades colorimétricas da madeira de Angelim pedra. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 65-70, 2014.

TJEERDSMA, B. F. et al. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. **Holz Roh- Werkst**, v. 56, 149-153, 1998.

TRIANOSKI, R. et al. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 398-406, 2013.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

UGULINO, B.; HERNÁNDEZ, R. E. Avaliação das superfícies usinadas da madeira de carvalho vermelho em relação ao desempenho de um revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA. 2., 2015, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: UFMG, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2KhGS0f>>. Acesso em: 28 maio 2019.

UNSAI, O. et al. The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood. **Maderas: Ciencia y Tecnología**, v. 5, n. 2, p. 145-152, 2003.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito do aquecimento na estabilidade dimensional e na higroscopicidade da madeira. **Revista Árvore**, v.6, n.2, p.150-161, 1982.

WASKETT, P.; SELMES, R. E. Opportunities for UK grown timber: wood modification state of the art review. **Building Research Establishment Ltd**, p. 203-343, 2001.

WATAI, L. T. **Tecnologia básica em acabamento de madeiras**, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 103 p.

WENTZEL, M. et al. Physico-mechanical properties of thermally modified *Eucalyptus nitens* wood for decking applications. **Drvna Industrija**, v. 70, n. 3, p. 235-245, 2019.

ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. S.; SILVEIRA, T. A. Termorreificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 85-90, 2014.

ZHOW, D. A study of oriented structural board made from hybrid poplar: physical and mechanical properties of OSB. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.48, n.7-8, p.293- 296, 1990.