

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

LORRAINY DE JESUS OLIVEIRA

CARACTERIZAÇÃO DAS MADEIRAS MOGNO AFRICANO (*Khaya
ivorensis* A. Chev.) E DE DOIS CLONES DE *Eucalyptus* PARA PISOS

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2023

LORRAINY DE JESUS OLIVEIRA

CARACTERIZAÇÃO DAS MADEIRAS MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.) E DE DOIS CLONES DE *Eucalyptus* PARA PISOS

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Industrial Madeireira.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2023

LORRAINY DE JESUS OLIVEIRA


CARACTERIZAÇÃO DAS MADEIRAS DE MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.) E DE DOIS CLONES DE *Eucalyptus* PARA PISOS

Proposta de monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título Engenheira Industrial Madeireira.

Aprovada em 20 de Junho de 2023

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente


 REJANE COSTA ALVES
Data: 23/06/2023 09:59:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rejane Costa Alves

Universidade Federal do Espírito Santo

Orientadora


Documento assinado digitalmente

 JOSE REINALDO MOREIRA DA SILVA
Data: 23/06/2023 11:46:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Reinaldo Moreira da Silva

Universidade Federal de Lavras

Documento assinado digitalmente

 JUAREZ BENIGNO PAES
Data: 25/07/2023 10:17:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Juarez Benigno Paes

Universidade Federal do Espírito Santo

DEDICATÓRIA E EPÍGRAFE

Às mulheres da minha vida, minha mãe Maria Sônia Queiroz e minha querida avó Carmelita Queiroz, meus maiores exemplos de amor e luta.
Ao meu avô Claudimiro Trindade de Jesus (em memória) que em vida, sempre incentivou os estudos para filhos e netos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por nunca me abandonar, Ele é meu refúgio e fortaleza e me sustenta nos momentos de tristeza e desânimo. Ainda agradeço, a Virgem Maria pela intercessão diária.

Aos meus queridos pais, que sempre me amaram, apoiaram e incentivaram nas minhas decisões, e por serem o meu suporte financeiro principal, sendo essencial para a realização desse sonho, sem eles não terei chegado até aqui.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em especial ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, por toda a estrutura e suporte durante a graduação.

À minha orientadora Rejane Costa Alves por toda orientação, parceria e ensinamentos, foi uma profissional essencial na minha evolução.

Ao professor Juarez Paes pela doação do material de estudo e apoio no decorrer da execução da pesquisa.

Ao professor José Reinaldo e a doutoranda Michelly Stragliotto pelo acolhimento, auxílio e orientação durante a execução das análises na Universidade Federal de Lavras.

Ao Marceneiro Elecy P. Constantino, que foi fundamental na produção dos corpos de prova para a pesquisa.

Ao meu primo Félix Queiroz de Jesus por decidir me acompanhar nessa grande corrida profissional. Ainda agradeço a ele, a Tayná Rebonato e a Leticia Aramuni, por se tornarem o meu suporte principal durante a minha trajetória em Alegre e Jerônimo Monteiro, sou eternamente grata por fazerem meus dias mais leves e felizes.

Aos meus amigos Leticia Rafaelle, Stéffany Lima, Lucas Mulin, Fabiola Delatorre, Paulo Roberto, Marina Passos, Miqueias Reis, Estefany Vaz, Nívea Mafra e Carem Cristina, que me proporcionaram momentos divertidos e felizes.

À Professora Graziela Vidaurre e ao João Gabriel Silva, pelos incentivos, ensinamentos, amizade e parceria.

Aos integrantes do LEMUM e NUQMAD, pelas trocas de conhecimento, amizade e suporte laboratorial no decorrer da execução da minha pesquisa.

Aos professores do curso de Engenharia Industrial Madeireira, por todo aprendizado e disponibilidade.

Aos integrantes da banca, por serem peças fundamentais na minha pesquisa.

E por fim, aos demais amigos e colegas que fizeram parte da minha vida nessa jornada, sou muito grata por tudo.

RESUMO

Corroborando com o atual e importante apelo de preservação ecológica, a substituição de madeiras nativas por exóticas provenientes de florestas plantadas de rápido crescimento vêm se tornando alternativas viáveis e sustentáveis para utilizações no mercado madeireiro, dentre eles as de pisos maciços. Com isso, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial da *Khaya ivorensis* (mogno africano) e de dois clones de *Eucalyptus* para pisos de madeira. Realizou-se a caracterização física e mecânica, a análise colorimétrica antes e após a aplicação do produto *stain* osmocolor acetinado transparente, além de testes de simulação de pisos em serviço. As madeiras *Khaya ivorensis* e *E. grandis* x *E. urophylla* apresentaram maiores valores de resistência quando submetidas ao arraste de objetos, tendo o clone de *Eucalyptus* exibido boa resistência também quando exposto a cargas aplicadas em pequenas áreas e a queda de objetos. O clone *E. grandis* x *E. camaldulensis* apresentou maiores coeficientes de atrito estático e dinâmico, exibindo superfície menos escorregadia, o que é mais seguro durante o fluxo de pessoas. Para a colorimetria, todas as madeiras estudadas apresentaram as mesmas tonalidades antes e após aplicação do acabamento, bem como exibiram pouca variabilidade dos dados dos parâmetros colorimétricos em relação à média. Em relação às propriedades físico-mecânicas avaliadas, pode-se concluir que elas apresentam potencial para a produção de pisos destinados a ambientes de tráfego leve.

Palavras-chave: Madeiras exóticas. Caracterização físico-mecânica. Piso maciço.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo geral.....	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Pisos	4
2.1.1 Tipos de pisos.....	5
2.1.2 Dados sobre o mercado de pisos	6
2.2 Propriedades físicas e mecânicas da madeira	7
2.3 Colorimetria	8
2.4 Ensaio de simulação de pisos em serviço	10
2.5 Madeiras estudadas	12
2.5.1 <i>Khaya ivorensis</i> (mogno africano).....	12
2.5.2 <i>Eucalyptus</i>	13
3 METODOLOGIA	15
3.1 Informações sobre as madeiras	15
3.2 Caracterização física das madeiras	16
3.2.1 Umidade, densidade aparente e densidade básica.....	16
3.2.2 Instabilidade dimensional da madeira.....	17
3.3 Caracterização mecânica.....	17
3.4 Colorimetria	17
3.4.1 Produto de acabamento	18
3.5 Ensaio de simulação de pisos em serviços	20
3.5.1 Ensaio de carga rolante	21
3.5.2 Ensaio de endentação em pequenas áreas	23

3.5.3	Teste de impacto da esfera de aço cadente	25
3.5.4	Coefficiente de atrito	27
3.6	Análises estatísticas dos dados	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Propriedades físicas	30
4.1.1	Densidade básica e densidade aparente	30
4.1.2	Instabilidade dimensional da madeira.....	32
4.2	Propriedades mecânicas	35
4.3	Colorimetria	37
4.4	Ensaio de simulação de pisos em serviços.....	39
4.4.1	Ensaio de carga rolante	39
4.4.2	Ensaio de endentações em pequenas áreas	41
4.4.3	Ensaio de impacto da esfera de aço cadente	43
4.4.4	Ensaio de coeficiente de atrito	46
5	CONCLUSÕES	48
6	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICES	57
	Apêndice A – Resultados obtidos nos ensaios com as madeiras	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do sistema CIEL a*b* (1976).....	10
Figura 2 - Espectrofotômetro. (A) visão superior; (B) visão lateral.	18
Figura 3 - Produto de acabamento stain Osmocolor	19
Figura 4 - Corpos de prova com acabamento exposto para secagem.....	20
Figura 5 - Equipamento usado no ensaio de carga rolante.....	21
Figura 6 - Relógio comparador.....	22
Figura 7 - Medições da depressão no corpo de prova do ensaio de carga rolante	23
Figura 8 - Máquina do rolo endentado	24
Figura 9 - Esquema das medições da depressão no ensaio de endentação	25
Figura 10 - Equipamento utilizado no ensaio de impacto da esfera de aço cadente	26
Figura 11 - Esfera de aço cadente com diâmetro de 51 mm	26
Figura 12 - Medições da depressão no ensaio de impacto da esfera de aço cadente	27
Figura 13 - Equipamento utilizado no ensaio de coeficiente de atrito.	28
Figura 14 - Gráficos da relação entre a depressão pela altura de queda da esfera de aço das madeiras (A) <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> , (B) <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> e (C) <i>Khaya ivorensis</i>	44
Figura 15 - Resultados médios e desvio padrão dos coeficientes de atrito estático e dinâmico para as madeiras <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> , <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> e <i>Khaya ivorensis</i>	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações dos tipos de pisos maciços	5
Quadro 2 – Especificações dos corpos de prova utilizados nos ensaios de simulação de pisos em serviço.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da densidade básica e densidade aparente	30
Tabela 2 - Valores do coeficiente de inchamentos e contração nas três direções, da variação volumétrica e fator anisotrópico	33
Tabela 3 - Resultados dos módulos de ruptura e elasticidade, da resistência à compressão e dureza Janka, na direção normal às fibras	35
Tabela 4 - Valores dos parâmetros colorimétricos no sistema CIE L*a*b* com e sem acabamento	38
Tabela 5 - Valores das depressões ocorridas no ensaio de carga rolante em diferentes viagens.	40
Tabela 6 - Resultados das depressões geradas no ensaio de endentações em pequenas áreas	42

1 INTRODUÇÃO

A madeira é considerada por muitos, sinônimo de beleza e sustentabilidade, o que a torna apreciada para ambientes residenciais e comerciais. Não apenas essa característica, mas também outras propriedades intrínsecas da madeira fizeram com que ocorresse crescimento na relação produção e consumo de pisos de madeiras sólidas e laminados (MARTINS et al., 2013).

A madeira tropical possui um papel histórico altamente relevante no abastecimento da indústria de madeira no país, contudo, apresentam potencial mais limitado de oferta de mercado (ABIMCI, 2016). Fatores como, baixa taxa de crescimento, alto custo e poucas pesquisas que visam utilizações no setor madeireiro. De certa forma, pode se afirmar que a necessidade de buscar alternativas sustentáveis torna cada vez mais real, e com isso as empresas buscam alternativas, como o uso de madeiras provenientes de florestas plantadas e a introdução de novos processos produtivos para melhor aproveitamento do material, gerando produtos com maior qualidade e valor agregado (BORZI, 2014).

Para selecionar o tipo de madeira ideal para piso, uma das propriedades principais a ser considerada é a densidade, tendo em vista que a mesma se relaciona diretamente com a dureza do material (BLANCO FLÓREZ et al. 2015). Ademais, fatores como, estabilidade dimensional, permeabilidade e aspectos estéticos também influenciam na decisão da matéria-prima (ANPM, 2015).

Os testes que simulam o desempenho dos pisos de madeira em serviços é outra avaliação indispensável para a análise da matéria prima. Visto que, é a maneira de aproximar a exposição natural do produto (BLANO FLÓREZ, 2016). Essas informações auxiliam na valorização do produto no mercado, obtendo o potencial do piso em longo prazo, o que influencia na sua vida útil, um fator que está diretamente ligado a qualidade do produto para o consumidor. Além de auxiliar na identificação de novas espécies, para tal destinação.

A cor da madeira é uma característica geral, e pode ser determinada por análise visual macroscópica. Assim como todas as propriedades da madeira, essa característica organoléptica é influenciada por alguns fatores internos e externos, como a composição

anatômica e química da madeira e tempo de exposição da mesma à luz (BORZI, 2014), interferindo na qualidade do produto final.

Apesar da cor da madeira ser uma das características mais observadas para o setor de decoração, entende-se que, as propriedades físicas e mecânicas das madeiras devem ser primordiais e foi o foco desta pesquisa, uma vez que são capazes de predizer se a madeira está sendo submetida à destinação adequada dentro da indústria madeireira.

1.1 O problema e sua importância

Com o objetivo de suprir a demanda de madeira no mercado, e obter benefícios econômicos derivados do processamento desse material, a busca por plantios de novas espécies exóticas tem se tornado cada vez mais comum. Com isso, estudos com as espécies *Eucalyptus* spp. e *Khaya ivorensis* têm sido mais frequentes, visando o potencial dessas espécies para diversos fins, dentre eles os pisos.

O setor de pisos é carente de informações que são relevantes para a produção dos produtos, segundo Marchesan et al. (2013), as dificuldades no uso da madeira em processo de fabricação de pisos estão relacionadas à falta de informações sobre como trabalhar corretamente com esse material.

Ainda hoje, a maioria dos pisos maciços é proveniente de florestas nativas. Com o intuito de aumentar as alternativas de consumo de matéria-prima sustentável e diminuir a pressão sobre as florestas nativas, surge a opção de madeira oriunda de reflorestamento. As espécies plantadas vêm sendo utilizadas em empresas de pisos, entretanto, o emprego massivo destas matérias-primas é limitado, em parte pelo desconhecimento sobre suas propriedades e de outras espécies potencialmente aptas para uso (BLANCO FLÓREZ et al. 2015).

As indústrias madeireiras são responsáveis por uma porcentagem expressiva na geração de empregos no País, pela mão de obra empregada de forma direta e indireta no setor. Santos, Lima e Silva (2010) relataram que, no setor de pisos a quantidade de mão de obra se torna mais evidentes, pois a classificação do produto é realizada manualmente, na maioria das vezes.

Embora existam materiais engenheirados utilizados na produção de pisos, a madeira nativa ainda é a principal fonte de matéria-prima (MARCHESAN et al. 2020). Com isso, a busca por espécies plantadas de qualidade é uma opção necessária para as empresas optarem por novas alternativas sustentáveis para o mercado, tendo em consideração a beleza, qualidade, e menor custo de produção.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial da madeira *Khaya ivorensis* (mogno africano) e de dois clones de *Eucalyptus* para a produção de pisos de madeira.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as propriedades físicas das madeiras;
- Obter as propriedades mecânicas das madeiras: módulo de elasticidade, módulo de ruptura, compressão e dureza Janka perpendicular às fibras;
- Determinar o comportamento das madeiras estudadas, a partir de ensaios de simulação de pisos;
- Avaliar o efeito da coloração das madeiras antes e depois da aplicação de acabamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil possui potencial para se destacar no *ranking* mundial na produção de produtos madeireiros, como painéis de madeira, pisos laminados e produtos sólidos de madeira, por estar entre os países com maior área florestal do mundo. Em 2021, a área total de árvores plantadas totalizou 9,93 milhões de hectares, um crescimento de 1,9% em relação a 2020 (9,75 milhões de hectares) (IBÁ, 2022).

Apesar do cenário de abundância de recursos florestais, o Brasil faz pouco uso da madeira como material construtivo, quando comparados a outros países, o mais próximo da sua utilização no setor de construção civil, é para fins de caráter provisório, principalmente em andaimes e fôrmas de escoramento para concreto (SHIGUE, 2018).

Nas últimas décadas, a madeira tem se destacado no mercado por ser uma alternativa sustentável, e com vantagens competitivas quando comparadas a outros materiais, como o concreto. Shigue (2018) ressalta utilizações comuns da madeira no mercado, como matéria-prima para a indústria mobiliária, esquadrias e produtos engenheirados como forros e pisos.

Na construção civil, o revestimento do piso é item importante no tocante à durabilidade, estética e custo. Até a década de 1990, os pisos de madeira maciça eram utilizados nas residências brasileiras, em razão do custo e da abundância da matéria-prima. Após os anos 1990, houve um salto tecnológico no desenvolvimento de pisos, chegando ao Brasil os pisos laminados com baixo custo (BRANDT, 2020).

Os pisos de madeira possuem relevância econômica no segmento de produtos de maior valor agregado (PMVA) do setor industrial madeireiro, sendo utilizado em ambientes residenciais e comerciais. Nos últimos anos de madeira processada mecanicamente, a indústria de pisos tem buscado desenvolver novos produtos com intuito de melhor aproveitar a matéria-prima madeira, bem como otimizar o processo de instalação e durabilidade do produto (ABIMCI, 2019).

2.1 Pisos

2.1.1 Tipos de pisos

Existem diferentes classificações e definições para os tipos de pisos, e isso decorre da escassez de padronização (OLIVEIRA, 2016). De acordo com a ANPM (2015), a classificação dos pisos está entre dois grupos principais, sendo eles maciços e engenheirados.

O piso maciço é composto por uma peça única de madeira maciça usinada nos topos e laterais (BORZI, 2014). Eles são classificados em assoalhos, tacos e *parquets*, os que são utilizados em ambientes internos ou *decks*, que são empregados em ambientes externos, com exposição às intempéries (OLIVEIRA, 2016). As especificações para cada tipo de piso maciço segundo a ANPM (2015), estão no Quadro 1.

Quadro 1 - Especificações dos tipos de pisos maciços

Tipos de pisos maciços	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Observações
Assoalho	280 a 6000	57 a 210	8 a 22	As peças apresentam encaixes macho fêmea em 2 ou 4 laterais.
Taco	Variável	Variável	8 a 20	É utilizadas peças de madeira maciça com ou sem encaixes macho fêmea nas laterais.
<i>Parquet</i>	Variável	Variável	6 a 18	É formado por placas quadradas de 240 x 240 mm, 482 x 482 mm, ou de dimensões e formatos variados. Não possuem encaixes laterais ou de topo.
<i>Deck</i>	Variável	60 a 150	6 a 18	Pode ou não possuir encaixes macho fêmea.

Fonte: Adaptado de ANPM (2015).

Os pisos engenheirados ou estruturados são conhecidos internacionalmente como *Engineered Wood Flooring* – EWF (OLIVEIRA, 2016) e são divididos em pisos estruturados e pisos laminados. As informações descritas pela ANPM (2015) para os tipos de pisos engenheirados, estão representadas na sequência.

O estruturado maciço: é constituído por uma base de painel de madeira e um revestimento de madeira serrada adequado para piso chamado de lamela, que

geralmente apresenta espessura entre 2 e 5 mm. A base deste piso é constituída de peças de madeira maciça unidas lateralmente.

Estruturado lamela (multiestruturado): é constituído por uma base de painel e um revestimento de madeira serrada adequado para piso, chamado de lamela, que geralmente apresenta espessura entre 2 e 5 mm. No Brasil, normalmente, a base deste piso é de painel compensado com número de lâminas variável conforme a espessura final do piso, que pode variar entre 9,5 e 19 mm.

Estruturado lâmina (multilaminado): é constituído por uma base de painel de madeira compensado com número de lâminas variável conforme a espessura final do piso, e revestido por uma lâmina mais fina de madeira que geralmente apresenta espessuras inferiores a 0,6 mm. A espessuras finais de madeira dos pisos variam entre 7 e 15 mm.

Os pisos laminados possuem miolos de painéis reconstituídos ou mesmo de reaproveitamentos de pequenas peças de madeira natural, recoberto (capa) por lâminas de madeira natural (ABIMCI, 2019).

É essencial que durante a escolha do piso, fatores como, a adequação (o pavimento deve ser apropriado ao ambiente), a compatibilidade (o piso de um compartimento deve ser compatível com seu acabamento) e a economia (leva-se em consideração ao desgaste, a manutenção e a conservação do piso), sejam observados (PAES et al. 2010). Pelo fato do piso de madeira ser considerado um produto de maior valor agregado, para a sua comercialização é necessário um padrão mínimo de qualidade, evitando um aumento de resíduos provenientes da fabricação de produtos inadequados (ANPM, 2014).

2.1.2 Dados sobre o mercado de pisos

O Brasil em 2021 produziu aproximadamente 7,3 milhões m² do produto pisos, tendo um decréscimo de 14,1%, em relação a produção de 2018. Desse total, uma boa parte foi consumida pelo mercado interno, mas as exportações têm sido expressivas, onde o País exportou cerca de 82,2 mil toneladas do produto, sendo o destino de exportações predominante os Estados Unidos (ABIMCI, 2022), tal comportamento também foi observado em 2018, onde aproximadamente 59% do total exportado foi destinado aos Estados Unidos, seguido de França (12%), Bélgica (5%), Canadá (3%) e Dinamarca (3%) (ABIMCI, 2019).

Em análise histórica de 2009 a 2018, observa-se decréscimo em relação ao volume exportado de 2,6% ao ano. Sobre as importações nacionais de pisos de madeira (exceto pisos laminados), são reduzidas e oscilantes, apresentando altos e baixos ao

longo da série histórica. Nos últimos 10 anos, a taxa de crescimento do volume foi, no geral, -11,3% ao ano., enquanto em valor a taxa foi positiva, da ordem de +6,0% (ABIMCI, 2019).

Em 2021, a cadeia produtiva florestal manteve seu comportamento resiliente, ao contrário do observado na grande parte dos segmentos da atividade econômica brasileira. O crescimento foi de 7,5% no ano, a qual foi superior a evolução do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, chegando a recorde na receita bruta de R\$ 244,6 bilhões. Ainda nesse ano (2021), o saldo da balança comercial do setor foi de US\$ 10,7 bilhões, um crescimento de 20% em relação à 2020 (IBÁ, 2022). O relatório ainda afirma que entre os produtos florestais, a maior alta ocorreu em pisos laminados e compensados de madeira, com US\$ 0,4 bilhões em exportação e US\$ 0,017 bilhões de importação.

2.2 Propriedades físicas e mecânicas da madeira

A qualidade da madeira é estimada a partir de parâmetros físico-químicos, suas variabilidades e possíveis correlações com propriedades inerentes da madeira e por consequência, o produto final (SILVA et al. 2017). A densidade da madeira é considerada uma das propriedades físicas mais importantes, já que a mesma está associada a várias propriedades da madeira (LATORRACA et al. 2000). A densidade é o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes anatômicos (SILVA et al. 2004), e diversos são os fatores que podem influenciá-la. Shimoyama (1990) afirmou ainda na década de 1990 que, este parâmetro varia em função de fatores genéticos, silviculturais e edafoclimáticos.

Por ser um material higroscópico, a madeira apresenta alterações em suas dimensões de acordo com a umidade relativa e a temperatura do ambiente (MARTINS, 2008). A magnitude das variações dimensionais depende de fatores, como a direção estrutural, a posição dentro da árvore e a densidade (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

A retratibilidade da madeira ocorre quando as moléculas de água que estão ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, são forçadas a saírem, o que deixam espaços, e as força de coesão tende a

reaproximar essas microfibrilas, causando a contração da madeira como um todo. Em relação à expansão, o fenômeno ocorre, quando a água adsorvida pela madeira, tende a penetrar entre as microfibrilas, ocasionando, o distanciamento entre elas e o consequente inchamento da peça de madeira. Por apresentar maior concentração de células de paredes mais espessas, as madeiras com alta densidade têm maior probabilidade de adsorver mais água por unidade de volume, o que favorece maior expansão ou contração, que aquelas de menor densidade (OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; FIEDLER, 2010).

A princípio sabe-se, que a densidade da madeira e a resistência mecânica, são propriedades diretamente proporcionais. Isto é, à medida que a densidade aumenta, ocorre também tendência de aumento da resistência mecânica do material. Segundo Blanco-Flórez et al. (2015), ao escolher a espécie para piso, um dos fatores a serem considerados é a densidade, já que madeiras mais densas tem a probabilidade de serem mais resistentes e são mais utilizadas para essa finalidade, visto que a densidade se relaciona diretamente com a dureza. Além da densidade, a dureza apresenta correlação bem fundamentada com a resistência à compressão, flexão, cisalhamento e rigidez (ANPM, 2015).

No geral, para que uma espécie seja destinada a fins estruturais, é importante o conhecimento da resistência da madeira. As propriedades mecânicas variam dentro da própria tora, de forma axial e radial e entre espécies (NERI JOSINO, 2014).

No caso dos pisos de madeira, por exigir grande resistência, geralmente são indicadas madeiras pesadas. Contudo, atualmente, algumas madeiras médias também estão sendo destinadas para tal finalidade (ANPM, 2015), em virtude de suas boas trabalhabilidades.

2.3 Colorimetria

A coloração da madeira é causada geralmente por extrativos presentes nas células e em suas paredes; como, taninos, resinas e óleos, depositados principalmente no cerne (CORADIN; CAMARGOS, 2002). A cor permite classificar esteticamente a madeira

em diversos ramos da atividade industrial madeireira; como indústria moveleira, painéis reconstituídos e serrarias (MORI et al. 2005). Além das propriedades de qualidade, a escolha do piso de madeira pelo comprador também está relacionada a aspectos estéticos e às tendências da moda e do mercado (ANPM, 2015).

A madeira altera sua cor, quando submetida à mudança de umidade, temperatura, pelas degradações provocadas pelo ataque de organismos xilófagos ou ainda, pelas reações fotoquímicas dos componentes químicos presentes na estrutura (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001). Por causa da sensibilidade na variação da sua cor, em razão de efeitos externos, diversos são os estudos existentes na literatura que avaliam o comportamento da cor da madeira, quando sujeita ao efeito de intemperismo, condições de secagem e tratamentos térmicos (STANGERLIN et al. 2013).

A coloração da madeira é subjetiva, uma vez que a mesma pode ser distinta conforme o observador e a luminosidade. Para contornar essa subjetividade, foram desenvolvidos métodos quantitativos que utilizam variáveis numéricas para as interações provocadas pela luz em uma superfície (SILVA et al. 2015). A técnica que avalia a cor da madeira de maneira quantitativa e precisa, é a colorimetria, que descreve as cores segundo diferentes elementos, com o apoio de equipamentos colorímetros e espectrofotômetros (MARTINS et al. 2015).

O estudo da colorimetria, ocorre por meio do sistema CIEL a^*b^* (1976), desenvolvido pela Comissão International de L'Eclairage. Este sistema baseia-se em três elementos, sendo elas a luminosidade, saturação e a tonalidade (Figura 1). A luminosidade define a escala cinza entre o branco e o preto, graficamente, pode ser representada por reta perpendicular a um círculo, passando pelo centro e tem valores de 0 (preto absoluto) a 100 (branco total). A saturação ou cromaticidade é o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo de luminosidade, em que, quanto mais distante do eixo, mais saturada será a cor (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

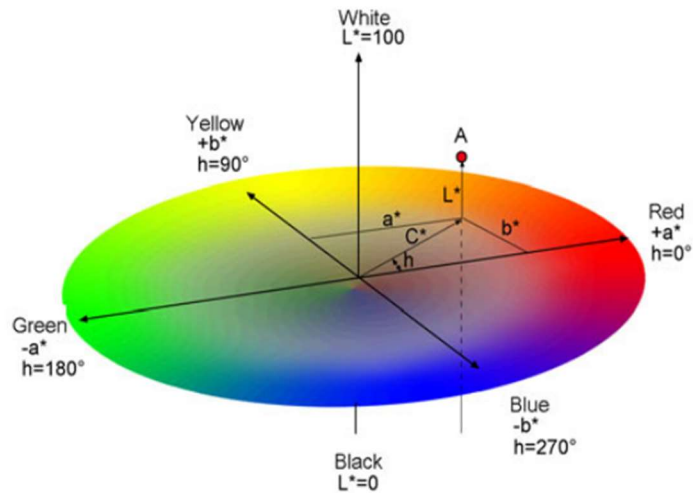


Figura 1 - Representação do sistema CIE L*a*b* (1976)

Fonte: Johansson (2008).

A tonalidade é demonstrada pelas cores primárias (vermelho, verde, amarelo e azul). Essas cores podem ser exibidas por um círculo (Figura 1), pelas retas horizontal e vertical. As cores vermelho e verde são representadas pela reta horizontal, a qual são definidas por duas semi-retas. A tonalidade vermelha vai do centro à periferia, produzindo ângulo de 0° . Enquanto o verde vai do centro à extremidade oposto ao vermelho, formando ângulo de 180° . Na reta vertical, a semi-reta do amarelo vai do centro à extremidade formando ângulo de 90° , e o pigmento azul tem comportamento oposto, produzindo ângulo de 270° (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

2.4 Ensaios de simulação de pisos em serviço

Uma das formas de avaliar pisos de madeira em serviço e garantir a qualidade é por meio de testes realizados de acordo com a ASTM D 2394-05 (2011), que descreve os procedimentos dos ensaios da carga rolante, do impacto da esfera de aço cadente, da endentação causada por cargas aplicadas em pequenas áreas e coeficiente de atrito estático e dinâmico.

Martins (2008), Costa (2019), Blanco-Flórez et al. (2015), Marchesan et al. (2020) e Santos, Lima e Silva (2010), são alguns dos autores, que desenvolveram

pesquisas com ensaios de simulação de pisos em serviço, também seguindo a ASTM D 2394 (2011). Os mesmos estudaram espécies como, *Hovenia dulcis*, clones de *Eucalyptus*, *Corymbia maculata*, *Tectona grandis*, jatobá e cumaru. A diversidade de espécies em estudos de pisos é fundamental, já que transmite a particularidade de cada material, fornecendo diversas opções para tal utilização.

O ensaio de carga rolante permite determinar a resistência do piso de madeira quando submetido a cargas concentradas, tal como a locomoção de objetos pesados, como móveis (BLANCO-FLÓREZ et al. 2015). Martins (2008), obteve depressões no ensaio de carga rolante, medidas após as viagens 10^a, 25^a e 50^a variando de 0,001 a 0,013 (mm), e concluiu que as madeiras *Eucalyptus microcorys* e *Corymbia maculata*, foram mais resistências que a de *Eucalyptus cloeziana*.

A partir do ensaio de impacto da esfera de aço cadente é possível medir o quanto a madeira é resistente, quando submetida a impactos de objetos liberados em alturas na faixa de 15 cm a 180 cm (ASTM D 2394-05, 2011). Quando a esfera é liberada da inércia sobre a superfície da madeira, esta absorve a energia de impacto na forma de deformação, a qual é incrementada com o aumento da distância em que a esfera é liberada (BLANCO-FLÓREZ et al. 2015).

O ensaio de endentações de carga em pequenas áreas avalia a resistência do piso quando submetido a cargas em pequenas áreas, como saltos femininos ou objetos pequenos e duros sendo pisados ou cravados na peça (ASTM D 2394-05, 2011). Neste ensaio, a superfície exibe falhas na forma de depressões, em razão do esmagamento das fibras em pontos localizados (MARTINS et al. 2013).

Os ensaios descritos anteriormente (carga rolante, impacto da esfera e endentações em pequenas áreas) analisa a resistência da madeira por meio de depressões provocadas quando o piso é submetido a cargas externas. De acordo com Oliveira (2016) e Martins (2008), quanto menor a depressão, maior a resistência mecânica da madeira. Vale ressaltar, que para tais ensaios os resultados das depressões são obtidos em milímetros.

Mediante o ensaio de coeficiente de atrito, é possível representar o atrito provocado pelo deslocamento de pessoas sobre o piso de madeira, ou seja, a facilidade ou a dificuldade de deslizar a sola de sapato sobre a superfície do piso (COSTA, 2019).

O atrito é uma característica que pode ser modificada pelas adaptações que venha a ocorrer no piso, como a aplicação de acabamentos no mesmo, que pode torná-lo menos escorregadio e mais seguro para as pessoas que transitam no local, quando aumenta o valor do coeficiente, diminuindo o número de acidentes (OLIVEIRA, 2016).

Martins (2008), concluiu para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus microcorys* e *Corymbia maculata* que elas podem ser utilizadas para pisos, visto que, apresentaram resultados físico-mecânicos satisfatórios. Por outro lado, Blanco-Flórez et al., (2015) recomendaram o uso da *Tectona grandis* em tráfego leve como residências, o mesmo foi recomendado também por Costa (2019) para a madeira muiracatiara. Assim Costa (2019) indicou a utilização de pisos de cumaru, ipê, jatobá e sucupira-preta em ambientes de tráfego intenso, onde há o arraste ou a queda de objetos, como indústrias.

É importante salientar, que a escolha da espécie para uso em pisos, deve ser realizada de maneira cautelosa a partir de embasamentos científicos, quanto a seu potencial para tal finalidade, bem como o seu comportamento com aplicação de acabamentos. Esses conhecimentos favorecem na redução das ações de agentes abióticos e biótico, acarretando na vida útil do produto.

2.5 Madeiras estudadas

A escolha da madeira para a produção de pisos deve ser realizada com base em seu potencial tecnológico para tal finalidade. Para isso, as características primordiais a serem analisadas, são as suas propriedades físicas e mecânicas. Ademais, fatores como a disponibilidade da madeira, o preço de aquisição e as características visuais influenciam na seleção da madeira a ser utilizada (ANPM, 2015).

2.5.1 *Khaya ivorensis* (mogno africano)

A *Khaya ivorensis* é natural de Costa do Marfim, Gana, Benin, Nigéria e Sul de Camarões. No Brasil, tem sido cultivada em todas as regiões e tem desenvolvimento satisfatório em diferentes condições edafoclimáticas (MUNIZ, 2015). Em condições naturais, a *Khaya ivorensis* pode atingir diâmetro máximo a 1,30 metros do solo, de 2,1

metros e altura de até 60 metros. O fuste dessa árvore é reto, cilíndrico e sem galhos até altura de 30 metros (RIBEIRO; FERRAZ FILHO; SCOLFORO, 2017).

A madeira do mogno africano tem sido mundialmente reconhecida como nobre, e foi introduzida no Brasil com a finalidade de substituir o mogno brasileiro (CONDE, 2006). A madeira *Khaya ivorensis* é muito valorizada para móveis e marcenarias, sendo também comumente utilizada para esquadrias, painéis, portas e escadas. Apresenta emprego em construções leves, como pisos, e em construções pesadas como a naval e carrocerias de veículos (LEMMENS, 2008).

O mogno africano tem densidade aparente variando entre $0,42 \text{ g.cm}^{-3}$ a $0,57 \text{ g.cm}^{-3}$, contrações baixas e medianas (SILVA; VIDAURRE, 2019), e um fator anisotrópico próximo de 1,50, sendo classificada como de boa estabilidade dimensional (SILVA, 2013).

2.5.2 *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* possui mais de 800 espécies de ocorrência natural na Austrália, Papua Nova Guiné, Timor Leste, Indonésia e Filipinas. Essas espécies ocupam nichos ecológicos variados, para os quais foram selecionadas ao longo de milhões de anos de evolução e especialização (FLORES et al. 2018).

No Brasil, em 2010 observou um aumento em pesquisas para a obtenção de material melhorado do gênero *Eucalyptus*, para usá-lo como madeira maciça pelo mercado madeireiro. Esse material é uma opção viável e competitiva no abastecimento de madeira para a indústria madeireira, entre elas a de piso (SANTOS; LIMA; SILVA, 2010).

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (2022), em 2021 entre as espécies de florestas plantadas, cerca de 75,8% da área total, foi composta pelo cultivo de *Eucalyptus*, com 7,53 milhões de hectares. A concentração dessas florestas está nos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul e Paraná.

Atualmente, o mercado florestal oferece uma variedade de possibilidades para uso múltiplos do eucalipto, com distintos mercados e escalas produtivas. Engloba empresas com altas tecnologias, com equipes qualificadas e desenvolvedoras e

promotoras de pesquisas, até pequenos e médios produtores com baixo grau de mecanização e reduzida escala produtiva, mas que atendem aos diversos mercados e são essenciais para a garantia de oferta de madeira (VALVERDE et al. 2022).

Dentre as principais características desfavoráveis que envolvem a madeira de eucalipto, estão as tensões de crescimento. Contudo, esses problemas podem ser minimizados através do emprego de tecnologia adequada e da seleção de clones menos suscetíveis, havendo, desta forma, a necessidade de incorporar novas tecnologias para se obter madeira serrada de eucalipto de boa qualidade e com características desejáveis (GONÇALVES, 2006).

A empregabilidade da madeira *Eucalyptus* em larga escala para a produção de pisos exige avaliação das suas características e seu comportamento em serviço. Isso pode significar um diferencial no mercado de pisos, tanto para agregar valor ao produto como para garantir qualidade ao consumidor (PADILHA et al. 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 Informações sobre as madeiras

Para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionadas as madeiras *Khaya ivorensis*, vulgarmente conhecida como mogno africano, e dois clones de híbridos de *Eucalyptus*. O mogno africano foi proveniente de plantio seminal de 25 anos, espaçamento 2 x 3 m, localizado na Reserva Natural Vale, Sooretama, Espírito Santo (latitude 19°06' a 19°18'S, longitude 39°45' a 40°19'W e altitude entre 28 – 65 m).

Foram colhidas três árvores, as quais apresentaram valor médio para o diâmetro a altura do peito (DAP) e altura comercial de 37,2 cm e 23,2 m, respectivamente. De cada árvore retiraram três toretes, que foram transportados para o Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), onde ocorreu o desdobramento com cortes radiais e a produção dos corpos de prova utilizados nos ensaios.

Os clones *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* são provenientes dos plantios em espaçamento 5 x 4 m em solo argiloarenoso, da empresa Complexo Agroindustrial Pindobas Ltda, situada no município de Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo (latitude 20°23'37.1"S, longitude 41°08'29.6"W e altitude de 730 m). A implantação dos clones teve como intuito a produção de madeira serrada. A região possui relevo do tipo montanhoso e escarpado e o município é situado no Bioma Mata Atlântica, de acordo com o Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural – Proater (2020).

Os materiais dos clones de *Eucalyptus* apresentaram diâmetro à altura do peito-DAP (com casca), entre 31 a 35 cm, e de cada clone foram coletadas três árvores. Desse material obtiveram-se pranchões centrais com cortes radiais, que foram transportados para o Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo. A partir dos pranchões, foram retiradas as amostras para os ensaios das propriedades físicas e mecânicas e para as análises de caracterização do piso.

3.2 Caracterização física das madeiras

Para a caracterização física, foram realizados no Laboratório de Qualidade da Madeira, os ensaios de umidade, densidade aparente (12% de umidade), densidade básica e instabilidade dimensional. A determinação das propriedades foi baseada na NBR 7190-3 (ABNT, 2022), e utilizaram-se 21 corpos de prova por propriedade.

3.2.1 Umidade, densidade aparente e densidade básica

A densidade aparente foi determinada pela massa e volume em condição de umidade de equilíbrio. A norma retrata 12% como a umidade de equilíbrio, e para atingir essa umidade, os corpos de prova foram aclimatados nas condições de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa.

Na ocorrência de amostras que não atingiram a condição de equilíbrio, realizou-se a correção da densidade aparente (Equação 1), mencionada pela ISO 3130 (1975).

$$DA_{12\%} = DA_w \times \left[1 - \frac{(1 - k)x(w - 12)}{100} \right] \quad (1)$$

Em que:

k = Coeficiente volumétrico para mudança de 1% de umidade, e que seu valor é igual a:

$$k = 0,85 \times 10^3 \times DA_w \quad (2);$$

DA_w = Densidade aparente a $w\%$ de umidade (Kg/m^3); e

w = Umidade em que se encontra o corpo de prova (%), obtido pela base seca.

A densidade básica (DB) foi obtida pela razão da massa seca pelo volume saturado. O volume saturado foi determinado pelas dimensões finais do corpo de prova submerso em água em massa constante ou com no máximo 0,5% de variação em relação à medida anterior. Após as medições, as amostras foram alocadas em estufa com circulação forçada, com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, para obter a massa seca. Durante a secagem ocorreu medições a cada 6 horas, até que decorreu variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida.

3.2.2 Instabilidade dimensional da madeira

O ensaio de instabilidade dimensional foi determinado pelas propriedades de contração e inchamento nas direções tangencial e radial. Os corpos de prova utilizados foram os mesmos usados nos ensaios de densidade aparente e densidade básica.

As deformações especificadas de contração e inchamento foram determinadas em função das respectivas dimensões da madeira saturada e seca. Para a obtenção da variação volumétrica foram utilizados os volumes das amostras, obtidos nas propriedades de contração e inchamento, que foram calculados a partir dos resultados das deformações nas direções anatômicas (tangencial, radial e axial).

3.3 Caracterização mecânica

A caracterização mecânica foi realizada seguindo as orientações da NBR 7190-3 (ABNT, 2022), e utilizou-se a máquina universal EMIC com capacidade de carga de 10 toneladas, localizada na sala de ensaios mecânicos, no Laboratório de Anatomia da Madeira, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo. Foram realizados os ensaios de flexão estática, compressão e dureza Janka, ambos na direção perpendicular às fibras, e cada ensaio com 21 repetições por madeira.

3.4 Colorimetria

A análise colorimétrica foi realizada em corpos de prova com e sem acabamento, sendo a aplicação do acabamento descrita no item 3.4.1. Em ambas as condições foram analisados 21 corpos de prova por madeira, com dimensões de 15 x 7,5 x 1 cm (comprimento x largura x espessura). As amostras foram analisadas na condição de 12% de umidade, e para isso foram climatizadas nas condições de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de

umidade relativa, os corpos de provas passaram por pesagens frequentes até atingir massa constante.

A determinação das cores foi com base no sistema CIEL*a*b (1976) e com a tabela de cores desenvolvida por Camargos e Gonçalves (2001). Para a realização dessa análise utilizou-se um espectrofotômetro portátil (Figura 2), contendo a configurado subsequente: o iluminante D65, o diâmetro de desobstrução da área de iluminação igual a 3 mm (SAV – *smallAreaViewl*) e 10° para o ângulo de observação.



Figura 2 - Espectrofotômetro. (A) visão superior; (B) visão lateral.

Fonte: A autora (2023).

As medições foram obtidas na fase radial/tangencial das amostras, e em cada fase foram realizadas três medições em áreas distintas. O equipamento forneceu os valores de luminosidade (L^*), matizes vermelho ($+a^*$) e amarelo ($+b^*$), e com base nesses resultados obtiveram os dados de saturação (C) e ângulo de tinta (h) (Equação 3 e 4)

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

$$h = \frac{b^*}{a^*} \quad (4)$$

Obtendo os resultados de L^* , a^* , b^* , h^* e C , os mesmos corresponderam a uma nomenclatura de cores, representada por Camargos e Gonçalves (2001).

3.4.1 Produto de acabamento

Um total de 63 corpos de prova, com dimensões 15 x 7,5 x 1 cm (comprimento x largura x espessura), foram submetidos ao acabamento com o produto *stain* osmocolor acetinado transparente (Figura 3). Antes da aplicação do produto, os corpos de prova foram lixados com lixas de granulometria 80, 120 e 180, até apresentarem superfície lisa.



Figura 3 - Produto de acabamento *stain* Osmocolor

Fonte: A autora (2023).

Seguiram-se as recomendações descritas no próprio produto, a qual foram passadas quatro demãos de *stain* em uma face dos corpos de prova, com intervalo de 12 horas cada uma. Na sequência, as amostras foram expostas ao ar por sete dias (Figura 4) e aclimatadas nas condições de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa, até massa constante.



Figura 4 - Corpos de prova com acabamento exposto para secagem.

Fonte: A autora (2023).

3.5 Ensaios de simulação de pisos em serviços

Os ensaios de simulação de pisos em serviços foram realizados no Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira, no Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras (UFLA). O material foi submetido ao processo de aclimação nas condições de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa, a fim de atingir os 12% de umidade de equilíbrio, e na sequência realizou-se os ensaios conforme ASTM D2394-05 (2011).

No Quadro 2, é possível observar as dimensões, bem como a quantidade dos corpos de prova utilizados de acordo com o ensaio executado.

Quadro 2 – Especificações dos corpos de prova utilizados nos ensaios de simulação de pisos em serviço

Ensaio	Corpos de prova		Norma
	Dimensões (cm)	Quantidade	
Carga rolante	24 x 10 x 1,8	21	ASTM D2394-05 (2011)
Endentações de cargas aplicadas em pequenas áreas	24 x 8 x 1,8	21	
Coefficiente de atrito	24 x 10 x 1,8	15	
Impacto da esfera de aço cadente	24 x 10 x 1,8	36	

Fonte: A autora (2023).

3.5.1 Ensaio de carga rolante

A partir do ensaio em questão é possível simular o arraste de objetos no piso. E para isso, os corpos de prova foram inseridos a um ângulo de aproximadamente 45° entre a direção axial com o sentido de movimentação da carga, em uma base de ferro com dimensões de 1750 x 400 mm (Figura 5).

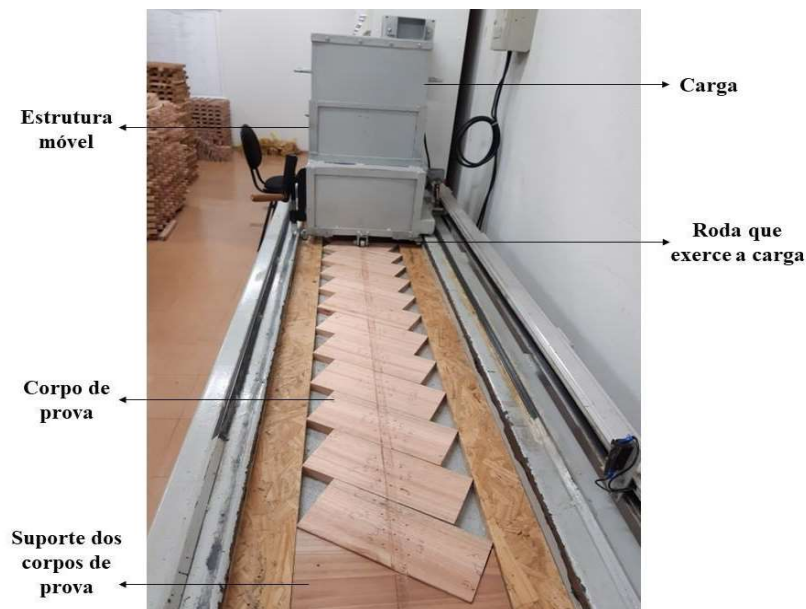


Figura 5 - Equipamento usado no ensaio de carga rolante

Fonte: A autora (2023).

As madeiras foram submetidas a carga concentrada de 890 N exercida por uma roda central, a qual se movimenta em dois trilhos a velocidade de 0,06 m/s, impulsionada por motor elétrico. Entre os intervalos de 10^a, 25^a e 50^a viagens, foi medida a depressão gerada pela carga concentrada, com uso de relógio comparador (Figura 6).



Figura 6 - Relógio comparador

Fonte: A autora (2023).

Foram marcados nove pontos em cada corpo de prova, sendo seis pontos identificados na parte de fora da depressão (leituras externas), e na parte central da depressão marcaram-se três pontos, sendo consideradas leituras internas (Figura 7). A cada grupo de leituras externas e interna alinhadas, obteve-se uma depressão (Equação 5), totalizando 3 depressões medidas por corpo de prova ao final das viagens (10, 25 e 50).

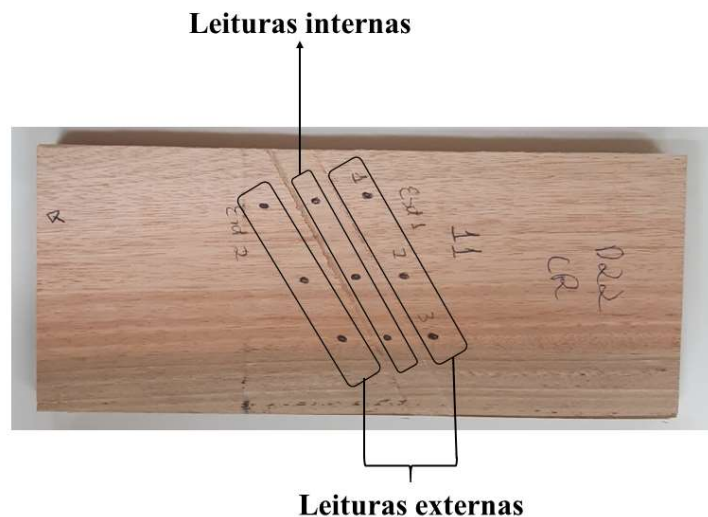


Figura 7 - Medições da depressão no corpo de prova do ensaio de carga rolante

Fonte: A autora (2023).

$$D = L_e - L_i \quad (5)$$

Em que:

D: depressão (mm); L_e : leituras externas; e L_i : leituras internas.

3.5.2 Ensaio de endentação em pequenas áreas

Para analisar o comportamento das madeiras quando submetidas a cargas aplicadas em pequenas áreas, utilizou-se a máquina do rolo endentado (Figura 8). Esta máquina é composta por uma estrutura de ferro e de um rolo, cujas dimensões são 235 mm de comprimento e 150 mm de diâmetro. Este rolo apresenta 225 pinos de aproximadamente 5 mm de diâmetro, onde efetuava a carga distribuída de 890 N sobre os corpos de provas ao se movimentar com uma velocidade de 0,06 m/s, impulsionada por um motor elétrico.

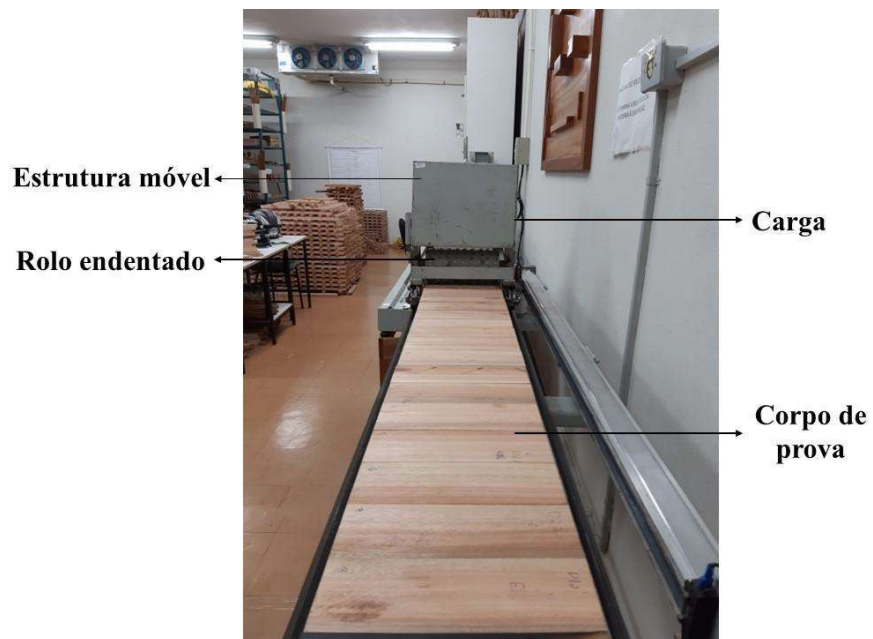


Figura 8 - Máquina do rolo endentado

Fonte: A autora (2023).

Os corpos de prova de cada tratamento foram submetidos a uma passagem de 100 viagens, e ao final selecionaram-se, de forma aleatória, cinco pontos provenientes da depressão causada pelos pinos. Em cada depressão foi identificado quatro pontos na região externa (leituras externas), e um ponto na região central da depressão (leitura interna), os quais foram medidos com a ajuda do relógio comparador (Figura 6). Na Figura 9 está exibido um esquema do corpo de prova após o ensaio, com a identificação das medições externas e interna na depressão.

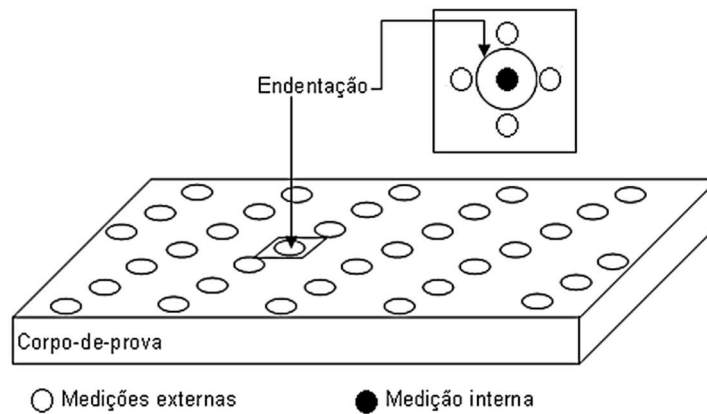


Figura 9 - Esquema das medições da depressão no ensaio de endentação

Fonte: Martins (2008).

Obtendo as quatro leituras externas em cada depressão, realizou-se a média, sendo esse resultado inserido na Equação 5, juntamente com a leitura interna, obtendo assim, a profundidade da depressão causada. A depressão considerada para cada corpo de prova foi proveniente da média das cinco depressões calculadas.

3.5.3 Teste de impacto da esfera de aço cadente

O teste de impacto da esfera simulou casualmente a queda de objetos sobre o piso, em diferentes alturas. Nesse ensaio o equipamento utilizado possuía uma estrutura de ferro com aparência de uma torre, a qual era constituída por 12 subdivisões ao longo da sua altura, iniciando em 15 cm até 180 cm, sendo a variação entre as subdivisões de 15 cm (Figura 10).



Figura 10 - Equipamento utilizado no ensaio de impacto da esfera de aço cadente

Fonte: A autora (2023).

A esfera de aço utilizada no equipamento (Figura 10) possui diâmetro de 51 mm e massa de 535 g (Figura 11), e fica posicionada verticalmente nas subdivisões, por meio de uma base plana fixa móvel que possuía eletroímã. A esfera é inserida na região do eletroímã e posteriormente liberada pela desativação do mesmo.



Figura 11 - Esfera de aço cadente com diâmetro de 51 mm

Fonte: A autora (2023).

Para tanto, avaliaram-se os materiais nas 12 alturas, e para cada altura foram testados três corpos de prova por tratamento, sendo uma repetição de impacto por amostra, totalizando 36 repetições por material. Com a finalidade de realçar a área do impacto, utilizou-se papel carbono sobre os corpos de prova.

O cálculo da profundidade da depressão causada pelo impacto da esfera foi realizado por meio da Equação 5. A leitura externa foi a média aritmética das quatro medições externas, e a leitura interna foi a medida da região central da profundidade. A partir da Figura 12 é possível visualizar os corpos de prova com as marcações referente às leituras externas e internas. Ambas as leituras foram obtidas com relógio comparador (Figura 6).

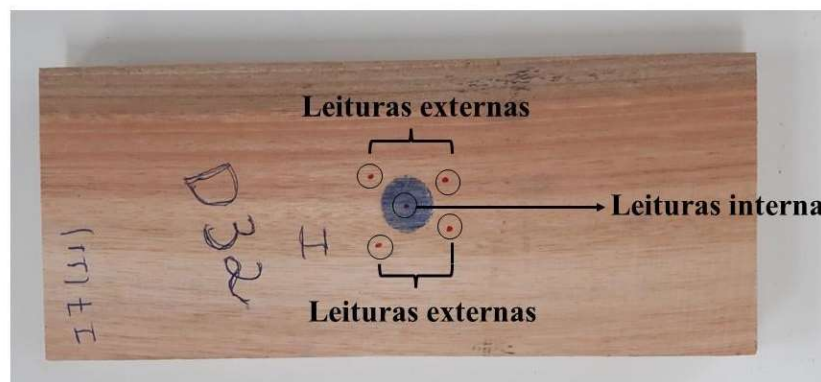


Figura 12 - Medições da depressão no ensaio de impacto da esfera de aço cadente
Fonte: A autora (2023).

Com o resultado da depressão gerada em cada altura, obteve-se a equação de regressão que melhor se ajustou aos dados, com o objetivo de calcular o índice de endentação na altura máxima de 180 cm, como indicado pela ASTM D2394-05 (2011).

3.5.4 Coeficiente de atrito

Por meio desse ensaio é possível analisar o atrito gerado nas superfícies dos pisos de madeira decorrente do tráfego de pessoas, ou seja, retrata a facilidade ou dificuldade que a sola de sapato tem para deslizar sobre a superfície do piso. A análise foi realizada

em máquina de ensaio universal EMIC DL 30.000 (Figura 13), e determinaram-se os coeficientes de atrito estático e dinâmico em 15 corpos de prova.

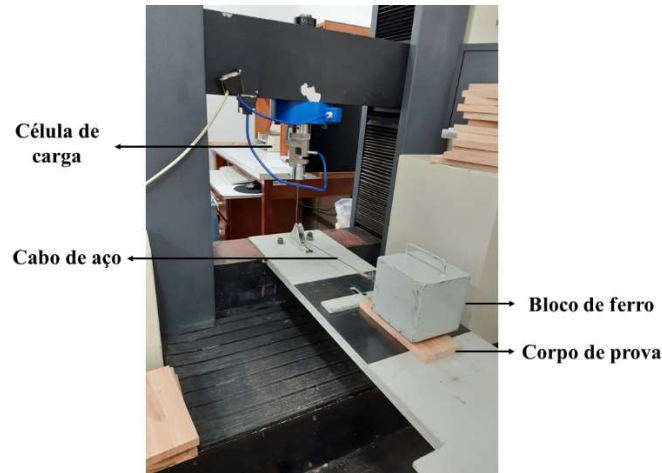


Figura 13 - Equipamento utilizado no ensaio de coeficiente de atrito.

Fonte: A autora (2023).

O ensaio aconteceu a partir do deslocamento de um bloco de ferro com massa de 11,5 kg, que foi conectado na célula de carga da máquina, por meio de um cabo de aço. A parte inferior do bloco de ferro revestida com couro natural foi responsável por gerar atrito sobre o corpo de prova, e após cada madeira ensaiada a superfície do couro foi lixada com lixa de granulometria 220.

O computador conectado à máquina registrou a força máxima que foi exigida para movimentar a massa do bloco de ferro na velocidade 1,27 mm/min, sobre os corpos de prova, e a força média para mantê-lo em movimento na velocidade 51 mm/min. A partir desses dados obteve-se o coeficiente de atrito estático, a qual foi determinada pela razão da força máxima com a massa do bloco de ferro. Para o cálculo de coeficiente de atrito dinâmico levou-se em consideração a relação da força média com a massa do bloco de ferro, resultados que também já foram fornecidos a partir do “script” do ensaio.

3.6 Análises estatísticas dos dados

Os resultados foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homogeneidade de variância. Atendendo aos requisitos, realizou-se a análise de variância (ANOVA), a fim de verificar se existe diferença estatística entre tratamentos. Confirmando a diferença, os dados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de significância para a comparação de médias.

As análises estatísticas foram realizadas no software Sigma Plot 12.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas

4.1.1 Densidade básica e densidade aparente

Na Tabela 1 encontram-se os resultados de densidade básica e densidade aparente (12% de umidade), com seus respectivos coeficientes de variação. Como também são disponibilizados alguns resultados de densidade da madeira, encontrados na literatura.

Tabela 1 - Resultados da densidade básica e densidade aparente

Madeiras	DB (kg.m ⁻³)	Valor literatura (kg.m ⁻³)	Referências	DA (kg.m ⁻³)	Valor literatura (kg.m ⁻³)	Referências
<i>Khaya ivorensis</i>	508,58 a (3,42%)	513	LIMA (2019)	603,66 a (3,38%)	627	CARVALHO; SILVA; LATORRACA (2010)
<i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	529,21 a (10,8%)	530	ROCHA (2011)	722,26 b (9,0%)	899	ABNT NBR 7190 (1997)
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	678,20 b (1,9%)	680	SILVA (2018)	871,90 c (2,1%)	808	PELOZZI et al., (2012)

DB: Densidade básica; DA: Densidade aparente. Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna para uma mesma característica, não diferem estatisticamente entre si (Tukey; p<0,05).

Fonte: A autora (2023).

Nota-se na Tabela 1, que o clone *E. grandis x E. urophylla* apresentou os maiores valores de densidade básica e aparente, podendo ser destinado para pisos com tráfego de máquinas ou equipamentos pesados. Em contrapartida, a *Khaya ivorensis* (mogno africano) teve os menores valores médios para essas densidades, podendo ser destinada para pisos leves.

As madeiras não apresentaram semelhança estatisticamente a 5% de significância na densidade aparente, diferente da densidade básica, onde o clone *E. grandis x E.*

camaldulensis e *Khaya ivorensis* se assemelharam. Quanto à variação dos resultados em relação ao valor médio, em ambas as densidades, o *E. grandis* x *E. urophylla* atingiu menor variabilidade, seguidos pelo mogno africano (*Khaya ivorensis*) e *E. grandis* x *E. camaldulensis*. De modo geral, os resultados dos coeficientes de variação foram baixos, já que apresentaram resultados inferiores a 11%, apresentando homogeneidade nos lotes de cada madeira.

Conforme a classificação de Nennewitz et al. (2008) as madeiras foram classificadas em média densidade básica, visto que obtiveram resultados médios entre o intervalo de 500-800 kg.m⁻³. Em contrapartida, para a densidade aparente, as madeiras se enquadraram em diferentes classes, seguindo a classificação proposta por Sallenave (1955). O mogno africano foi classificado como leve, tendo o valor médio entre 500-640 kg.m⁻³, seguido o *E. grandis* x *E. camaldulensis* como madeira semipesada (650-790 kg.m⁻³), e por fim, a classificação de madeira pesada foi do *E. grandis* x *E. urophylla*, por apresentar resultado entre o intervalo de 800-950 kg.m⁻³.

Com base nos valores encontrados na literatura (Tabela 1), observa-se que os resultados de mogno africano (*Khaya ivorensis*) e do *E. grandis* x *E. camaldulensis* foram inferiores aos citados para a densidade aparente, em contrapartida, o *E. grandis* x *E. urophylla* apresentou resultado superior ao obtido por PELOZZI et al. (2012), também para a densidade aparente. Na densidade básica, todos os materiais apresentaram resultados próximo aos mencionados na Tabela 1.

Por outro lado, o valor do mogno africano (*Khaya ivorensis*) para a densidade aparente foi superior aos resultados divulgados pelo Centre de Cooperation International em Recherche Agronomique Pour Le Developpement - CIRAD (2012) 570 kg.m⁻³ e por Pinheiro et al. (2011), 490 kg.m⁻³ e Appiah-Kubi et al. (2016), 510 kg.m⁻³, resultados obtidos na mesma condição de umidade do presente estudo. Este comportamento também foi obtido pela densidade básica, ao comparar com o resultado encontrado por França et al. (2015), sendo densidade de 491 kg.m⁻³, para árvores com idade de 19 anos.

Para a qualidade da madeira juvenil de clone (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) com 5 anos de idade, Serenin Junior et al. (2019) encontraram valores inferiores aos obtidos no presente estudo. Analisando o estudo de Alzate (2004), percebe-se que foram obtidos valores de densidade aparente para cinco clones de *E.*

grandis x *E. urophylla*, variando 960 -1050 kg.m⁻³, resultados superiores aos valores máximos obtidos pelo clone estudado neste trabalho.

Em relação ao clone *E. grandis* x *E. camaldulensis*, os resultados foram superiores aos obtidos por Talgatti et al. (2018) para o clone *E. grandis* x *E. camaldulensis*, sendo 474 kg.m⁻³ (densidade básica) e 534 kg.m⁻³ (densidade aparente). Torres et al. (2016) obtiveram os resultados de 470 kg.m⁻³ e 581 kg.m⁻³ para densidade básica e densidade aparente, respectivamente, ao estudarem madeiras de *Eucalyptus camaldulensis* com 4 anos de idade, com valores inferiores aos dados obtidos no presente estudo.

A variabilidade observada entre os resultados da literatura citados, com os obtidos na presente pesquisa foi considerada normal, já que diversas são as variáveis que influenciam na densidade da madeira. Além da idade do indivíduo, Santos et al. (2019) Scanavaca Júnior e Garcia (2017) citam alguns fatores ambientais que também influenciam nas propriedades físicas, como, o ritmo de crescimento, isto é, luminosidade, disponibilidade hídrica, temperatura, fertilidade do solo, espaçamento e manejo. Sendo assim, os valores encontrados para densidade aparente e básica estão de acordo com o citado para as madeiras estudadas.

4.1.2 Instabilidade dimensional da madeira

Na Tabela 2 constam os resultados para os coeficientes de inchamento e contração, variação volumétrica e fator anisotrópico, com os respectivos coeficientes de variação, para as espécies estudadas.

Tabela 2 - Valores do coeficiente de inchamentos e contração nas três direções, da variação volumétrica e fator anisotrópico

Madeiras	Inchamento (%)		Contração (%)		ΔV	FA
	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial		
<i>Khaya ivorensis</i>	6,19 a (19,6%)	3,31 a (19,3%)	5,81 a (18,5%)	3,21 a (18,6%)	9,36 a (15,6%)	1,83 a (14,9%)
<i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	13,75 b (9,7%)	10,70 b (8,6%)	12,08 b (8,5%)	9,66 b (7,8%)	21,00 b (5,9%)	1,26 b (10,3%)
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	19,49 c (20,4%)	10,12 b (17,3%)	16,22 c (17,5%)	9,17 b (16,0%)	24,45 c (14,2%)	1,79 a (14,6%)

ΔV : Variação volumétrica; FA: Fator anisotrópico. Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna para uma mesma propriedade ou característica, não diferem (Tukey; $p < 0,05$).

Fonte: A autora (2023).

Os valores obtidos na direção tangencial (Tabela 2) foram superiores, em relação à direção radial, podendo atingir resultados duas vezes maiores que da direção radial, conforme Oliveira e Silva (2003). Esse comportamento, segundo Kollmann e Cotê Júnior (1968) está relacionado à restrição da influência dos raios na direção radial.

A espécie *Khaya ivorensis* (mogno africano) apresentou os menores coeficientes de inchamento e contração nas direções tangencial e radial, e conseqüentemente menor variação volumétrica. Como nesse último parâmetro as espécies não apresentaram semelhança estatisticamente, o clone *E. grandis x E. urophylla* apresentou os maiores valores, exibindo qualidade inferior da madeira. Outra observação em relação a variação volumétrica, foi que o coeficiente de variação obtido pelas madeiras *Khaya ivorensis* e *E. grandis x E. urophylla* apresentaram uma variabilidade dos dados em relação à média acima de 17%, enquanto o *E. grandis x E. camaldulensis* obteve resultado inferior a 10%, tendo maior homogeneidade no lote de madeira para esta característica.

Na direção tangencial as madeiras não apresentaram semelhança para ambos coeficientes (inchamento e contração). Os maiores resultados foram para o *E. grandis x E. urophylla*, enquanto os menores foram obtidos pela *Khaya ivorensis*. Na direção radial, a superioridade dos resultados foi observada por ambos os clones de *Eucalyptus* para os dois coeficientes. O clone *E. grandis x E. camaldulensis* obteve a menor

variabilidade dos dados em relação à média, nas direções tangencial e radial, nos dois coeficientes, em contrapartida, as demais madeiras atingiram coeficientes de variação acima de 16%, o comportamento em questão, também foi observado por Freitas et al. (2016), para clones de *Eucalyptus* spp na contração na direção radial.

Quanto ao fator anisotrópico (Tabela 2), o resultado da madeira *E. grandis* x *E. camaldulensis* foi o que mais se aproximou de 1. Já as demais madeiras apresentaram resultados acima de 1,7, requerendo mais cuidado na secagem dos pisos dessas madeiras. Seguindo a classificação de Durlo e Marchiori (1992), o *E. grandis* x *E. Camaldulensis* se enquadrou nas madeiras consideradas excelentes por atingir um resultado médio entre 1,2 a 1,5. E as demais madeiras, por apresentarem valores médios entre o intervalo de 1,6 a 1,9 foram consideradas normais.

Os resultados médios dos coeficientes de inchamento e contração nas direções tangencial e radial, a variação volumétrica e o fator anisotrópico de 6,35%, 3,52%, 5,96%, 3,45%, 9,37% e 1,80, respectivamente, obtidos por Lima (2019) no estudo do efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis*) foram próximos aos obtidos no presente estudo. Tal comportamento também foi observado nos dados de retração obtidos por França et al. (2015) para mogno africano, com exceção do resultado médio encontrado para o fator anisotrópico, a qual foi de 1,65, sendo inferior ao do presente estudo.

No estudo da avaliação das propriedades físicas e químicas da madeira de *E. urophylla* x *E. grandis*, Medeiros et al. (2016) determinaram as contrações nas direções radial e tangencial, e variação volumétrica menores que os obtidos no presente estudo para os clones de *Eucalyptus*. Por outro lado, os autores obtiveram resultado de 2,03 para o fator anisotrópico, sendo bem superior ao encontrado nesta pesquisa.

Para a avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus camaldulensis*, Faria et al. (2015) obtiveram resultados para a contração radial, tangencial e volumétrico inferiores aos dos clones de *Eucalyptus*. Em contrapartida, obteve um fator anisotrópico de 1,70, resultado próximo ao do *E. grandis* x *E. urophyllas* e superior ao do *E. grandis* x *E. camaldulensis*. Ainda para um comparativo com os valores médios dos clones de *Eucalyptus*, Oliveira e Silva (2003), obtiveram para a propriedade de contração, nas direções tangencial e radial e variação volumétrica

resultados de 14,83%, 7,67% e 26%, respectivamente, sendo próximos aos do clone *E. grandis x E. camaldulensis*.

Por fim, Oliveira, Tomazello Filho e Fiedler (2010) determinaram os fatores anisotrópicos de espécies de *Eucalyptus*, e obtiveram os valores de 1,7 para *E. paniculata* e *E. cloeziana* e 1,8 para *E. tereticornis*. Além disso, os autores encontraram coeficiente de variação para as espécies acima de 19%, variabilidade superior aos obtidos pelas madeiras estudadas, a qual apresentaram resultados inferiores a 15%.

4.2 Propriedades mecânicas

Na Tabela 3 constam os resultados das propriedades mecânicas obtidas a partir dos ensaios de flexão estática, compressão e dureza Janka na direção normal às fibras.

Tabela 3 - Resultados dos módulos de ruptura e elasticidade, da resistência à compressão e dureza Janka, na direção normal às fibras

Madeiras	MOR [MPa]	MOE [MPa]	f _{wc90} [MPa]	f _{H90} [MPa]
<i>Khaya ivorensis</i>	70,5 a (11,5%)	7100 a (10,3%)	14,57 a (23,5%)	27,71 a (15,1%)
<i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	109,34 b (9,1%)	12696 b (8,9%)	11,14 b (12,6%)	31,41 b (17,3%)
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	136,9 c (20,2%)	16430 c (11,1%)	10,76 b (7,6%)	53,49 c (5,4%)

MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidade; f_{wc90}: Resistência à compressão normal às fibras; f_{H90}: Dureza Janka na direção normal às fibras. Valores entre parênteses são os coeficientes de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna para uma mesma característica, não diferem (Tukey; p<0,05).

Fonte: A autora (2023).

A partir dos dados demonstrativos da Tabela 3 é possível notar que o comportamento das madeiras para módulo de elasticidade e rigidez variaram de acordo com a densidade aparente das mesmas, sendo os menores valores encontrados para as madeiras com menor peso, e os maiores valores para as madeiras densas. O

comportamento foi semelhante também para a resistência a dureza Janka normal às fibras, diferindo apenas para compressão normal, em que os valores dos *Eucalyptus* não diferenciaram entre si, e foram superiores a *Khaya ivorensis*.

As madeiras apresentaram uma variabilidade entre os dados inferior a 12%, em ambos módulos, exceto para o clone *E. grandis* x *E. urophylla* no módulo de elasticidade, tendo a variação entre os resultados sido 20,2%. Valores de variações considerados normais em virtude da heterogeneidade das madeiras,

Valores de 78,4 e 9.577 (MPa) foram obtidos por França et al. (2015) para módulo de ruptura e elasticidade do mogno africano (*Khaya ivorensis*). Os resultados dos autores foram superiores aos deste estudo, podendo ser explicado pelos fatores inerentes a madeira, que influenciam as propriedades, como densidade, idade, localização de plantio e espaçamento de plantio. O mesmo foi observado para os resultados de módulo de elasticidade obtidos por Xavier, Nascimento e Coelho Junior (2015) nas direções tangencial (8.355 MPa), radial (9.251 MPa) e diagonal (7.949 MPa) para a mesma espécie.

No trabalho de Talgatti et al. (2018) os resultados médios dos módulos de elasticidade e ruptura dos clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* foram inferiores aos dos clones de *Eucalyptus* estudados. Já no estudo da avaliação da aptidão da madeira de seis clones híbridos de *Eucalyptus* para o processamento mecânico, Silva (2018) encontrou resultado médio no MOE para o clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* próximo ao deste estudo, sendo de 16.460 MPa.

Ainda na Tabela 3, percebe-se que na dureza Janka normal às fibras, as madeiras obtiveram o mesmo comportamento de superioridade e inferioridade atingido pelos módulos, ou seja, o clone *E. grandis* x *E. urophylla* obteve um resultado médio maior, enquanto a *Khaya ivorensis* os menores valores.

Na resistência à compressão normal, a *Khaya ivorensis* (mogno africano) apresentou predominância de resistência, enquanto os clones de *Eucalyptus* obtiveram os menores valores. Um parâmetro que possivelmente influenciou nesse comportamento, foi o tipo de grã da espécie *Khaya ivorensis*, uma vez que Silva (2013),

cita que a espécie apresenta grã irregular intercruzada, o que beneficia a resistência a esse tipo de esforço.

Em ambas as propriedades mecânicas (dureza Janka e compressão normal às fibras), os resultados do clone *E. grandis* x *E. urophylla* mostraram uma baixa variabilidade em relação à média, atingindo coeficientes de variação abaixo de 8%. Por outro lado, os demais materiais obtiveram coeficientes de variação entre 12,6 a 23,5%.

Resultados médios para compressão normal às fibras de 9,20 MPa e 11,2 MPa para as madeiras de *Eucalyptus urograndis* e *Khaya ivorensis* foram obtidos por Pereira et al. (2016) e Silva (2013), respectivamente, que foram valores inferiores aos obtidos para as madeiras do presente estudo. A respeito da dureza Janka, Silva (2018) ao estudar seis clones de *Eucalyptus* encontrou resultados médios para a direção radial e tangencial na faixa de 27,84 a 59,15 MPa, os resultados obtidos no presente estudo para os clones de *Eucalyptus* estão dentro desse intervalo. Já para o mogno africano (*Khaya ivorensis*), França et al. (2015) obtiveram resultados para a dureza Janka na tangencial e radial de 32,4 e 36,8 MPa, respectivamente, resultados superiores ao comparar com o do presente estudo.

4.3 Colorimetria

A partir da Tabela 4 é possível observar os resultados para as variáveis luminosidade, matizes, saturação, ângulo de tinta com e sem a aplicação do acabamento. E a partir daí a determinação da cor da madeira de acordo com a Tabela descrita por Camargo e Gonzalez (2001).

Tabela 4 - Valores dos parâmetros colorimétricos no sistema CIE L*a*b* com e sem acabamento

	Madeiras	L*	a*	b*	C	h	Cor
	<i>Khaya ivorensis</i>	64,12 a A (3,5%)	13,17 a b A (5,9%)	21,25 a A (3,2%)	25,01 a A (3,6%)	58,24 a A (2,1%)	Rosa
Sem stain	<i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	71,48 b A (3,0%)	12,69 a A (6,2%)	20,01 b A (3,0%)	23,70 b A (2,7%)	57,63 a A (3,1%)	Rosa
	<i>E. grandis x E. urophylla</i>	71,5 b A (2,3%)	13,42 b A (4,0%)	19,75 b A (2,9%)	23,88 b A (2,9%)	55,82 b A (1,7%)	Rosa
	<i>Khaya ivorensis</i>	55,05 a B (3,9%)	16,34 a B (8,2%)	26,29 a B (5,0%)	30,97 a B (5,3%)	58,16 a A (3,0%)	Amarelo amarronzado
Com stain	<i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	64,69 b B (5,2%)	14,91 b B (7,6%)	28,34 b B (2,7%)	32,04 b B (2,3%)	62,26 b B (3,3%)	Amarelo amarronzado
	<i>E. grandis x E. urophylla</i>	65,18 b B (2,6%)	15,66 a b B (5,5%)	27,74 b B (2,5%)	31,86 b B (2,8%)	60,57 c B (1,9%)	Amarelo amarronzado

L*: luminosidade; a*: matiz vermelho; b*: matiz amarelo; C: saturação; h: ângulo de tinta. Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem (Tukey; $p < 0,05$), ao analisar cada parâmetro (com e sem *stain*) separadamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem (Tukey; $p < 0,05$), ao analisar médias com e sem *stain* da mesma espécie.

Nota-se (Tabela 4), que as madeiras analisadas com *stain* apresentaram valores inferiores para o parâmetro luminosidade (L*). Por outro lado, as demais variáveis (matizes a e b, saturação (C) e ângulo de tinta (h*)) atingiram resultados superiores, aos tratamentos antes da aplicação do acabamento, exceto para a característica ângulo de tinta na madeira *Khaya ivorensis*. No entanto, o somatório de características estudadas o classificou como a cor amarelo amarronzado.

Percebe-se que os três materiais, em ambas as situações (com e sem a aplicação do *stain*), se enquadram no mesmo grupo de cores. Sem a aplicação do acabamento as madeiras atingiram a tonalidade rosa, e após a aplicação obtiveram a cor amarelo amarronzado. Essa alteração de tonalidade foi comprovada, principalmente ao observar a redução da luminosidade e o aumento do matiz amarelo. Vale ressaltar que os clones de *Eucalyptus* obtiveram resultados de luminosidade fora do intervalo descrito por ambas às cores (rosa e amarelo amarronzado), contudo observou-se que, além dos

demais parâmetros se enquadrarem nos intervalos propostos pelas tonalidades, os valores da variável luminosidade foram próximos.

Para a variabilidade dos dados, nota-se que os resultados atingiram um coeficiente de variação inferior a 9%, exibindo uma homogeneidade nos parâmetros. Este comportamento mostra um diferencial nos materiais, visto que uma grande variabilidade da cor dentro da espécie pode ter menos aceitação no mercado. Por outro lado, segundo Costa et al. (2021), a variabilidade na tonalidade também pode ser uma vantagem, dependendo da prioridade do consumidor.

Ao comparar os resultados, percebe-se que a autora Catein (2019) encontrou as mesmas cores obtidas nos materiais da presente pesquisa, ao analisar a cor da espécie *Cedrela odorata* antes e depois do intemperismo nas condições com e sem *stain*. Antes do intemperismo com e sem a aplicação do acabamento, a madeira atingiu as tonalidades rosa e amarelo amarronzado, respectivamente, conforme obtido também para as madeiras no estudo em questão. Além disso, a cor amarela amarronzada também foi obtida, na condição com *stain* após o material ser submetido ao intemperismo.

Ao estudar a colorimetria da madeira de trinta espécies tropicais, Silva et al. (2017) encontraram a cor amarelo amarronzado para as espécies *Swietenia macrophylla*, *Astronium lecointei* e *Goupia glabra*, seguindo também a classificação desenvolvida por Camargo e Gonzalez (2001). Em relação à tonalidade rosa, Costa et al. (2021), encontraram para a madeira muiracatiara, no estudo de caracterização colorimétrica de pisos de madeiras tropicais amazônicas. Isso mostra que, as madeiras desta pesquisa podem ser atraentes esteticamente, já que uma das características que destacam as madeiras tropicais na indústria madeireira é a tonalidade apresentada por elas.

4.4 Ensaios de simulação de pisos em serviços

4.4.1 Ensaio de carga rolante

Na Tabela 5 encontram-se os resultados médios das depressões geradas nas viagens 10, 25 e 50, com seus respectivos coeficientes de variação.

Tabela 5 - Valores das depressões ocorridas no ensaio de carga rolante em diferentes viagens.

Madeiras	Médias das depressões (mm)		
	10 ^a viagem	25 ^a viagem	50 ^a viagem
<i>Khaya ivorensis</i>	0,427 a A (28%)	0,537 b A (27%)	0,619 b A (27%)
<i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	0,558 a B (15%)	0,697 b B (15%)	0,794 c B (14%)
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	0,431 a A (26%)	0,566 b A (26%)	0,641 b A (26%)

Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem (Tukey $p < 0,05$), entre ciclos dentro de uma única espécie. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem (Tukey $p < 0,05$), entre espécies.

Fonte: A autora (2023).

Nota-se (Tabela 5) que o clone *E. grandis x E. camaldulensis* apresentou resultados médios de depressão superiores que as demais madeiras, em todas as viagens (10^a, 25^a e 50^a). Em contrapartida, o clone *E. grandis x E. urophylla* e a espécie *Khaya ivorensis* (mogno africano) foram inferiores na variável analisada, visto que ambos foram estatisticamente semelhantes, em todas as viagens. Isto mostra que os materiais apresentaram melhor desempenho quando submetidos ao arraste de objetos, ao comparar com *E. grandis x E. camaldulensis*.

Ainda é possível observar, que para todas as madeiras, a profundidade da depressão aumentou gradativamente à medida que as viagens aumentaram. Para os materiais *Khaya ivorensis* (mogno africano) e *E. grandis x E. urophylla*, esse aumento ocorreu de forma significativa até a vigésima viagem, visto que, em ambas as depressões provenientes das viagens 25^a e 50^a foram semelhantes. Por outro lado, o clone *E. grandis x E. camaldulensis* apresentou aumento das depressões até a quinquagésima viagem, já que o material obteve diferença entre as médias das três viagens.

Percebe-se que, o clone *E. grandis x E. camaldulensis* obteve a menor variação dos dados em relação à média (14% a 15%). Em contrapartida, o clone *E. grandis x E. urophylla* e o mogno africano (*Khaya ivorensis*) atingiram uma variabilidade entre 26% a 28%. A alta variação dos resultados pode estar relacionada às medições das leituras

em regiões de cerne e alburno, visto que, foi inevitável realizar o estudo em regiões distintas. Sabe-se que a madeira é um material heterogêneo, e existe diferenças entre a região do cerne e alburno, lenhos juvenil e adulto e em escala microscópica, entre células individuais (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

Em relação ao aumento proporcional da depressão das viagens, ocorreu aumento de 24% (*E. grandis* x *E. urophylla*), 20% (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) e 21% (*Khaya ivorensis*) no intervalo de 10 a 25 viagens. Já para o intervalo de 10 a 50, essa proporção foi ainda maior, sendo 33%, 30% e 31% para as madeiras *E. grandis* x *E. urophylla*, *E. grandis* x *E. camaldulensis* e *Khaya ivorensis* (mogno africano), respectivamente. Por outro lado, os percentuais de variação nos intervalos de 25 a 50 viagens, não ocorreram um aumento como observado anteriormente. Os clones de *Eucalyptus* obtiveram 12% e o mogno africano 13%. Martins (2008) retrata que o comportamento observado entre as viagens 25 e 50 é causado pela compactação que ocorre na madeira após consecutivas viagens da carga rolante, o que confere maior resistência mecânica.

Nota-se que os resultados determinados nas viagens 10, 25 e 50 do presente estudo foram superiores em relação aos valores encontrados na literatura, por Santos Lima e Silva (2010), Costa (2019) e Martins et al. (2013) para madeiras comerciais. Dos resultados obtidos por Padilha et al. (2006), nota-se que os clones de *Eucalyptus urophylla* atingiram uma média na deformação instantânea, após 50ª viagens, de 3 mm, e o material chegou a obter 4,8 mm. Resultados bem superiores ao comparar com os da presente pesquisa.

4.4.2 Ensaio de endentações em pequenas áreas

Os valores médios referentes à profundidade das depressões obtidas no ensaio de endentações de cargas aplicadas em pequenas áreas após 100 viagens, estão representados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados das depressões geradas no ensaio de endentações em pequenas áreas

Madeiras	Depressões (mm)
<i>Khaya ivorensis</i>	0,107 a b (34%)
<i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	0,117 a (30%)
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	0,093 b (38%)

Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem (Tukey; $p < 0,05$).

Fonte: A autora (2023).

A madeira *E. grandis x E. urophylla* apresentou maior resistência dos pisos quando exposta a cargas em pequenas áreas, comportamento obtido devido aos menores valores obtidos nas depressões. Estatisticamente, o mogno africano (*Khaya ivorensis*) também obteve esse comportamento já que ambos foram semelhantes. No entanto, a espécie *Khaya ivorensis* (mogno africano) também foi semelhante com o clone *E. grandis x E. camaldulensis* que obteve pior qualidade a esse tipo de esforço, diferindo do clone *E. grandis x E. urophylla*. Com isso, indica-se o uso da madeira *E. grandis x E. urophylla* em ambientes com maior exposição ao tráfego de pessoas com saltos ou com queda de pequenos objetos.

Observa-se que as madeiras atingiram variabilidade dos dados de depressões em relação à média, na faixa de 30 a 38%. Esse comportamento pode ser explicado pela retirada de amostras de forma aleatória, em que se utilizou o cerne e alburno.

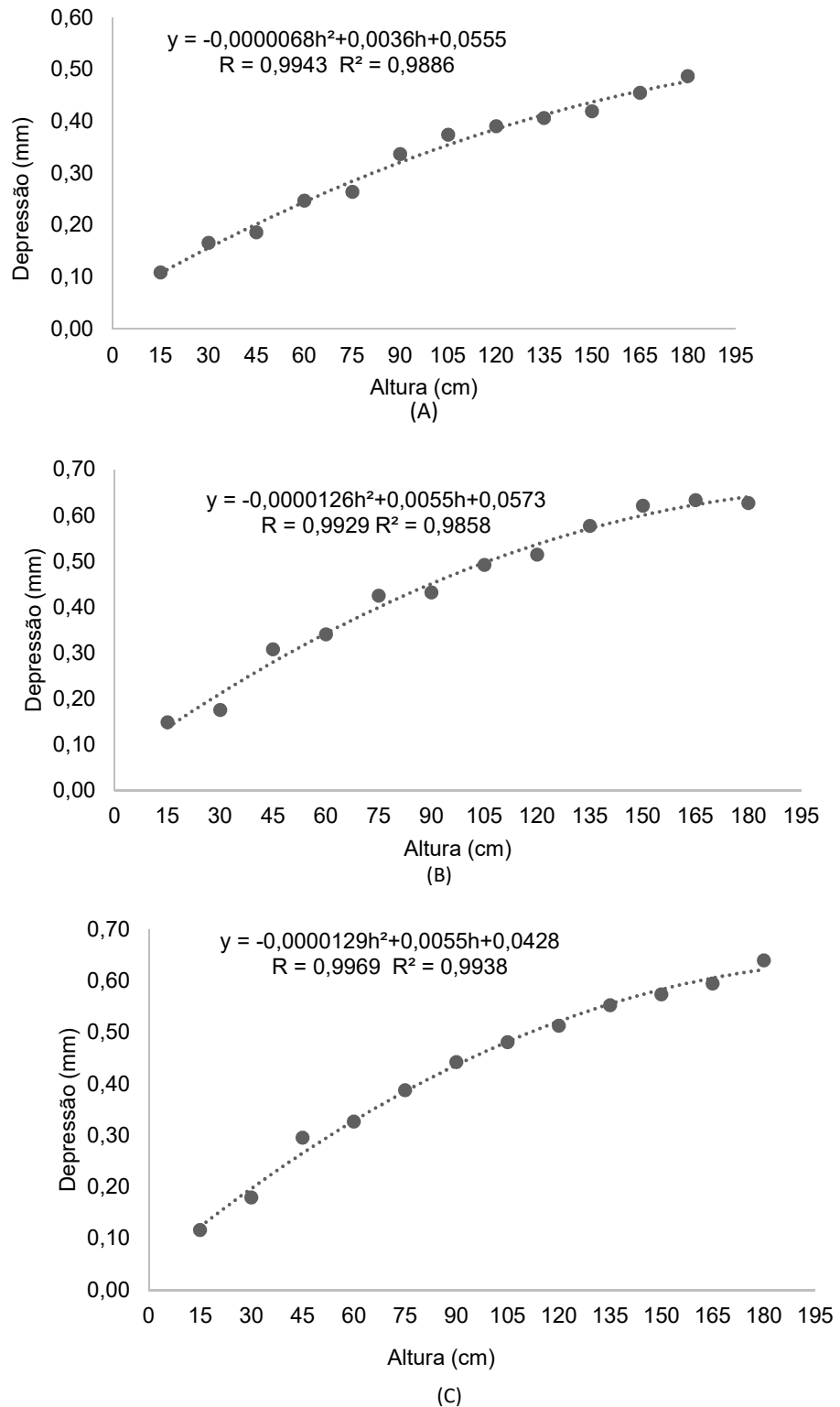
Os valores médios obtidos pelas madeiras *Khaya ivorensis* e *E. grandis x E. camaldulensis* foram bem próximos a 0,111 mm, determinado por Santos, Lima e Silva (2010) para o clone de *Eucalyptus* MN 89. Tal resultado também apresentou uma proximidade com a média (0,11 mm) obtida por Marchesan et al. (2020) para a madeira *Houvenia dulcis* após as 100 viagens. Ainda analisando o comportamento da madeira *Houvenia dulcis* nas 50 viagens, os autores obtiveram uma média geral de 0,08 mm

resultado próximo ao determinado pelo clone *E. grandis* x *E. urophylla* no presente estudo, após as 100 viagens.

Uma endentação de 0,10 para a madeira teca, foi obtida por Flórez-Blanco et al. (2015) exibindo uma proximidade com o resultado determinado pela madeira *Khaya ivorensis* (mogno africano). Em contrapartida, Martins et al. (2013) obtiveram médias de 0,023, 0,043 e 0,050 para as espécies *Eucalyptus cloeziana*, *Corymbia maculata* e *Eucalyptus microcorys*, respectivamente, resultados bem inferiores aos obtidos no presente estudo.

4.4.3 Ensaio de impacto da esfera de aço cadente

A partir da Figura 14 é possível observar o comportamento das depressões geradas para cada madeira estudada, durante o ensaio de impacto da esfera de aço cadente. As equações de regressão foram determinadas para as variáveis depressão e altura, elas estão exibidas na Figura 14, bem como os resultados de correlação (R) e coeficiente de determinação (R²).



D: Depressão (mm); A: Altura (cm).

Figura 14 - Gráficos da relação entre a depressão pela altura de queda da esfera de aço das madeiras (A) *E. grandis* x *E. urophylla*, (B) *E. grandis* x *E. camaldulensis* e (C) *Khaya ivorensis*

Fonte: A autora (2023).

Nota-se na Figura 14, que conforme aumenta a altura para a liberação da esfera de aço, a profundidade da depressão causada pelo impacto na peça também aumenta, exibindo uma relação diretamente proporcional. Isto ocorre para todas as espécies estudadas, sendo notado também por Costa (2019), ao estudar a qualidade de pisos maciços de cinco espécies tropicais.

Os resultados da correlação ficaram entre 0,993 a 0,997, indicando correlação forte. Conseqüentemente, os coeficientes de determinação (R^2) também atingiram um comportamento bom, ficando na faixa de 0,986 a 0,994, resultados superiores aos apresentados por Costa (2019), que obteve resultados entre 0,6343 a 0,9254.

A partir das equações de regressão (Figura 14), obtiveram-se os índices de endentação correspondente para a altura de 180 cm (a maior altura analisada), com os valores de 0,4769 mm, 0,6405 mm e 0,6217 mm para as madeiras *E. grandis x E. urophylla*, *E. grandis x E. camaldulensis* e *Khaya ivorensis*, respectivamente. As madeiras com os menores valores de depressão são as mais resistentes à queda de objeto, sendo assim, a madeira proveniente do clone *E. grandis x E. urophylla* foi o que apresenta maior resistência ao impacto. Com isso, poderá ser indicado à ambientes expostos a esse tipo de esforço.

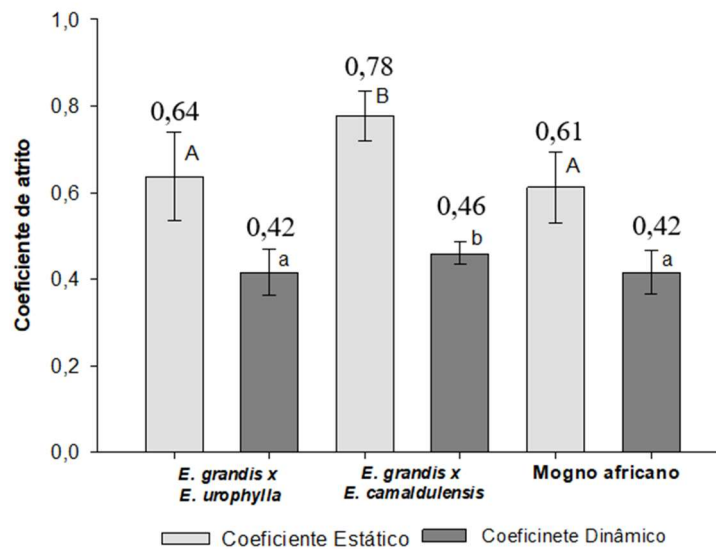
Para o clone *Eucalyptus* VM1 à 180 cm de altura, Padilha et al. (2006) obtiveram depressão de 0,490 mm, resultado bem próximo ao encontrado pelo *E. grandis x E. urophylla*. Os autores ainda obtiveram para o clone RB67 o valor de 0,585, sendo próximo aos obtidos pelas madeiras *E. grandis x E. camaldulensis* e mogno africano (*Khaya ivorensis*).

As depressões obtidas por Martins et al. (2013) ficaram entre 0,206 a 0,265, a qual foram bem inferiores aos obtidos neste estudo. Já para madeiras teca e sucupira preta, na mesma altura, Blanco-Flórez et al. (2015) e Costa (2019), respectivamente, obtiveram índice médio de endentação de 0,50 e 0,468 [mm], nesta ordem, a qual são resultados que apresentaram uma proximidade com o índice de endentação obtida pelo *E. grandis x E. urophylla*. Por outro lado, a autora Costa (2019) obteve corpo de prova para a madeira sucupira preta, com depressões de até 0,70 mm, resultado superior as encontradas no presente estudo.

Assim, as madeiras estudadas podem ser qualificadas como boas para pisos, quando comparadas às madeiras comerciais já utilizadas no setor.

4.4.4 Ensaio de coeficiente de atrito

Na Figura 15 está apresentado o comportamento dos resultados médios para os coeficientes de atrito estático e atrito dinâmico para as três madeiras avaliadas.



Médias com a mesma letra minúscula em cada coeficiente, não diferem (Tukey; $p < 0,05$). Barrinhas representa o desvio padrão dos valores.

Figura 15 - Resultados médios e desvio padrão dos coeficientes de atrito estático e dinâmico para as madeiras *E. grandis x E. urophylla*, *E. grandis x E. camaldulensis* e *Khaya ivorensis*

Fonte: A autora (2023).

A madeira *E. grandis x E. camaldulensis* diferiu das demais, em ambos coeficientes. Além disso, foi a que apresentou valores superiores para os coeficientes de atrito estático e dinâmico, sendo 0,78 e 0,46, respectivamente. Em contrapartida, o mogno africano e o *E. grandis x E. urophylla* foram semelhantes nos dois coeficientes, apresentando resultados de 0,61 e 0,42 (mogno africano) e 0,64 e 0,42 (*E. grandis x E. urophylla*), para as variáveis coeficiente estático e dinâmico. Apesar do clone *E. grandis*

x *E. camaldulensis* apresentar superfície menos escorregadia, causada pelos maiores coeficientes de atrito obtidos, as demais madeiras podem exigir uma menor energia ao deslocar sobre o piso de madeira.

Para a qualidade de pisos maciços de madeiras tropicais, Costa (2019) obteve para as madeiras cumaru, ipê, jatobá e sucupira preta resultados médios do coeficiente estático entre 0,6 a 0,7, a qual foram resultados próximos aos obtidos pelas madeiras *E. grandis* x *E. urophylla* e mogno africano do presente estudo. Para os resultados obtidos por Blanco-Flórez et al. (2015), percebe-se que os valores determinados neste estudo foram superiores ao comparados com os resultados obtidos pela madeira teca sem acabamento, com *stain* e com cera incolor. Para o coeficiente de atrito estático, os autores encontraram resultados que variaram entre os três tratamentos de 0,26 a 0,45, e no coeficiente de atrito dinâmico foi de 0,18 a 0,30.

Resultados inferiores em relação aos obtidos no presente estudo também foram observados por Padilha et al. (2006), tendo atingido uma média geral para os sete clones de *Eucalyptus* estudados de 0,376 no coeficiente de atrito estático e 0,230 para o dinâmico. Martins (2008) também apresentou a faixa de valores para as espécies *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus microcorys* e *Corymbia maculata* inferior ao observado no neste estudo.

Nota-se que as madeiras estudadas no presente estudo exibiram resultados superiores aos encontrados na literatura, em ambos os coeficientes de atrito. Este comportamento mostra que as superfícies das madeiras são menos escorregadias, o que apresenta segurança durante o fluxo de pessoas, podendo evitar quedas. Contudo, podem ocasionar pisos mais pesado, sendo necessário uma maior energia durante o tráfego. Vale destacar ainda que, os resultados foram obtidos nas superfícies apenas com lixamento, mostrando o desempenho da madeira natural.

5 CONCLUSÕES

O clone *E. grandis x E. urophylla* apresentou a madeira de maior densidade. Entretanto, a espécie *E. grandis x E. camaldulensis* também exibiu um bom desempenho para a densidade aparente, visto que foi classificada como madeira semipesada. Levando em consideração a propriedade densidade, os clones de *Eucalyptus* exibiram potencial para pisos que demandam uma maior dureza.

A madeira *Khaya ivorensis* (mogno africano) e o clone *E. grandis x E. urophylla* apresentaram madeiras com a necessidade da aplicação de produtos de acabamentos, na intenção de favorecer os pisos em ambientes com troca de umidade. Por outro lado, a madeira *E. grandis x E. camaldulensis* apresentou potencial para destinações com variações de umidade.

Houve uma tendência de madeiras que obtiveram maiores densidade apresentarem maiores resistências mecânicas, exceto na resistência de compressão normal as fibras, já que a sua predominância foi para o mogno africano (*Khaya ivorensis*). A influência da densidade, e conseqüentemente da dureza, também foram observadas no comportamento dos materiais nos ensaios de simulação de piso em serviços.

A espécie *Khaya ivorensis* (mogno africano) e o clone *E. grandis x E. urophylla*, exibiram melhor desempenho no ensaio de carga rolante, sendo este último apresentando boa eficácia também nos ensaios de impacto da esfera e de endentação em pequenas áreas. Por outro lado, o clone *E. grandis x E. camaldulensis* foi mais seguro que os demais em relação ao escorregamento, tendo maiores coeficientes de atrito estático e dinâmico.

O *E. grandis x E. urophylla* apresentou um bom desempenho na maioria dos ensaios, com exceção dos resultados da instabilidade dimensional e resistência a compressão normal às fibras. Mesmo com uma densidade aparente inferior que as demais madeiras, o mogno africano (*Khaya ivorensis*) teve desempenho exibido em alguns ensaios de pisos, já que obteve resultados semelhantes à de madeiras de maior densidade.

As madeiras foram classificadas com a mesma cor, em ambas as condições avaliadas. Observa-se que com a aplicação do acabamento, as madeiras exibiram uma coloração mais escura. Outro ponto observado foi a baixa variação dos dados em relação à média, o que pode ser bem atraente quando desejável pouca variabilidade na cor da espécie.

Foi notório que as madeiras ensaiadas apresentaram melhor resistência ao escorregamento, em relação a outras já estudadas. Contudo, pode exigir uma maior energia durante o deslocamento sobre os pisos. Com relação aos demais comportamentos nos ensaios de simulação de piso em serviço, recomendam-se a utilização dos materiais em ambientes de tráfego leve, onde as madeiras não sejam expostas a grandes esforços.

Para ampliar as informações sobre as espécies, recomendam-se estudos das madeiras com diferentes aplicações de acabamentos, para avaliar o desempenho das mesmas quando submetidas aos ensaios de simulação de pisos em serviços.

6 REFERÊNCIAS

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *E. urophylla***. 2004. 151 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM. D 2394–05**: Simulated service testing of wood and wood-base finish flooring. Annual Book of ASTM Standards, 2011.

APPIAH-KUBI, E.; KANKAM, C. K.; FRIMPONG-MENSAH, K.; OPUNIFRIMPONG, E. The bending strength and modulus of elasticity properties of plantation-grown *Khaya ivorensis* (*African mahogany*) from Ghana. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 13, n. 1, p. 48-54, 2016. DOI: 10.1007/ s13196-016-0165-7.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Estudo setorial ano base 2018**. Curitiba: 2019, 161 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190-3**: projetos de estruturas de madeira. Parte 3: métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro: 2022. 42 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA - ANPM. **Auditoria em certificação da qualidade para pisos de madeira**. Piracicaba: ANPM, 2014, 30 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA - ANPM. **Guia básico para instalação de pisos de madeira**. Piracicaba: ANPM, 2015, 106 p.

BLANCO-FLÓREZ, J. **Comportamento em serviço da madeira jovem de *Tectona grandis* L. f com diferentes acabamentos para uso em ambiente externo**. 2016. 109 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

BLANCO-FLÓREZ, J. SILVA, J. R. M.; BRAGA, P. P. C.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Simulação em serviço de pisos de madeira jovem de *Tectona grandis*. **Revista Matéria**, v. 20, n. 04, p. 1048-1060, 2015.

BORZI, R. F. G. **Colorimetria e molhabilidade em piso engenheirado**. 2014, 42 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Curitiba, PR. 2014.

BRANDT, A. **Avaliação da abrasão de pisos residenciais por meio de abrasímetro com plataforma rotativa**. 2019, 22 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2019.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A. Colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, nº 71, set. 2001.

CARVALHO, A. M.; GONÇALVES, M. P. M.; AMPARADO, K. F.; LATORRACA, J. V. F.; GARCIA, R. A. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 323-331. 2010.

CARVALHO, A. M.; SILVA, B. T. B.; LATORRACA, J. V. F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Cerne**, v. 16, Suplemento, p. 106-114, 2010.

CATEIN, F. A. **Caracterização da madeira de *Cedrela odorata* destinada a fabricação de ofurô**. 65 f. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.

CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONALE EM RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT (CIRAD). **Acajou D’Afrique**. 2012. Disponível em: <<https://tropix.cirad.fr/FichiersComplementaires/EN/Africa/ACAJOU%20D%20AFRIQUE.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2022.

CONDE, R. A. R. **Controle silvicultural e mecânico da broca do mogno *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1948) (Lepdoptera; Pyralidae) em sistema agroflorestal**. 2006. 190 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A. **A estrutura anatômica da madeira e princípios para a sua identificação**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Laboratório de Produtos Florestais, 2002. 28 p.

COSTA, A. C. S. **Qualidade de pisos maciços de madeiras tropicais**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.

COSTA, A. C. S.; PEREIRA, B. L. C.; SILVA, M. F. A.; LENGOWSKI, E. C.; OLIVEIRA, A. C. Caracterização colorimétrica de pisos de madeiras tropicais amazônicas. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 3, p. 1511-1518, 2021.

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

FARIA, W. S.; RESENDE, D. R.; GUIMARÃES, I. L.; PROTÁSIO, T. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira

de *Eucalyptus camaldulensis* tratado e não tratado com preservativo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 287-293, 2015.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus in Brazil: climatic zoning and identification guide***. Piracicaba: IPEF, 2018, p. 448.

FRANÇA, T. S. F. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; BARAÚNA, E. E. P. Características anatômicas e propriedades física-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno africano. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 633-640, 2015.

FREITAS, D. L.; CARVALHO, D. E.; BELTRAME, R.; SANTOS, G. A.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Estabilidade dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 4, p. 435-439, 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual de 2021**. Brasília: IBÁ, 2022, 96 p. Dispon[ível em: <www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 07 set. 2022.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3130: Wood determination of moisture content for physical and mechanical tests**. Switzerland, 1975.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). **Programa de assistência técnica e extensão rural (PROATER) 2020-2023: Venda Nova do Imigrante**. 2020. 54 p. Disponível em:<https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Venda_Nova.pdf>. Acesso em: 07 set. 2022.

JOHANSSON, D. **Heat treatment of solid wood – Effects on absorption, strength, and colour**. 2008. 142 f. Ph.D Dissertation (Divisions of Wood Physics) - Lulea University of Technology, Sweden, 2008.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. v.1.

LATORRACA, J. V. F. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LIMA, A. C. B. **Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2019. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.

LEMMENS, R. H. M. J. *Khaya ivorensis*. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A. A.; BRINK, M. (Ed.). **Plant resources of tropical Africa**. Wageningen: PROTA Foundation, 2008. Disponível em:< <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=-nw-mZQ0kcEC&oi=fnd&pg=PA6&dq=+Plant+resources+of+tropical+Africa.+Khaya+iv>

orensis&ots=NRmlrQenXH&sig=-

FcN6Vv4BNJhFMV6CROBnAerSlA#v=onepage&q=Plant%20resources%20of%20tropical%20Africa.%20Khaya%20ivorensis&f=false>. Acesso em: 08 julho 2023.

MARCHESAN, R.; FRANÇA, M. C.; LOIOLA, P. L.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J.; SILVA, J. R. M. Caracterização da madeira de *Hovenia dulcis* para a fabricação de pisos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 40, e201901905, p. 1-7, 2020.

MARCHESAN, R.; KASPRZAK, L. F. F.; SCHIRIGATTI, E. L.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Produção de lamelas em serra de fita horizontal múltipla para fabricação de piso engenheirado de madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 124-134, 2013.

MARTINS, M. **Ensaio de simulação de uso em pisos de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Corymbia maculata* Hook.** 2008. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MARTINS, M. F.; BELTRAME, R.; DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; SANTOS, G. A. Colorimetria como ferramenta de agrupamento de madeira de clones de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 443-449, 2015.

MARTINS, M. SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; GONÇALVES, M. T. T.; PETUSK FILIPE, A. Simulação em uso dos pisos de madeira de *Eucalyptus* sp e *Corymbia maculata*. **Cerne**, v. 19, n. 1, p. 151-156, 2013.

MEDEIROS, B. L. M. A.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; RIBEIRO, M. X.; LISBOA, F. J. N.; GUIMARÃES, I. L.; PROTÁSIO, T. P. Avaliação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* cultivadas no Piauí. **Nativa**, v. 4, n. 6, p. 403-407, 2016.

MORI, C. L. S. O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONÇALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

MUNIZ, C. O. **Desenvolvimento inicial do mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) submetido a diferentes saturações por bases e níveis de nitrogênio. Fósforo e Potássio.** 2015. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

NENNEWITZ, I.; NUTSCH, W.; PESCHEL, P.; SEIFERT, G. **Manual de tecnologia da madeira.** São Paulo: Blucher, 2008. 354 p.

NERI JOSINO, M. **Relação da resistência com a umidade e com a densidade da madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla*.** 2014. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore** v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

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

OLIVEIRA, M. B. **Avaliação da qualidade de pisos comerciais confeccionados com madeiras de *Bowdichia nitida* Benth (Spr.), *Dipterxy odorata* (Aubl.) Willd, *Mimosa scabrella* Benth e *Tabebuia impetiginosa***. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2016.

PADILHA, C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; ANDRADE, H. B. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 141-147, 2006.

PAES, J. B.; OLIVEIRA, A. K. F.; LEAL, A. F.; NASCIMENTO, J. W. B. Caracterização e aspecto de um piso confeccionado com bambu (*Dendrocalamus giganteus* MUNRO). **Ciência da Madeira**, v. 01, n. 01, p. 52-67, 2010.

PELOZZI, M. M. A.; SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; RODRIGUES, P. L. M. Propriedades físicas dos lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliotti* Engelm var. e de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 305-313, 2012.

PEREIRA, J. M. S.; SATLER, G. M.; LIMA, J. S. S.; SEGUNDINHO, P. G. A. Avaliação de propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus urograndis* secos. **Revista Univap on-line**, v. 22, n. 40, 2016.

PINHEIRO, A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. C. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (*Khaya* spp.)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; OLIVEIRA, E. B. Usos, importância econômica e perspectivas de mercado. In: EVANGELISTA, A. W. P. *et al.* **Mogno-africano (*Khaya* spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 50-73.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; SCOLFORO, J. R. S. O cultivo do mogno africano (*Khaya* spp.) e o crescimento da atividade no Brasil. **Floresta e Ambiente**, 2017; 24: e00076814. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.076814>.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camadulensis* para energia**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SALLENAVE, P. **Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux de l'union française**. Centre Technique Forestier Tropical, France. 1955, 128p.

SANTOS, A. R. C. S.; LIMA, J. D.; VIEIRA, A. C. S.; SÁ, V. A.; ROSADO, A. M. Influência da idade na densidade básica da madeira de *Eucalyptus* sp de plantios clonais e sementes. **IV Congresso Brasileiro de eucalipto**, Salvador, 2019.

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**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 473-478, 2010.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Densidade básica da madeira de eucalipto. **Embrapa Meio Ambiente**, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172480/1/RA-ScanavacaJrL-X-SCPG-Cena-2017-poster.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2022.

SERENINE JUNIOR, L.; MELO, R. R.; CASTRO, V. G.; SOUZA, M. J. C. BATISTA, F. G. Qualidade da madeira juvenil de um híbrido clonal (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* – H13). **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 523-527, 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Boletim sistema nacional de informações florestais (SNIF) 2020**. Brasília: 2019, 66 p.

SHIGUE, E. K. **Difusão da construção em madeira no Brasil: Agentes, ações e produtos**. 2018, 250 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, São Carlos, 2018.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SILVA, E. S. S.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; PARIZ, E. 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, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JÚNIOR, S.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SILVA J. G. M.; VIDAURRE, G. B. Propriedades da madeira do mogno-africano (*Khaya* spp.). In: EVANGELISTA, A. W. P. *et al.* **Mogno-africano (*Khaya* spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 287-362.

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

- SILVA, L. V. M. S. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A.Chev.)**. 2013. 27 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.
- SILVA, L. L. H.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L. PIMENTA, M. C.; DANTAS, M. K. L. Características dendrométricas, físicas e químicas da *Myracrodruon urundeuva* e da *Leucaena leucocephala*. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017, e20160022.
- SILVA, R. A. F.; SETTER, C.; MAZETTE, S. S.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Colorimetria da madeira de trinta espécies tropicais. **Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p. 36-41, 2017.
- STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F.; GONÇALEZ, J. C.; PASTORE, T. C. M.; GARLET, A. Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 4, p. 429-438, 2013.
- STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; ALBINO, J. C.; MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 14, p. 28-38, 1987.
- TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G.; SANTINI, E. J.; GORSKI, L.; BALDIN, T.; VALCORTE, G. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de clones de eucalipto. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 4, p. 434-442, 2018.
- TORRES, P. M. A.; PAES, J. B.; NASCIMENTO, J. W. B.; BRITO, F. M. S. Caracterização físico-mecânica da madeira jovem de *Eucalyptus camaldulensis* para aplicação na arquitetura rural. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 109-117, 2016.
- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v.2, n.1, p.97-111, 1996.
- VALVERDE, S. R.; ISBAEX, C.; AMARAL, D. H.; RIBEIRO, G. B. D. Cultura e aspectos socioeconômicos do eucalipto. In: RESENDE, R. T.; BORÉM, A.; LEITE, H. G. **Eucalipto: do plantio à colheita**. São Paulo: Oficina de Textos, 2022, p. 19-36.
- VETTER, R. E. Colorimetria aplicada em pesquisa de madeira. **Acta Amozônica**, v. 18, n. 1-2, p. 179-1888, 1988.
- XAVIER, C. N.; NASCIMENTO, A. M.; JUNIOR COELHO, M. G. Módulo de elasticidade da madeira de *Khaya ivorensis* A. Chev. em função de diferentes planos de corte da seção transversal. In: II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, 2015, Belo Horizonte-MG. **Anais...** Belo Horizonte: II CBCTEM, 2015.

APÊNDICES

Apêndice A – Resultados obtidos nos ensaios com as madeiras

Ensaio		<i>Khaya ivorensis</i>	<i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	<i>E. grandis x E. urophylla</i>
Densidade Básica	kg.m ⁻³	508,58 (3,42%)	529,21 (10,8%)	678,20 (1,9%)
Densidade Aparente a 12%	kg.m ⁻³	603,66 (3,38%)	722,26 (9,0%)	871,90 (2,1%)
Coef. Inchamento longitudinal	%	0,59 (22,0%)	0,54 (42,7%)	0,62 (37,6%)
Coef. Inchamento tangencial	%	6,19 (19,6%)	13,75 (9,7%)	19,49 (20,4%)
Coef. Inchamento radial	%	3,31 (19,3%)	10,70 (8,6%)	10,12 (17,3%)
Coef. Retração longitudinal	%	0,59 (21,9%)	0,54 (42,4%)	0,62 (37,4%)
Coef. Retração tangencial	%	5,81 (18,5%)	12,08 (8,5%)	16,22 (17,5%)
Coef. Retração radial	%	3,21 (18,6%)	9,66 (7,8%)	9,17 (16,0%)
Variação volumétrica		9,36 (15,6%)	21,00 (5,9%)	24,45 (14,2%)
Fator anisotrópico		1,83 (14,9%)	1,26 (10,3%)	1,79 (14,6%)
Módulo de Ruptura	MPa	70,50 (11,5%)	109,34 (9,1%)	136,90 (20,2%)
Módulo de Elasticidade	MPa	7100 (10,3%)	12696 (8,9%)	16430 (11,1%)
Resistência à compressão normal às fibras	MPa	14,57 (23,5%)	11,14 (12,6%)	10,76 (7,6%)
Dureza Janka na direção normal às fibras	MPa	27,71 (15,1%)	31,41 (17,3%)	53,49 (5,4%)
Carga rolante - depressões 10 ciclos	mm	0,43 (28%)	0,56 (15%)	0,43 (26%)
(Continuação)				

(Continuação)				
Carga rolante - depressões 25 ciclos	mm	0,54 (27%)	0,70 (15%)	0,57 (26%)
Carga rolante - depressões 50 ciclos	mm	0,62 (27%)	0,79 (14%)	0,64 (26%)
Endentação - depressão	mm	0,11 (34%)	0,12 (30%)	0,09 (38%)
Coefficiente Estático		0,61 (13%)	0,78 (8%)	0,64 (16%)
Coefficiente Dinâmico		0,42 (12%)	0,46 (6%)	0,42 (13%)
Índice de endentação (180 cm)	mm	0,6217	0,6417	0,4769

Fonte: A autora (2023).

Legenda de cores			
Resultado destaque	Resultado inferior	Semelhante a ambas espécies estatisticamente	Resultado intermediário

Nota: nos ensaios onde duas espécies apresentaram a mesma cor, as duas foram estatisticamente semelhantes.