**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Utilização de imagens para a determinação automatizada da
qualidade de colagem em painéis compensados**

Caio Cesar Faedo de Almeida

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção
em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2021**

Caio Cesar Faedo de Almeida
Engenheiro Florestal

**Utilização de imagens para a determinação automatizada da qualidade de
colagem em painéis compensados**

Orientador:
Prof. Dr. **GERALDO BORTOLETTO JÚNIOR**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção
em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Almeida, Caio Cesar Faedo de

Utilização de imagens para a determinação automatizada da qualidade de colagem em painéis compensados / Caio Cesar Faedo de Almeida. - - Piracicaba, 2021.

127 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Painéis de Madeira 2. Visão computacional 3. CNN 4. *Pinus kesiya* 5. *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* I. Título

RESUMO

Utilização de imagens para a determinação automatizada da qualidade de colagem em painéis compensados

A utilização industrial de espécies florestais de rápido crescimento podem apresentar características muito diferentes daquelas verificadas em materiais convencionais e sua utilização obriga a realização de ajustes dos processos industriais para o atendimento dos padrões de qualidade requisitados pelo mercado consumidor. Neste contexto, a indústria brasileira de painéis compensados demonstra dificuldade em participar dos mercados mais exigentes por não atender aos padrões de qualidade de colagem e isso se deve à elevada subjetividade da atividade e pela falta de padrões referenciais que efetivamente auxiliem a avaliação dos produtos. Por isso, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver uma metodologia automatizada para a avaliação visual da qualidade de colagem de painéis compensados que apresente acurácia igual ou superior à classificação manual. No presente trabalho foram produzidos painéis compensados de cinco lâminas com o objetivo de verificar a influência dos fatores: espécie (*Pinus kesiya* e um híbrido de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*) e da gramatura (400 e 350 g/m²) dos adesivos fenol-formaldeído (FF) e ureia-formaldeído (UF) sobre a qualidade dos painéis. Foram avaliadas as propriedades mecânicas de flexão estática nas direções perpendicular e paralela, com a obtenção dos módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE). A qualidade de colagem foi determinada pelo ensaio de cisalhamento na linha de cola, foram obtidos os valores de tensão (Tmax) e do percentual de falha na madeira (WF%). O experimento que utilizou FF verificou que para o MOR não houve diferença estatística entre os painéis avaliados independente da direção de ensaio, enquanto para o MOE os resultados superiores foram observados para tratamentos compostos pelo híbrido de *Eucalyptus* nas duas direções avaliadas. No entanto, para a qualidade de colagem, os tratamentos com a espécie *P. kesiya* apresentaram maior Tmax e WF%. Para os painéis UF, os tratamentos que utilizaram a espécie *Eucalyptus* demonstraram melhor desempenho na maioria das avaliações. Para a flexão estática a gramatura não apresentou influência significativa e apenas em MOR perpendicular não foi verificado diferença estatística entre os tratamentos. Para a qualidade de colagem na condição seca não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos para Tmax, contudo, na condição úmida os tratamentos de *Eucalyptus* foram superiores. Para WF% em ambas as condições de ensaio os melhores resultados foram observados nos painéis de *Eucalyptus* e o pior resultado foi verificado no tratamento de *P. kesiya* com gramatura 350. As informações de WF% dos painéis produzidos foram utilizados para criar um banco de imagens dos corpos de prova de cisalhamento na linha de cola (n= 4700), para o treinamento e avaliação de cinco modelos de redes neurais convolucionais (CNN) com objetivo de identificar corretamente o WF% das amostras. Inicialmente foi utilizada a transferência de conhecimento em 25% do banco de imagens para o desenvolvimento dos modelos para as cinco de classes de WF% com amplitude de 20% (C1= 0-20; C2= 21-40; C3= 41-60; C4= 61-80; C5 = 80-100 de WF%). Os modelos produzidos consideravam os fatores de produção, sendo dois modelos para os adesivos (FF e UF), dois modelos para espécie (*Pinus* e *Eucalyptus*) e um modelo Generalista. Todos os modelos utilizaram 75% das imagens restantes para o treinamento e 25% para validação dos modelos e os resultados obtidos

demonstraram o bom desempenho de classificação dos modelos. A maior acurácia foi verificada para o modelo FF (94,96%) seguido por Generalista (94,36%), *Pinus* (92,46%), *Eucalyptus* (91,84%) e UF (60,90%). Os modelos apresentaram maior dificuldade de classificação das imagens pertencentes às classes intermediárias (C2, C3 e C4), enquanto as classes extremas (C1 e C5) apresentaram menores taxas de erro durante o treinamento e validação, com exceção do modelo UF, que não foi capaz de identificar a classe C1. Foi verificado que o desbalanço do número de amostras entre as classes foi um dificultador para os modelos, em especial para o UF, que contava com um número menor de amostras e isso refletiu em seu desempenho. Para trabalhos futuros se recomenda a aplicação de técnicas computacionais de uniformização do banco de imagens para reduzir estas limitações e obter modelos mais acurados. A aplicação de CNNs para a identificação e classificação da qualidade de colagem de painéis compensados se mostrou viável para o desenvolvimento de sistemas automatizados de classificação visual, contudo, ainda são necessários mais estudos para possibilitar a aplicação em escala industrial.

Palavras-chave: Painéis de madeira, *Pinus kesiya*, *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*, Fenol-formaldeído, Ureia-formaldeído, Visão computacional, CNN

ABSTRACT

Image utilization to plywood panels automated bonding quality analysis

The industrial use of fast-growing forest species can present characteristics that are very different from those seen in conventional materials, and their use requires adjustments to industrial processes to meet the quality standards required by the consumer market. In this context, the Brazilian plywood industry shows difficulty in participating in the most demanding markets for not meeting the quality standards of gluing and this is due to the high subjectivity of the activity and the lack of referential standards that effectively assist in the evaluation of products. Therefore, this study aimed to develop an automated methodology for visual assessment of the quality of bonding of plywood panels that has an accuracy equal to or greater than manual classification. In the present work, plywood panels with five veneers were produced to verify the influence of factors: species (*Pinus kesiya* and a hybrid of *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*) and grammage (400 and 350 g/m²) of the phenol-formaldehyde (FF) and urea-formaldehyde (UF) adhesives on the panels quality. The mechanical properties of static bending in the perpendicular and parallel directions were evaluated, obtaining the modulus of rupture (MOR) and elasticity (MOE). The bonding quality was determined by the glue-line shear test, the values of tension (Tmax), and the percentage of wood failure (WF%) were obtained. The experiment that used FF verified that for the MOR there was no statistical difference between the evaluated panels regardless of the test direction, while for the MOE the superior results were observed for treatments composed by the hybrid of *Eucalyptus* in the two evaluated directions. However, for bonding quality, treatments with the species *P. kesiya* had higher Tmax and WF%. For the UF panels, the treatments that used the *Eucalyptus* species showed better performance in most evaluations. For static bending, the grammage did not have a significant influence, and only in perpendicular MOR, there was no statistical difference between treatments. For the bonding quality in the dry condition, no statistical difference was observed between the treatments for Tmax, however, in the wet condition, the *Eucalyptus* treatments were superior. For WF% in both test conditions, the best results were observed in *Eucalyptus* panels and the worst result was verified in the treatment of *P. kesiya* with the grammage 350. The WF% information of the produced panels was used to create an image bank of the glue-line shear specimens (n= 4700), for the training and evaluation of five models of convolutional neural networks (CNN) to correctly identify the WF% of the samples. Initially, knowledge transfer was used in 25% of the image bank to develop models for the five WF% classes with a 20% amplitude (C1= 0-20; C2= 21-40; C3= 41-60; C4= 61-80; C5 = 80-100 of WF%). The produced models considered the production factors: two models for adhesives (FF and UF), two models for species (*Pinus* and *Eucalyptus*), and a Generalist model. All models used 75% of the remaining images for training and 25% for model validation, and the results obtained demonstrated the good classification performance of the models. The highest accuracy was verified for the FF model (94.96%) followed by Generalist (94.36%), *Pinus* (92.46%), *Eucalyptus* (91.84%), and UF (60.90%). The models had greater difficulty in classifying images belonging to the intermediate classes (C2, C3, and C4), while the extreme classes (C1 and C5) had lower error rates during training and validation, except for the UF model,

which was not able to identify class C1. It was verified that the unbalance in the number of samples between the classes was a complicating factor for the models, especially for the UF, which had a smaller number of samples and this reflected in its performance. For future work, it is recommended the application of computational techniques to standardize the image bank to reduce these limitations and obtain more accurate models. The application of CNNs to identify and classify the quality of bonding of plywood panels proved to be viable for the development of automated visual classification systems, however, further studies are needed to enable their application on an industrial scale.

Keywords: Wood-panels, *Pinus kesiya*, *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*, Phenol-formaldehyde, Urea-formaldehyde, Computer vision, CNN

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o setor de base florestal brasileiro apresentou um aumento na demanda por madeira, causado principalmente por estímulos governamentais, que alavancou o crescimento do consumo e beneficiou as indústrias de painéis de madeira (ABRAF, 2012; ABIMCI, 2009). Segundo IBÁ (2020) ainda por influência dos estímulos passados, houve o crescimento anual de 2,4% na área total de árvores plantadas no Brasil em 2019, com o total de 9 milhões de hectares. Aumento esse devido, exclusivamente, ao cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus*, que ocupa 6,97 milhões de hectares da área de árvores plantadas do País, enquanto que, os plantios de *Pinus* ocupam 1,64 milhões de hectares (IBÁ, 2020). O aumento das áreas de plantio oportuniza a disponibilidade de diversas espécies para novos usos para atender o mercado consumidor, no qual, o setor de transformação mecânica da madeira e, principalmente a indústria de painéis, se beneficiou desta diversificação (ABIMCI, 2009).

Painéis de madeira são estruturas fabricadas com madeiras em peças, lâminas ou diferentes estágios de desagregação que, aglutinadas pela ação de pressão, temperatura e resinas, são novamente agregadas (IWAKIRI, 2005). Os painéis de madeira podem ser divididos em dois tipos: os painéis de madeira reconstituída e painéis de madeira processada mecanicamente (BNDES, 2012). Os principais tipos de painéis de madeira reconstituída são o *medium density particleboard* (MDP) e *medium density fiberboard* (MDF), enquanto os painéis de madeira processada mecanicamente são formados por camadas de lâminas ou sarrafos de madeira maciça e são representados principalmente pelos painéis compensados e painéis colados lateralmente para a utilização na indústria de móveis e construção civil (BNDES, 2008).

O painel compensado tem o princípio construtivo baseado na utilização de lâminas de madeira dispostas em sentidos paralelo e perpendicular ao plano do painel, unidas entre si pela linha de cola, que tem como finalidade, restringir e balancear o comportamento físico-mecânico das lâminas das camadas adjacentes (IWAKIRI *et al.* 2012). Produzido principalmente com madeira de *Pinus* spp., folhosas tropicais e, *Eucalyptus* spp. os painéis compensados apresentam de 3 a 5 lâminas para uso não-estrutural e de 5 a 11 lâminas para uso estrutural (NBR 12466, 2012; IWAKIRI *et al.*, 2002; IWAKIRI *et al.*, 2012). Entre os adesivos mais utilizados pela

indústria, se destacam o fenol-formaldeído e melamina-formaldeído em usos externos, enquanto para uso interno, o adesivo ureia-formaldeído é mais comum (MENDES *et al.*, 2012).

Entretanto, é necessária a atenção quanto ao tipo de adesivo utilizado e sua interação com a madeira, pois os parâmetros relacionados às características da madeira, muitas vezes não podem ser alterados devido à sua origem biológica (ALMEIDA, 2013; REIS *et al.*, 1982). Decorrente destas limitações, várias formas foram desenvolvidas para determinar a qualidade de colagem de painéis compensados. Entre os testes, se destacam aqueles que aplicam forças perpendicularmente aos painéis como no ensaio de flexão estática (ABNT NBR, 2011) e, de forma mais direta, sobre as linhas de cola são aplicadas tensões cisalhantes sobre as mesmas, as quais, pelo resultado da tensão de ruptura e o percentual de falha coesiva, permitem avaliar se o processo de produção foi adequado (ABNT NBR, 2012). Contudo, Abrahão *et al.* (2003) descrevem que além da subjetividade, o processo tende a ser moroso, sendo necessária a adoção de sistemas de automatização laboratorial.

1.1. Produtos colados de madeira compensada

A madeira como material de construção oferece vantagens que superam outros materiais tradicionais como aço, concreto e alvenaria em diversos aspectos. Entre as potencialidades da madeira, destacam-se o baixo peso em relação a alta resistência, pouco consumo energético para processamento e a capacidade para suportar sobrecargas de curta duração (CUNHA e MATOS, 2010). Além destas vantagens, a madeira ainda pode ser utilizada em variados produtos após processamento e combinação com outros materiais. A colagem de peças de madeira sólida permite a produção de painéis colados lateralmente (EGP) e vigas de madeira laminada colada para a indústria moveleira e construção civil (IWAKIRI *et al.* 2013). Além do uso da madeira sólida, aplicar processos de desagregação da madeira para a obtenção de lâminas, partículas ou fibras permite um elevado aproveitamento do material, possibilita a criação de produtos de grandes dimensões e elevada estabilidade dimensional.

Dentre os painéis de madeira, o compensado é o painel mais antigo já produzido em escala comercial. O desenvolvimento da produção de lâminas de

madeira ocorreu inicialmente nos Estados Unidos e na Europa no final do século XIX e foi a base para o surgimento da indústria de painéis de madeira (OLIVEIRA, 1988; ALBUQUERQUE, 1999; TOMASELLI, 1999). No Brasil, as indústrias de compensado foram instaladas inicialmente por volta da década de 1940 na região sul do País, com base nas florestas naturais de *Araucaria* (ABIMCI, 2011). A partir da década de 1990, em consequência da pressão ambiental cada vez maior sobre a exploração de florestas naturais e a maturação das florestas plantadas de *Pinus* na Região Sul do País, as indústrias começaram a utilizar essa espécie como opção para suprimento da crescente demanda por madeira (IWAKIRI *et al.*, 2006).

Os painéis compensados podem ser produzidos como de uso geral, industrial, decorativo e estrutural/naval em função do tipo de adesivo e lâminas utilizadas na sua composição (IWAKIRI *et al.*, 2000). O compensado é um painel de madeira formado por um conjunto de lâminas sobrepostas, e cada camada apresenta o eixo das fibras disposto ortogonalmente entre as camadas adjacentes (KOLLMANN *et al.*, 1975; TSOUNIS, 1991; IWAKIRI, 2005). O direcionamento ortogonal de uma lâmina em relação a outra adjacente, restringe a movimentação tangencial das camadas e resulta em valores de retratibilidade similares nas duas direções do plano do painel, conferindo aos compensados excelente estabilidade dimensional. Além disso, o direcionamento cruzado das fibras também proporciona a uniformidade das propriedades mecânicas nas duas direções do plano da chapa (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004).

A laminação cruzada do compensado resulta em propriedades físicas e mecânicas mais desejáveis nas solicitações biaxiais, como é o caso de vigas de viga e de painéis de contraventamento, com maior resistência na direção paralela às fibras do que na direção perpendicular. E em comparação com a madeira maciça, as fibras cruzadas do compensado aumentam significativamente a resistência e a rigidez na direção normal às fibras (DIAS *et al.*, 2003). Em virtude de possuir diversas características favoráveis, o compensado encontra utilizações bastante variadas na construção civil, para aplicações estruturais ou não (pisos, forros, paredes, esquadrias, portas, telhados, andaimes, formas de concreto etc.), na construção de barcos e na fabricação de móveis (partes estruturais e decorativas), instrumentos musicais, embalagens industriais, caixas e outros (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004).

Espécies como *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.* apresentam grande potencial para suprir esta demanda, em função das boas características da sua madeira, por serem espécies de rápido crescimento e também devido à disponibilidade de grandes áreas plantadas no Brasil (IWAKIRI *et al.*, 2000). No sentido de viabilizar o uso de espécies de rápido crescimento provenientes de plantios florestais manejados Iwakiri *et al.* (2002), citam que espécies de rápido crescimento do gênero *Eucalyptus* produzem madeira de média densidade, ao contrário do que ocorre com espécies do gênero *Pinus*. Essa característica mostra-se uma vantagem técnica significativa na fabricação de painéis compensados para fins estruturais. Confirmado em estudo com painéis compensados estruturais com diferentes composições de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*, demonstraram que a disposição de lâminas de *E. saligna*, com maior densidade nas capas dos compensados aumentou significativamente as propriedades de flexão estática (IWAKIRI *et al.*, 2012b), demonstrando o bom potencial para o uso destas espécies na produção de painéis compensados.

1.2. Principais espécies

1.2.1. Gênero *Pinus*

O gênero *Pinus* apresenta cerca de 105 espécies identificadas que são fisiologicamente resistentes à seca, muito exigentes com luz (suportando sombreamento apenas na fase jovem). Quanto à temperatura, suportam temperaturas de -65 °C até 50 °C. Apresentam diferentes exigências quanto à fertilidade, textura e profundidade do solo. Devido à sua grande versatilidade, possibilitando o plantio em diferentes condições de ambiente (MARCHIORI, 2005), as espécies de *Pinus* vêm sendo introduzidas no Brasil há mais de um século para várias finalidades. Muitas delas foram trazidas pelos imigrantes europeus para fins ornamentais e para produção de madeira. As primeiras introduções de que se tem notícia fora de *Pinus canariensis*, provenientes das Ilhas Canárias, e ocorreram no Rio Grande do Sul, em torno de 1880 (MARIN, 2006).

O início da atividade de reflorestamento em grande escala no Brasil deu-se após o evento dos incentivos fiscais em 1966. Na região Sul do País, a opção foi para o gênero *Pinus*, com duas espécies principais: *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda*, com o objetivo de criar uma base florestal em substituição ao Pinheiro-do-Paraná

(*Araucaria angustifolia*), intensamente explorado e com suas reservas naturais comprometidas, para dar suporte ao programa de desenvolvimento do setor de celulose e papel na produção de polpa de fibra longa (KLOCK, 2000). Pelas características de rápido crescimento, intensa reprodução e facilidade de aplicação de práticas silviculturais e manejo, o *P. taeda* é a espécie mais importante dentre as espécies florestais plantadas comercialmente no Sul e Sudeste do Brasil. Entre as espécies do gênero, é mais plantada no Brasil, com cerca de 1 milhão de hectares e os plantios se concentram nos planaltos da região sul, bem como as partes mais chuvosas dos estados de São Paulo e Minas Gerais (PRATA, 2010). A espécie é mais utilizada para serraria e indústria de celulose e papel e também pode ser utilizada para extração de resina, contudo, essa não possui alta qualidade e quantidade como a produzida por *P. elliottii*. (TRIANOSKI *et al.* 2013).

A madeira das espécies do gênero *Pinus* plantados no Brasil apresentam de maneira geral, cor amarelo-clara à amarelo-alaranjado, cheiro característico de resina, grã reta, brilho moderado, textura média a grossa e anéis de crescimento distintos. Baixa massa específica, entre 0,35 e 0,55 g/cm³, baixa instabilidade dimensional, fácil secagem e boa trabalhabilidade (TRIANOSKI *et al.* 2013).

1.2.1.1. *Pinus kesiya* Royle ex Gordon

A espécie tem ocorrência natural nas montanhas dos estados indianos Khani, a oeste e sul da grande curva do rio Brahmaputra, passando pelas montanhas Naga de Assam e mais ao longe, pelo Sudeste em Sikang e Yunnan. Ocorre também, nas regiões nordeste da Tailândia e Laos em locais com altitude de 1200 a 1400 m (SOUZA, 2009). Dentro do gênero *Pinus*, a espécie pertence filogeneticamente à seção e subseção *Pinus*. Este grupo tem distribuição natural na Eurásia, Mediterrâneo, América do Norte e Cuba, sendo *P. kesiya* geneticamente mais próxima das espécies *P. yunnanensis* e *P. densata*. A planta apresenta de duas a três acículas por fascículo e as árvores podem atingir 30 m de altura e diâmetro a altura do peito (DAP) de 120 cm. A espécie apresenta casca marrom-acinzentada com profundos sulcos, com copa longa e densa quando jovens e arredondadas e achatadas quando adultas (LAMPRECHT, 1990; GERNANDT *et al.*, 2005). A espécie apresenta madeira bastante resinosa, se aproximando da espécie *P. caribaea*, com densidade variando entre 0,45 a 0,75 g/cm³ e semelhante ao *P. oocarpa* quando considerado o

processamento mecânico da madeira (LAMPRECHT, 1990; SOUZA, 2009). Souza (2009) utilizando a lâminas de madeira de *P. kesiya* para produção de LVL obteve resultados superiores à espécie *P. oocarpa* para todas as propriedades mecânicas avaliadas, possibilitando a indicação da espécie para usos com maiores requisitos de resistência.

1.2.2. Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, com distribuição natural entre a Oceania até a Indonésia e Filipinas, onde apresenta mais de 600 espécies distribuídas principalmente na Austrália. As espécies mais conhecidas de *Eucalyptus* são árvores típicas de florestas altas atingindo de 30 a 50 metros e, em florestas abertas, apresenta árvores menores, com altura entre 10 e 25 metros, além de 30 a 40 espécies de porte arbustivo (MORA e GARCIA, 2000). Por suas características silviculturais, as espécies de *Eucalyptus* foram gradativamente introduzidas no Brasil, e hoje as espécies do gênero são a maior fonte de matéria-prima florestal plantada no país, com ampla gama de utilização, totalizando 6,97 milhões de hectares de área plantada em 2019 (OLIVEIRA *et al.*, 1999; IBÁ, 2019).

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam rápido crescimento, boa forma do fuste e desrama natural, apesar de variações das suas propriedades tecnológicas (OLIVEIRA *et al.*, 1999). Várias espécies de *Eucalyptus* já são empregadas comercialmente na produção de celulose e papel, carvão vegetal, painéis aglomerados e de fibras de madeira (TRIANOSKI *et al.*, 2013). Dentre as espécies plantadas no Brasil podem ser destacadas para regiões de clima tropical o *Corymbia citriodora* (anteriormente *Eucalyptus citriodora*), *Eucalyptus tereticornis*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. saligna* e o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, popularmente conhecida como eucalipto urograndis. Enquanto para as regiões de clima temperado, destacam-se as espécies *E. viminalis*, *E. dunnii*, e *E. benthamii*, que podem atingir incremento médio anual de até 45 m³/ha/ano (OLIVEIRA *et al.*, 1999; ARAUJO *et al.*, 2012; ALVES *et al.*, 2011; TRIANOSKI *et al.*, 2013).

A madeira de árvores do gênero *Eucalyptus* apresentam como características gerais, cor amarelo-clara à bege no alburno e laranja à vermelho-escuro no cerne, grã reversa entrecruzada, brilho moderado, textura média a grossa e anéis de crescimento indistintos. Como característica microscópica interessante deve-se citar

a obstrução dos vasos por tilos. A massa específica varia entre 0,35 e 0,65 g/cm³, apresenta elevada instabilidade dimensional, com difícil secagem, qualidade de acabamento variável, baixo rendimento em desdobro mecânico devido à ocorrência de tensões de crescimento e elevada gravidade de rachaduras de topo (ALVES *et al.*, 2011; HASELEIN *et al.*, 2004). Devido a estas características, no Brasil, o gênero ocupa uma posição de destaque na escolha de espécies para a implantação de povoamentos florestais, estando a maior parte da produção comprometida com os usos tradicionais, como celulose e papel, carvão vegetal, lenha e chapas de fibras (ROCHA, 2000).

1.2.2.1. Híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

Embora o gênero *Eucalyptus* seja o de maior importância para a silvicultura nacional, existem as características naturais do material que dificultam a produção de madeira de boa qualidade para múltiplos usos. Desta forma a seleção artificial pode ser utilizada para a obtenção de materiais de melhor qualidade para a utilização em indústrias de transformação mecânica. A produção de híbridos entre espécies que possuam características complementares parece ser a forma mais indicada para se atingir esses objetivos (ALMEIDA *et al.*, 2004). A possibilidade do uso de clones e híbridos na eucaliptocultura têm se mostrado um grande diferencial produtivo, principalmente para a produção de celulose. Dentre os híbridos temos o *E. grandis* x *E. urophylla*, comercialmente conhecido como Eucalipto urograndis, que provém grande parcela do suprimento de madeira para uso industrial, com uso em destaque no Congo e Brasil. No ano de 2001 a área ocupada pelo híbrido no Brasil atingiu 400.000 ha (QUILHÓ *et al.* 2006; GOMINHO *et al.* 2001; SHARMA *et al.*, 2015). Este híbrido foi desenvolvido pela empresa Aracruz e tem como características principais a combinação de elevado crescimento do *E. grandis* (até 12 ton./ha/ano em ciclos de 6 anos) em conjunto das propriedades de qualidade de fibra, elevada massa específica e resistência ao cancro observadas em *E. urophylla*. (QUILHÓ *et al.* 2006; SHARMA *et al.*, 2015).

1.3. Fatores influentes na produção de painéis de madeira

Para a tecnologia de painéis de madeira existem vários fatores que podem influenciar a qualidade do produto, desde a origem da matéria-prima, quais as condições dos processos e insumos utilizados e até a condição de uso. Das características da matéria-prima, são de grande influência as propriedades anatômicas da madeira, que estão relacionadas à movimentação do adesivo para o interior da estrutura da madeira (ALBUQUERQUE E LATORRACA, 2005). A porosidade e permeabilidade da madeira afeta diretamente o desempenho da colagem, dificultando ou facilitando a fixação do adesivo por ancoramento nos espaços vazios da madeira (PRATA, 2010; IWAKIRI, 2005). Da mesma forma, a composição química da madeira afeta a colagem pela existência de compostos que interagem com os adesivos, dificultando o processo de cura em produtos como o compensado e peças de madeira sólida. Além da presença de variabilidades decorrentes das espécies, condições de crescimento, maturidade dos tecidos do lenho, entre árvores e dentro da mesma árvore causam desuniformidade de colagem e redução da qualidade do produto (KLOCK *et al.*, 2005). A constituição química da madeira interfere na produção de painéis de madeira, mais precisamente na interface madeira-adesivo (LIMA, 2006). Dentre as propriedades químicas mais importantes para a colagem de madeiras são os teores de extrativos, pH e teor de cinzas (IWAKIRI, 2005). Os extrativos podem causar problemas na taxa de cura do adesivo, sendo recomendadas espécies com baixo teor de extrativos para produção de painéis de madeira. Espécies de alto teor de extrativos são propensas a apresentarem problemas no ciclo de prensagem (SANTOS, 2008; HILIG, 2000).

Em especial, para a produção compensados é necessária a atenção às propriedades físicas da madeira, devido ao baixo nível de desagregação da madeira, que mantém o comportamento semelhante à madeira sólida (ALMEIDA, 2013). Destacam-se, a massa específica e o teor de umidade da madeira, assim como os coeficientes de anisotropia e de retratibilidade volumétrica. Marra (1992) descreve que a massa específica da madeira afeta a colagem pela porosidade e a capacidade de absorção de água e, com isso, o aumento da instabilidade dimensional e da tensão exercida na linha de cola. O coeficiente de anisotropia da madeira é uma das características mais importantes à produção de painéis processados mecanicamente. As variações dimensionais da madeira, ocorridas durante e após a cura do adesivo,

podem contribuir para a deterioração das ligações adesivas, por introduzirem tensões elevadas nas faces coladas (PRATA, 2010). Por estes motivos, o controle preciso da umidade da madeira é primordial para o sucesso da produção de painéis e o uso de lâminas com baixo teor de umidade pode ser prejudicial para a colagem. Nestes casos, há a tendência de o adesivo perder umidade mais rapidamente, distanciando-se da linha de cola original, conhecido como “linha de cola faminta” (IWAKIRI, 2005; NOCK e RICHTER, 1978). No entanto, a situação oposta também é limitante, visto que madeiras coladas com elevado teor de umidade, tendem a apresentar tensões nas linhas de cola durante o acondicionamento dos painéis (RAKNES, 1982).

1.4. Métodos de avaliação da qualidade de colagem de produtos engenheirados de madeira

Dentre as várias formas para a inferência da qualidade da montagem e colagem de produtos de madeira colada e painéis compensados, estão os testes que aplicam tensões cisalhantes sobre as peças e/ou linhas de cola. São utilizados os resultados numéricos de tensão de ruptura e deformação da amostra, o tipo da fratura e o percentual de falha coesiva aparente para determinar se os parâmetros utilizados para a construção foram adequados aos painéis (NBR 12466-1, 2012). O percentual de falha coesiva aparente da madeira permite avaliar a qualidade de ancoragem de um adesivo com a madeira. A colagem é considerada eficiente quando ocorre a ruptura na estrutura da madeira (NBR 12466-2, 2012). A qualidade de colagem é afetada pelas características químicas do adesivo, ciclo de prensagem e tipo de ambiente de uso (BS EN 314, 1993). Contudo, na maioria das normas que tratam destes tipos de painéis, não há uma descrição clara dos procedimentos de avaliação do percentual de falha coesiva aparente, e em alguns casos, apenas é considerada a tensão de ruptura como parâmetro para o atendimento dos requisitos de qualidade (NBR 12466-1, 2012; NBR 12466-2, 2012).

A norma brasileira que trata de painéis compensados NBR 12466 (2012), apresenta um padrão referencial para comparação, mas, apenas utilizando adesivos com coloração marrom, como, fenol-formaldeído e resorcinol-formaldeído, em madeiras de coloração clara como o *Pinus*, permitindo uma dispersão do resultado visual de até 10% entre avaliadores. Enquanto a norma para compensados ASTM D-5266 (2005) apresenta procedimento semelhante à norma NBR 12466 (2012), em que

a mensuração é realizada com auxílio de um gabarito para medição manual das áreas do corpo de prova, contudo, este procedimento é considerado subjetivo e de difícil mensuração entre as faixas de 35 a 85% de falha coesiva aparente. Abrahão *et al.* (2003) descrevem que além da subjetividade, o processo tende a ser moroso, sendo necessária a adoção de sistemas de automatização laboratorial, corroborando com Vieira (2016) e Almeida (2014), em estudos sobre a classificação tradicional de tábuas de *Pinus*, demonstrando que a adoção de sistemas de classificação automatizada por visão computacional e aprendizado de máquinas permitiu o aumento da acurácia quando comparado à classificação tradicional subjetiva e dependente de operadores treinados.

1.5. Visão computacional e Inteligência artificial aplicados aos produtos de madeira

A classificação da qualidade de produtos baseado na avaliação visual e qualitativa realizada por humanos é uma atividade comum em boa parte das indústrias que utilizam matéria-prima de origem biológica, seja pela ocorrência de defeitos naturais ou por algum valor subjetivo desejável como textura, cor, desenho, cheiro e gosto. A realização de inspeções permite a correção de problemas e o descarte de produtos defeituosos resultando em uma melhor qualidade do produto final (AFFONSO *et al.* 2017). Contudo, é uma atividade repetitiva e propensa à fadiga após longos períodos de execução, revertendo em uma redução significativa na taxa de reconhecimento e acurácia das avaliações e erros de detecção irão eventualmente ocorrer (YANG *et al.*, 2018).

A recorrência de erros provenientes da classificação visual incorreta é comum para produtos de origem biológica como os produtos agrícolas e florestais devido à estrutura complexa e a imprevisibilidade de arranjos estruturais (GOGUL e KUMAR, 2017). Além da dificuldade de treinamento, a alta rotatividade dos colaboradores que realizam esta atividade também é um dos principais fatores causadores de erros de classificação, como descrevem Huber *et al.* (1985) sobre a avaliação visual de tábuas em serrarias. Reconhecendo este contexto e visando atender mercados consumidores mais exigentes quanto à qualidade e uniformidade dos produtos comercializados, as indústrias vem investido na aquisição de sistemas automatizados

de avaliação visual para aumentar a acurácia e uniformidade de seus processos, pela redução de erros de origem humana.

Estes sistemas automatizados utilizam das técnicas de visão computacional, que é a ciência que trata da construção explícita e significativa da descrição de objetos físicos por imagens provenientes de diversos sensores e dispositivos como câmeras digitais, raios-X, ultrassom e outros sensores hiper espectrais (BALLARD e BROWN, 1982; BARELLI, 2019). Este campo da ciência iniciou seu desenvolvimento juntamente ao princípio da computação no final dos anos de 1950 e muitos dos conceitos essenciais foram desenvolvidos até o início da década de 1980 com aplicações em diversas áreas, como, inteligência artificial, psicologia, computação gráfica e processamento de imagens (BALLARD e BROWN, 1982). Entretanto, estes sistemas eram pouco eficientes ou não apresentavam a eficiência necessária para a utilização em tempo real para superfícies complexas como madeira ou outros produtos de origem biológica.

Esta dificuldade foi verificada por Connors *et al.* (1990), que desenvolveram um protótipo baseado em visão computacional para a classificação de tábuas de madeira de acordo com a ocorrência de defeitos como nós e rachaduras, no entanto, naquele momento a utilização de imagens mostrou-se pouco eficiente para a detecção de defeitos, pela dificuldade de processamento computacional e baixa resolução das câmeras digitais, indicando que a técnica deveria ser utilizada em auxílio à detecção por raios-x (*CT scan*), o que permitia a identificação clara pela diferença de densidade entre as regiões afetadas por defeitos e a madeira limpa, aliado à facilidade de processamento computacional devido ao tipo de sinal eletrônico captado pelo sensor.

Contudo, a utilização de imagens digitais para detecção de defeitos de madeiras apresentou resultados promissores em experimentos em que foram aplicadas técnicas de inteligência artificial para o processamento das imagens e identificação dos defeitos. Entre os algoritmos mais promissores destacavam-se o K-vizinhos mais próximos (*K-nearest neighbor - KNN*), máquinas de suporte de vetores (*Support Vectors Machine - SVM*) e as redes neurais artificiais (*Artificial Neural Network - ANN*), obtendo classificações com qualidade superior à classificação realizada por avaliadores humanos (ALAPURANEN e WESTMAN, 1992; CHO *et al.*; 1991). Entretanto, o processamento de imagens ainda era uma tarefa trabalhosa e os algoritmos baseados em ANN começaram a se destacar por apresentarem processamento mais rápido, facilidade de obtenção e ajuste automático dos

parâmetros utilizados durante a etapa de treinamento do modelo e se apresentava como a alternativa mais viável para a utilização em sistemas de visão computacional (CHO *et al.*; 1991).

Ainda no final da década de 1980 a detecção de características por imagens digitais recebeu um grande impulso pelo trabalho publicado por LeCun *et al.* (1989), no estudo sobre a identificação de dígitos numéricos escritos a mão e que se tornaria a base para os algoritmos conhecidos posteriormente como redes neurais convolucionais (*Convolutional Neural Network - CNN*). LeCun e Bengio (1995) descrevem que esta metodologia utiliza diferentes camadas de neurônios para a realização de diferentes funções, divididas entre camadas conhecidas e as camadas ocultas.

As camadas de entrada dos dados e a de saída são as camadas conhecidas do modelo. No entanto, diferentemente das ANN nas camadas ocultas de uma CNN ocorrem as convolações, que são etapas de aplicação de filtros para identificar e extrair feições importantes nas imagens, seguido da criação de mapas condensados com redução do tamanho da imagem, mas sem a perda das informações relevantes (*pooling*), o que aumenta a velocidade de processamento das camadas subsequentes até a camada de saída (LECUN *et al.*, 1989; LECUN e BENGIO, 1995). O número de camadas ocultas de cada modelo é dependente do tipo de dado em estudo e deve ser ajustado de acordo com cada situação.

1.5.1. CNN aplicadas à análise da qualidade de produtos de madeira

A superioridade das CNN para classificação de imagens complexas foi demonstrada por Huang e LeCun (2006), os autores compararam as taxas de acerto na classificação visual de imagens por CNN, SVM e um sistema híbrido (CNN + SVM), os testes utilizaram 50 imagens (*NORB dataset*) aplicadas em diferentes inclinações, intensidades de iluminação e fundos (*background*) totalizando 291,600 imagens. Os autores obtiveram taxas de erro de classificação de 43,3% para SVM, enquanto para CNN e CNN + SVM apenas 7,2% e 5,9%, respectivamente e além da melhor acurácia, a CNN ainda tem como vantagem a maior velocidade de processamento entre todos os algoritmos.

Os autores destacam que a associação de SVM aplicados às imagens tratadas por CNN é interessante, pois a produção de imagens de menor dimensão

permitiu o acréscimo de acurácia, causado pela maior eficiência de SVM em imagens menores, demonstrando ser uma opção interessante para a utilização em imagens mais complexas ou no caso de classificação de imagens em tempo real e de vídeos.

Devido à grande eficiência, a metodologia de CNN se tornou muito utilizada para estudos de classificação visual cada vez mais complexos, e a inspeção de produtos de origem florestal se beneficiou grandemente como apresentado nos trabalhos de diversos autores. Drake e Packianather (1998), obtiveram 88% de acerto na classificação de defeitos em lâminas de madeira para a produção de compensados, no entanto, os autores utilizaram apenas imagens digitais em escala de cinza (*grayscale*).

A identificação e classificação de tábuas de *Pinus*, de acordo com a ocorrência de defeitos foi realizada por Affonso *et al.* (2017) utilizando imagens coloridas (RGB) convertidas para *grayscale*, para comparar a eficiência de classificação de três qualidades de tábuas por CNN, ANN, KNN e SVM. Os autores verificaram que a CNN apresentou 77,69% de acerto de classificação e foi inferior a todos os outros algoritmos avaliados. Contudo, este resultado pode ser atribuído ao elevado desbalanceamento de amostras das classes (A= 144, B= 177, C= 53) e pelo pequeno espaço amostral (n= 374), fatores estes que são conhecidamente limitantes às CNN, as quais se beneficiam de conjuntos amostrais maiores e mais homogêneos.

A utilização de imagens RGB apresentam maior complexidade computacional e custo de processamento, o que, dependendo do algoritmo utilizado, pode resultar em classificações de menor confiabilidade, como demonstrado por Funk *et al.* (2003), em um trabalho de classificação de defeitos de lâminas de compensado, em que, para o mesmo algoritmo quando utilizadas imagens RGB, os resultados de classificação foram inferiores aos observados para imagens em *grayscale*. Todorokia *et al.* (2011) apresentou um dos primeiros trabalhos utilizando imagens coloridas para identificação e mensuração de nós em lâminas de madeira e verificou que o algoritmo utilizado para a banda de cor vermelha apresentou resultado semelhante ao observado para as mesmas imagens processadas em *grayscale*, com taxas de acerto de classificação de 96% e 99%, respectivamente.

O bom desempenho de CNNs utilizadas para o segmento florestal foi também verificado para a identificação de espécies florestais a partir de imagens macro e microscópicas do lenho e pode ser considerado um passo importante para o desenvolvimento de sistemas automatizados para produtos de origem natural, haja

vista, que a identificação de espécies através da estrutura anatômica da madeira é de difícil treinamento, principalmente pela elevada quantidade de estruturas e suas diversas combinações que tornam cada espécie única, e no entanto, pode causar confusão entre espécies que apresentam conjuntos anatômicos semelhantes, seja por pertencerem à mesma família ou gênero ou mesmo aquelas originadas por convergência evolutiva em famílias botânicas distintas.

Ravindran *et al.* (2018), utilizaram imagens do lenho de 10 espécies da família *Meliaceae* nativas da América do Sul, África e Sudeste Asiático para composição de uma CNN que obteve uma elevada taxa de acerto para a identificação das espécies (87,40%) e do gênero (97,50%). Estes resultados excedem o percentual de acerto da classificação tradicional realizada por humanos. Da mesma maneira, Hafemann *et al.* (2014) em estudo sobre a classificação de 22 espécies florestais tropicais, utilizou imagens macro e microscópicas do lenho, obtendo taxas de acerto de 95,77% para imagens macroscópicas e 97,32% para imagens microscópicas. A utilização de algoritmos para classificação de espécies florestais a partir de imagens microscópicas do lenho também foi eficiente para identificação de 52 espécies tropicais com 97,01% de acurácia apresentados por Zamri *et al.* (2016). A identificação de espécies de coníferas foi o objeto de trabalho de Kwon *et al.* (2017) em que obtiveram 99,03% de acerto de classificação por imagens macroscópicas de cinco espécies de coníferas através de modelos de CNN.

Cabe destacar que os trabalhos apresentados utilizaram em sua maioria imagens provenientes de câmeras de celulares com pouco controle de iluminação e, mesmo em condições não ideais, as CNN foram eficientes na identificação das espécies. Estes modelos demonstraram que a utilização de CNNs pode ser uma ferramenta poderosa para identificação de características visuais de difícil avaliação por seres humanos e podem ser aplicadas para aparelhos portáteis e utilização em campo ou na indústria em tempo real.

Neste contexto, a indústria de compensados é um dos segmentos florestais que mais é afetado negativamente pela classificação visual, pois, a utilização de lâminas de baixa qualidade pode afetar negativamente o desempenho físico e mecânico dos painéis. Isto se deve ao elevado rendimento da atividade de laminação, entre 60 a 75% (GUO e ALTANER, 2018), que além de madeira limpa, acaba por utilizar áreas do tronco que apresentam maior ocorrência de defeitos como os nós, medula e madeira juvenil. O desenvolvimento de equipamentos mais modernos com

objetivo de maximizar o aproveitamento de madeira, como os tornos *spindleless*, acaba por obter uma maior proporção de lâminas com ocorrência de defeitos, e agrava a necessidade de identificação e classificação de lâminas para a produção adequada de compensados. Contudo, majoritariamente as indústrias brasileiras ainda se utilizam da classificação visual humana, que é propensa a erros oriundos da repetitividade da atividade e, para evitar estes erros, são propostos sistemas de visão computacional para automatizar a inspeção visual, com capacidade de localizar e identificar estes defeitos. Entre os estudos mais recentes sobre visão computacional aplicada às lâminas de madeira utilizando algoritmos de CNN, foi verificado que existe a tendência de focar seus objetivos na localização, identificação e mensuração dos defeitos apresentados nas lâminas, assim como identificar quais abordagens se mostram mais adequadas para cada tipo de defeito.

Destes trabalhos, podemos citar Urbonas *et al.*, (2019), que compararam quatro diferentes algoritmos para realização da etapa de Transferência de Conhecimento para a CNN no reconhecimento de quatro tipos de defeitos (nós, trincas, medula e manchas) e a diferenciação entre lâminas e o fundo (*background*). Os resultados obtidos apresentaram acurácia média de 80,6% de acerto para a correta identificação de defeitos e são eficientes para a utilização em escala industrial. No trabalho de Hu *et al.* (2020), considerando apenas três tipos de defeitos (nó vivo, nó morto e furos de insetos), as taxas de acerto em classificação dos defeitos variaram de 86,1% a 98,4% entre os algoritmos utilizados, no entanto, os resultados iniciais foram melhorados graças à utilização da técnica de Síntese de imagens (*Augumentation*). Esta técnica produz digitalmente novas imagens baseadas no conjunto inicial com o objetivo para expandir o conjunto amostral sem a necessidade de retornar à indústria para a coleta de novas imagens. Este procedimento pode ser utilizado também para uniformizar o tamanho amostral de cada classe em estudo e se mostrou adequado para melhorar o desempenho das CNN na aferição da qualidade de lâminas de madeira.

Um resultado semelhante foi obtido por Shi *et al.* (2020), no entanto, além da elevada acurácia de classificação o estudo também almejava identificar um algoritmo para atender a necessidade de velocidade de classificação para ser utilizado em tempo real no ambiente industrial. Ao final do estudo, os autores selecionaram um algoritmo que possibilitava identificar um lote de 50 imagens com o padrão de qualidade desejada pela indústria e um lote de 50 imagens de lâminas com defeitos

em apenas 2,5 segundos, com acurácia média de 95,31% e comparativamente à outros métodos de detecção de defeitos a abordagem apresentada foi mais acurada e mais rápida. Yang *et al.* (2020), objetivando otimizar uma CNN para classificação de lâminas de madeira, utilizaram técnicas de *Extreme Machine Learning* (EML) durante a etapa de transferência de conhecimento e obtiveram um aumento significativo da acurácia da CNN para a extração dos contornos dos defeitos, atingindo 96,7% de acerto, em apenas 187 ms.

Os avanços nas metodologias, na acurácia e velocidade de identificação, mensuração e classificação de defeitos é perceptível para o campo de visão computacional aplicado aos painéis de madeira e, em especial, aos painéis compensados. No entanto, com relação à determinação da qualidade de colagem pela avaliação visual, ainda não existem trabalhos que abordem esta temática sob a perspectiva da utilização de CNNs e ainda há muito a ser desenvolvido e avaliado sobre quais os fatores limitantes e como proceder para supera-los de forma a possibilitar o uso industrial.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo Geral

Verificar o efeito dos adesivos Fenol-formaldeído e Ureia-formaldeído utilizados em duas gramaturas na produção de compensados com lâminas das espécies de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e de *Pinus kesiya*.

E desenvolver um sistema de visão computacional para a avaliação automatizada da qualidade de colagem de painéis compensados.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinação do efeito da utilização do adesivo Fenol-formaldeído em duas gramaturas para a produção de painéis compensados com lâminas de *Pinus kesiya* e de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

- Determinação do efeito da utilização do adesivo Ureia-formaldeído em duas gramaturas para a produção de painéis compensados com lâminas de *Pinus kesiya* e de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

- Construir uma rede neural convulacional (CNN) com capacidade de classificar corretamente imagens de acordo com o percentual de falha coesiva aparente de painéis compensados produzidos com os adesivos Fenol-formaldeído e Ureia-formaldeído utilizando lâminas das espécies *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Pinus kesiya*.

1.7. Referências bibliográficas

- ABRAHÃO, C. P.; VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; JUNIOR, J. K. K. Quantificação da falha na madeira em juntas coladas utilizando técnicas de visão artificial. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.1, p.71-78, 2003.
- AFFONSO, C. O.; ROSSI, A. L. D.; VIEIRA, F. H. A.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Deep learning for biological image classification. **Expert systems with applications**, 85 (2017) 114–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.05.039>
- ALAPURANEN, P., WESTMAN, T. Automatic visual inspection of wood surfaces. **Proceedings. 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition**. 1992. doi:10.1109/icpr.1992.201578
- ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Adesivos. **Revista da Madeira**, Ed. 88. Curitiba, 2005.
- ALMEIDA, O. C. P. Classificação de tábuas de madeira usando processamento de imagens digitais e aprendizado de máquina. 2014, 107p. **Tese (Doutorado em Agronomia)** – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Botucatu, 2014.
- ALMEIDA, R. R. Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados. 2002. 80 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta e ambiente**, 11, n.1, p. 14 - 24, ago./dez. 2004b.
- ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de lâminas a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis** (IPEF), Piracicaba, v. jun., n.65, p. 49-58, 2004a.

- ARAUJO, H. J. B.; MAGALHÃES, W. L. E; OLIVEIRA, L. C. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônica**, v. 42(1), p. 49-58, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Estudo setorial 2009: indústria de madeira processada mecanicamente: ano base 2008**. Curitiba, 2009. 52p.
- ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Programa Nacional de Qualidade da Madeira: compensado de *Pinus***. Curitiba, 2002. 20 p. (Catálogo Técnico, n.1).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9485 - Compensado - Determinação da massa específica aparente**. Brasil, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9533 - Compensado - Determinação da resistência à flexão estática**. Brasil, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 1 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 1: Métodos de ensaio**, Brasil 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 2 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 2: Requisitos**, Brasil 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2012, ano base 2011**. ABRAF, Brasília: 2012. 150p.
- BAL, B. C. Screw and nail holding properties of plywood panels reinforced with glass fiber fabric. **Cerne**, v. 23 n. 1, p. 11-18, 2017.
- BAL, B. C., BEKTAŞ, I. Some mechanical properties of plywood produced from *Eucalyptus*, beech, and poplar veneer. **Maderas. Ciencia y tecnología** 16(1): 99-108, 2014. DOI 10.4067/S0718-221X2014005000009.
- BARBOSA, B. M.; COLODETTE, J. L.; CABRAL, C. P. T.; GOMES, F. J. B.; SILVA, V. L. Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, volume 42, n. 101, p.29-39, março de 2014.
- BARELLI, F. **Introdução à visão computacional**. Casa do Código, São Paulo, Brasil, 2019.

- BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P.; BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES) Panorama de mercado: Painéis de madeira; **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 32, p. 49-90; 2008.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis (IPEF)**, Piracicaba, v. n.63, p. 65-78, 2003.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G.; Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 95-103, jun. 2008.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.4, p.563-570, 2004.
- CHO, T.; CONNERS, R. W.; ARAMAN, P. A.; A Comparison of Rule-Based, K-Nearest Neighbor, and Neural Net Classifiers for Automated Industrial Inspection **Annals of IEEE/ACM International Conference on Developing and Managing Expert System Programs**, September 30 - October 2, 1991 Washington, D.C.
- CONHECA, D.; CARVALHO, R. Comparação de métodos de classificação OBIA, máxima verossimilhança e distância mínima em imagem OLI/Landsat-8 em área de alta diversidade de uso do solo. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- CONNER, A. H. **Wood: Adhesives. Encyclopedia of Materials: Science and Technology**. USA: Elsevier Science, 2001.
- CONNERS, R. W.; CHO, T.; NG, C. T.; DRAYER, T. T.; ARAMAN, P. A.; BRISBON, R. L.; A multisensory machine vision system for hardwood defect detection. **Annals of Process Control/Production Management of Wood Products: Technology for the '90s**. Athens, Georgia, October 31- November 1, 1990.
- CUNHA, A. B.; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F.; GORSKI, L.; CRUZ, R. C.; SANTOS, D. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial. **Floresta** (UFPR. Impresso), v. 45, p. 241-250, 2015.
- CUNHA A. B.; MATOS J. L. M.; Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo ("stress wave timer"). **R. Árvore**, v.34(2):345-354, 2010.

- DIAS, F. M.; FIORELLI, J.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A.; A utilização de fibra de vidro como reforço em madeira compensada. **MADEIRA: arquitetura e engenharia** Jan.-jun., 2003.
- DRAKE, P. R.; PACKIANATHER, M. S. A Decision Tree of Neural Networks for Classifying Images of Wood Veneer. **Int. J. Adv. Manuf. Technol.** 14:280-285, 1998.
- FRIHART, C. R. **Wood adhesion and adhesives: handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC, 2005.
- FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010. 200 p.
- FUNCK, J. W.; ZHONG, Y.; BUTLER, D.A.; BRUNNER, C.C.; FORRER, J.B. Image segmentation algorithms applied to wood defect detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, 41 (2003) 157/179
- GALPARSORO, L.; FERNÁNDEZ, S. P. Medidas de concordância: el índice Kappa. 2010. Disponível em: <<http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.htm>>. Acesso em: 04 fev. 2017.
- GERNANDT, D. S.; LÓPEZ, G. G.; GARCÍA, S. O.; LISTON, A. Phylogeny and classification of *Pinus*. **TAXON**, 54 (1), February, p. 29-42. 2005.
- GOGUL, I.; KUMAR, V. Flower species recognition system using convolution neural networks and transfer learning. **4th International Conference on Signal Processing, Communications and Networking (ICSCN -2017)**, March 16 – 18, 2017, Chennai, India, 2017 DOI: 10.1109/ICSCN.2017.8085675.
- GOMINHO J., FIGUEIRA J., RODRIGUES J. C., PEREIRA H. Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in the *Eucalyptus* hybrid urograndis (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). **Wood Fibre Sci** 33:3–8, 2001.
- GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis compensado de Eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências. **CERNE**, vol. 15, n.1, Jan.-mar, 2009, pp. 10-18. Lavras, Brasil.
- GUO, F.; ALTANER, C. M. Properties of rotary peeled veneer and laminated veneer lumber (LVL) from New Zealand grown *Eucalyptus globoides*. **New Zealand Journal of Forestry Science** (2018) 48:3

- HAFEMANN, L. G.; OLIVEIRA, L. S.; CAVALIN, P. Forest species recognition using deep convolutional neural networks. **22nd International Conference on Pattern Recognition**, 1103 – 1107 p. 2014.
- HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENEZES, L. F.; Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *EUCALYPTUS GRANDIS*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155 2004.
- HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de *Pinus*, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído. 2000. 96 p. **Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)** – Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000.
- HU, K.; WANG, B.; SHEN, Y.; GUAN, J.; CAI, Y. Defect identification method for poplar veneer based on progressive growing generated adversarial network and MASK R-CNN model. **BioResources** 15(2), 3041-3052, 2020.
- HUANG, F. J.; LECUN, Y. Large-scale Learning with SVM and Convolutional Nets for Generic Object Categorization. **IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)**, 2006, pp. 284-291, doi: 10.1109/CVPR.2006.164.
- HUBER, H. A.; MCMILLIN, C. W.; MCKINNEY, J. P. Lumber defect detection abilities of furniture rough mill employees. **FOREST PRODUCTS JOURNAL** Vol. 35, 79-82 p. No Nov/Dez, 1985.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ, **Relatório anual 2018**. Brasília, p. 80, 2019.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ, **Relatório anual 2019**. Brasília, p. 100, 2020.
- IWAKIRI S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fupef; 2005.
- IWAKIRI, S.; DEL MENEZZI, C. S.; LATORRACA, C.; VENSON, I.; MATOSKI, S. S. Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* com resina Fenol-formaldeído. **Cerne**, V.8, n. 2, p. 092- 0,97, 2002.
- IWAKIRI, S.; MANHIÇA, A. A.; RAMIREZ, M. G. L.; MATOS, J. L. M. de; BONDUELLE, G. M.; PRATA J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados de *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii* com diferentes composições estruturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 315-321, abr.-jun., 2012.

- IWAKIRI S.; MATOS, J. L. M.; FERREIRA, E. S.; PRATA J. G.; TRIANOSKI, R. Produção de painéis compensados estruturais com diferentes composições de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.3, p.569-576, 2012.
- IWAKIRI, S.; NETO, A. R.; ALMEIDA, B. C.; BIASI, C. P.; CHIES, D.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; RIGATTO, P. A.; BETTEGA W. P. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, 2006.
- IWAKIRI, S.; NIELSEN, I. R.; ALBERTI, R. A. R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas de compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **CERNE**, V. 6, N. 2, P. 019-024, 2000.
- IWAKIRI, S.; SANCHES, F. G.; POTULSKI, D. C.; SILVA, J. B.; ANDRADE, M.; MARCHESAN, R. Avaliação do potencial de uso de espécies de *Pinus* tropicais e eucalipto na produção de painéis compensados uréicos. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 277 - 284, abr./jun. 2012b.
- IWAKIRI S., TRIANOSKI R., CUNHA A. B., PRATA J. G., HARA M., BILA N. F. *et al.* Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Forestalis**, 2013; 41(99).
- KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. DE; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. de; **Química da madeira**, 3º ed., Curitiba, 2005.
- KOLLMANN, F. F.P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. **Principles of Wood Science and Technology - II Wood Based Materials**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg XII, 703p. 1975. DOI: 10.1007/978-3-642-87931-9.
- KWON, O.; LEE, H. G.; LEE, M.; JANG, S.; YANG, S.; PARK, S.; CHOI, I.; YEO, H. Automatic Wood Species Identification of Korean Softwood Based on Convolutional Neural Networks. **J. Korean Wood Sci. Technol.** 2017, 45(6): 797~808.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. GTZ Eschborn (tradução de Guilherme de Almeida-Sedas e Gilberto Calcagnatto) – Rossdorf: TZ – Verl. – Ges, 1990.
- LECUN, Y.; BENGIO, Y. Convolutional networks for images, Speech, and time-series. **The handbook of brain theory and neural networks** 3361.10 (1995): 1995.

- LECUN, Y.; BOSER, B.; DENKER, J. S.; HENDERSON, D.; HOWARD, R. E.; HUBBARD, W.; JACKEL, L. D. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. **Neural Computation** 1989;1(4):541–551.
- MARCHIORI, J. N. C.; **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria, Editora UFSM, 161p. 2005.
- MARRA, F. S. **Technology of wood bonding – principles in practice**. Van Nostrand Reinhold, New York. 453p. 1992.
- MATTOS, P. P.; BORTOLI, C.; MARCHESAN, R.; ROSOT, M. C. Caracterização Física, Química e Anatômica da Madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Comunicado Técnico**, Colombo, n. 160 2006.
- MENDES, R. F.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARLET, A.; VIDAL, J. M.; ALMEIDA, N. F.; JANKOWSKY, I. P. Resistência de painéis compensados de *Pinus taeda* tratados com preservantes ao ataque de fungos xilófagos. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 105-112, jan./mar. 2014
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 111 p.
- MUNIZ, G. I. B.; IWAKIRI, S.; VIANA, L. C.; ANDRADE, M.; WEBER, C.; ALMEIDA, V. C. Production of plywood panels from *Pinus taeda* using veneers of differing densities and phenol-formaldehyde resin with high and low molecular weights. **Cerne**, v.19, n.2, p.315-321, abr/jun., 2013.
- NOCK, H. P., RICHTER, H. G.; Adesão e Adesivos – Adesivos e sua aplicação na indústria madeireira. **Tópicos de Tecnologia da Madeira**. Universidade Federal do Paraná, 94p., Curitiba, 1978.
- OLIVEIRA, A. P. A. Um método para classificação de imagens de madeira usando Local Binary Patterns. **Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)**. Universidade Federal de Pernambuco - UFP Recife, PB, p. 127, 2013.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 113-124, dez. 1999.
- PALMA, H. A. L.; MARCO, J. T.; BALLARIN, A. W. Propriedades físicas e mecânicas de compensados com lâminas de *Pinus taeda* L. tratadas com CCA. **Anais do II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera / II Congresso Ibero-**

Latinoamericano de la Madera en la construcción. T4-04, Buenos Aires, Argentina.

PRATA, J. G.; Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP). **Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)** – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fiber biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). *IAWA Journal*, Vol. 27 (3), 2006: 243–254

RAKNES, E.; The Influence of Production Conditions on the Strength of Finger-Joints, Production, marketing and use of finger-jointed sawnwood. **Forestry Sciences** p.282, Hague, Holland. 1982.

RAVINDRAN, P.; COSTA, A.; SOARES, R.; WIEDENHOEFT, A. C. Classification of CITES-listed and other neotropical Meliaceae wood images using convolutional neural networks. **Plant Methods** (2018) 14:25 <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0292-9>.

REIS, M. S., CARNEIRO, C. M. R., GALVÃO, A. P. M., SOBRAL Filho, M., PAIXÃO, J. C., LISBOA, C. D. J., SIQUEIRA, J. D. P. Adesão e Adesivos para Madeira – Teorias de Adesão e a Natureza das Colagens com Madeira. **Série Técnica**. Ministério da Agricultura, Laboratório de Produtos Florestais, 22p. Brasília, DF. 1982.

RIBEIRO, B. M. G., KUX, H. J. H. Classificação orientada a objeto para mapeamento do uso do solo – métodos de análise de expansão urbana. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Natal. 2009

SÁ, V. A.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; BUFALINO, L.; COUTO, A. M.; MENDES, L. M.; SANTOS R. C. Absorção de superfície de painéis compensados. **Cerne**, Lavras, V. 16, Suplemento, p 53-57, jul. 2010.

SELLERS JR., T. Adhesive in the Wood Industry. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994.

SHARMA S. K.; SHUKLA, S. R.; SHASHIKALA, S.; SRI POORNIMA, V. Axial variations in anatomical properties and basic density of Eucalypt urograndis hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) clones. **Journal of Forestry Research** Volume 26, Issue 3, pp 739–744, sep. 2015.

- SHI, J.; LI, Z.; ZHU, T.; WANG, D.; NI, C. Defect detection of industry wood veneer based on NAS and multi-channel mask R-CNN. **Sensors** 2020, 20, 4398; doi:10.3390/s20164398.
- SI GROUP CRIOS RESINAS S/A. Resina para madeira ARGOS 660 HT. Rio Claro, SP, 2018. 2p. **(Boletim Técnico)**.
- SI GROUP CRIOS RESINAS S/A. Resina para madeira CR-7015/12. Rio Claro, SP, 2018 2p. **(Boletim Técnico)**.
- SOUZA, F. Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não destrutiva de painéis de lâminas paralelas (LVL) com madeira de *Pinus oocarpa* e *P. kesiya*. 133p. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade de Brasília, Faculdade de tecnologia, Brasília, 2009.
- SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C.; Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **FLORESTA**. Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012.
- TODOROKIA, C. L.; LOWELL, E.C.; DYKSTRA, D. Automated knot detection with visual post-processing of Douglas-fir veneer images. **Computers and Electronics in Agriculture** 70 (2010) 163–171
- TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta e Ambiente** 2013; v. 20 (3) p.398-406.
- TSOUMIS, George T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. Vol. 115. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- URBONAS, A.; RAUDONIS, V.; MASKELIUNAS, R.; DAMAŠEVICIUS, R. Automated identification of wood veneer surface defects using faster region-based convolutional neural network with data augmentation and transfer learning. **Appl. Sci.** 2019, 9, 4898; doi:10.3390/app9224898
- VIEIRA, F. H. A. Image processing through machine learning for wood quality classification. **Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Guaratinguetá, Brasil, 119 p. 2016.
- WELLONS, J. D.; KRAHMER, R. L.; SANDOE, M. D.; JOKERST, R. W. Thickness loss in hot-pressed plywood. **FOREST PRODUCTS JOURNAL** VOL. 33, No. 1. jan. 1983.

- YANG, F.; WANG, Y.; WANG, S.; CHENG, Y. Wood Veneer Defect Detection System Based on Machine Vision at International Symposium on Communication Engineering & Computer Science (CECS 2018) **Advances in Computer Science Research**, v. 86, 2018.
- YANG, Y.; ZHOU, X.; LIU, Y.; HU, Z.; DING, F. Wood defect detection based on depth extreme learning machine. *Appl. Sci.* 2020, 10, 7488; doi:10.3390/app10217488
- ZAMRI, M. I. P.; CORDOVA, F.; KHAIRUDDIN, A. S. M.; MOKHTAR, N.; YUSOF, R. Tree species classification based on image analysis using Improved-Basic Gray Level Aura Matrix. **Computers and Electronics in Agriculture**, 124 (2016) 227–233.
- ZHANG J, YAO M, CHEN J, JIANG Z, MA Y. Synthesis and properties of polyurethane elastomers based on renewable castor oil polyols. **J. Appl. Polym. Sci.**; 136,47309, 2019.

2. QUALIDADE DA COLAGEM DE COMPENSADOS PARA USO EXTERNO PRODUZIDOS COM LÂMINAS DE *PINUS* E *EUCALYPTUS*

Caio Cesar Faedo de Almeida e Geraldo Bortoletto Júnior

EXTERNAL-USE PLYWOOD BONDING QUALITY PRODUCED WITH *PINUS* AND *EUCALYPTUS* VENEER

Caio Cesar Faedo de Almeida e Geraldo Bortoletto Júnior

RESUMO

O cultivo de espécies florestais de alta produtividade é uma tendência mundial, promovendo a proteção do ecossistema e aumentando a lucratividade do setor florestal. Entretanto, as características da matéria-prima de rápido crescimento afetam a indústria madeireira que necessita adaptar seus processos para evitar a redução de qualidade de seus produtos e manter o atendimento do mercado consumidor. Assim, o trabalho objetivou avaliar a resistência e a qualidade de colagem de painéis compensados de cinco lâminas, produzidos com lâminas do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e comparar seu desempenho com painéis produzidos com lâminas de *Pinus kesiya*. Foram avaliados quatro tratamentos considerando as duas espécies nas gramaturas de 400 e 350 g/m² do adesivo feno-formaldeído. Foi avaliada a flexão estática nas direções perpendicular e paralela, com a obtenção da massa específica dos painéis (ME) e os módulos de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE). A qualidade da colagem foi determinada pelo ensaio de cisalhamento na linha de cola, com a obtenção da tensão máxima (Tmax) e o percentual de falha na madeira (WF%). Os resultados de flexão estática não verificaram diferença estatística em MOR para os tratamentos em ambas as direções avaliadas, enquanto para MOE os tratamentos compostos por *Eucalyptus* apresentaram resultados superiores aos tratamentos de *Pinus* em ambas as direções avaliadas, assim como maiores valores de ME. Para a Tmax e WF% foi verificada a superioridade estatística dos tratamentos que utilizaram a espécie *P. kesiya* nas três condições de ensaio avaliadas, entretanto, o único tratamento que foi considerado reprovado seguindo os requisitos da norma NBR 12.466 (2012) foi a combinação entre a madeira *Eucalyptus* e a gramatura de 400 g/m². O experimento demonstrou que se pode recomendar ambas as espécies para a produção de compensados e que a gramatura de 350 g/m² se mostrou mais adequada à utilização industrial pelo atendimento dos requisitos e pela economia de insumos e recursos.

Palavras-chave: Fenol-formaldeído; Espécie alternativa; *Pinus kesiya*; *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*; Flexão estática; Cisalhamento na linha de cola.

ABSTRACT

The cultivation of highly productive forest species is a global trend, promoting ecosystem protection and increasing the profitability of the forestry sector. However, the characteristics of the fast-growing raw material affect the wood industry, which needs to adapt its processes to avoid a reduction in the quality of its products and maintain its service to the consumer market. Thus, this study aimed to evaluate the strength and bonding quality of five-ply plywood panels produced with veneers of the hybrid *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* and to compare their performance with panels produced with *Pinus kesiya* veneers. Four treatments were evaluated considering the two species in the weights of 400 and 350 g/m² of the phenol-formaldehyde adhesive. Static bending in the perpendicular and parallel directions was evaluated, with the obtainment of the specific mass of the panels (ME) and the modulus of rupture (MOR) and elasticity (MOE). Bonding quality was determined by the shear test on the glue line, obtaining the maximum tension (Tmax) and the percentage of wood failure (WF%). The static bending results did not verify the statistical difference in MOR for treatments in both evaluated directions, while for MOE the treatments composed by *Eucalyptus* presented superior results to *Pinus* treatments in both evaluated directions, as well as higher ME values. For Tmax and WF%, the statistical superiority of the treatments that used the species *P. kesiya* in the three test conditions evaluated was verified, however, the only treatment that was considered disapproved following the requirements of the NBR 12.466 (2012) standard was the combination of *Eucalyptus* wood and a weight of 400 g/m². The experiment showed that both species can be recommended for the production of plywood and that the grammage of 350 g/m² proved to be more suitable for industrial use by meeting the requirements and by saving inputs and resources.

Key-words: phenol-formaldehyde; Unconventional species; *Pinus kesiya*; *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*; Static bending; Glue-line shear test.

2.1. Introdução

O aumento da demanda de produtos sustentáveis provenientes da indústria de florestas plantadas reduz a pressão sobre os ecossistemas naturais pela obtenção de alta produtividade de suas áreas e isto se deve ao investimento na seleção de

espécies ou genótipos com maiores taxas de crescimento e menores ciclos de produção. Segundo a IBÁ (2020), no ano de 2019, a área total de árvores plantadas totalizou 9,0 milhões de hectares, representando um aumento de 2,4% em relação a 2018. Desse total, 77% é representada pelo cultivo de eucalipto, com 6,97 milhões de hectares, e 18% de *Pinus*, com 1,64 milhões de hectares. Nos últimos anos diversas espécies de *Eucalyptus* vem sendo apresentados e validados como opções para produção em diferentes ambientes e condições climáticas (IWAKIRI *et al.*, 2013; ALMEIDA *et al.*, 2004a; GUIMARÃES JÚNIOR *et al.*, 2009). Entre os materiais promissores se destaca o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* desenvolvido com a combinação das características de elevado crescimento do *E. grandis* e da alta massa específica e qualidade de fibra de *E. urophylla* (QUILHÓ *et al.* 2006; SHARMA *et al.*, 2015). Neste contexto, o aumento das áreas de plantio disponibiliza ao mercado consumidor diversas espécies para novos usos, no qual, o setor de transformação mecânica e a indústria de painéis de madeira são beneficiários (ABIMCI, 2009).

Dentre os painéis de madeira, o painel compensado é formado através da colagem de lâminas de madeira em camadas ortogonais e sobrepostas, sendo que este direcionamento entre lâminas resulta em excelente estabilidade dimensional e uniformidade das propriedades mecânicas nas duas direções do plano do painel (KOLLMANN *et al.*, 1975; TSOUMIS, 1991; IWAKIRI, 2005; BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004). Dentre as características da madeira que afetam a qualidade de painéis compensados, Prata (2010) e Iwakiri (2005), destacam a porosidade e permeabilidade como os principais fatores influentes no desempenho da colagem. Os autores também destacam as variações dimensionais da madeira, ocorridas durante e após a cura do adesivo, as quais podem contribuir significativamente para o

enfraquecimento ou mesmo ruptura das ligações adesivas, caso o adesivo não tenha elasticidade suficiente para acompanhar tais variações (PRATA, 2010).

O presente estudo tem como objetivo verificar a eficiência da colagem de painéis compensados produzidos com duas gramaturas de adesivo fenol-formaldeído e com lâminas de madeira de rápido crescimento de um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, e comparar o seu desempenho com compensados produzidos com lâminas de *Pinus kesiya*, uma espécie com crescimento e características semelhantes às tradicionalmente utilizadas na indústria de laminados.

2.2. Conclusões

A espécie foi o fator determinante para o desempenho dos tratamentos para todas as análises realizadas, seja do ponto de vista resistência à flexão estática (MOE e MOR), os melhores resultados foram provenientes dos painéis produzidos com o clone de *E. grandis* x *E. urophylla*. Assim como para a qualidade de colagem (Tmax e WF%), com desempenho superior dos tratamentos de *P. kesiya* independente dos pré-tratamentos aplicados.

O efeito das diferentes gramaturas não foi estatisticamente significativo e o aumento da quantidade de adesivo aplicado não resultou na melhoria de MOE, MOR, Tmax ou WF% para os tratamentos, e em escala industrial, o custo resultante não apresenta um retorno efetivo em qualidade dos compensados nas condições de produção avaliadas.

Com base nos resultados apenas o tratamento Ef400 não atendeu aos requisitos de qualidade de colagem (Tmax e WF%) na condição BDB, enquanto os demais tratamentos foram considerados aprovados pela norma NBR 12.466 (2012) para a utilização em produtos destinados à classe de uso 3, em ambientes úmidos e/ou externo.

É possível recomendar ambas as espécies à utilização pela indústria de compensados e a gramatura de 350 g/m² se mostrou mais adequada à utilização industrial pelo atendimento dos requisitos de resistência qualidade de colagem e pelo menor custo produtivo.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela Bolsa PROEX - DR.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Estudo setorial 2009: indústria de madeira processada mecanicamente: ano base 2008**. Curitiba, 2009. 52p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9485 - Compensado - Determinação da massa específica aparente**. Brasil, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9533 - Compensado - Determinação da resistência à flexão estática**. Brasil, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 1 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 1: Métodos de ensaio**, Brasil 2012a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 2 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 2: Requisitos**, Brasil 2012b.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.4, p.563-570, 2004.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis (IPEF)**, Piracicaba, v. n.63, p. 65-78, 2003.
- CUNHA, A. B.; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F.; GORSKI, L.; CRUZ, R. C.; SANTOS, D. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus*

benthamii e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial.

Floresta (UFPR. Impresso), v. 45, p. 241-250, 2015.

DIAS, F. M.; FIORELLI, J.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A.; A utilização de fibra de vidro como reforço em madeira compensada. **MADEIRA: arquitetura e engenharia**. Janeiro a junho, 2003.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis compensado de Eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências. **CERNE**, vol. 15, n.1, jan. Mar, 2009, pp. 10-18. Lavras, Brasil.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ, **Relatório anual 2019**. Brasília, p. 100, 2020.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 247 p.; 2005.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G.; TRIANOSKI, R.; SILVA, L. S. Valuation of the use potential of nine species of genus *Eucalyptus* for production of veneers and plywood panels. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 263-269, abr./jun. 2013

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; FERREIRA, E. S.; PRATA, J. G.; TRIANOSKI, R. Produção de painéis compensados estruturais com diferentes composições de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.3, p.569-576, 2012.

IWAKIRI, S.; NETO, A. R.; ALMEIDA, B. C.; BIASI, C. P.; CHIES, D.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; RIGATTO, P. A.; BETTEGA, W. P. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, 2006.

KAZMIERCZAK, S.; HILLIG, E.; IWAKIRI, S. Painéis compensados fabricados com lâminas de três espécies de eucaliptos. **Floresta e Ambiente** 2017; 24: e00111614

KOLLMANN, F. F.P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. **Principles of Wood Science and Technology - II Wood Based Materials**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg XII, 703p. 1975. DOI: 10.1007/978-3-642-87931-9.

LIMA, N. N.; MENDES, L. M.; SÁ, V. A.; BUFALINO, L. Propriedades físico-mecânicas de painéis LVL produzidos com três espécies amazônicas. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 407-413, jul./set. 2013.

MATOS, A. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; BORGES, C. C.; MATOS, L. C.; FERREIRA, J. C.; MENDES, L. M. Influência de diferentes composições de lâminas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby e *Pinus*

- oocarpa* var. *oocarpa* (Schiede ex Schltdl) para produção de compensados multilaminados. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 47, n. 124, p. 799-810, dez. 2019.
- PRATA, J. G.; Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP). **Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)** – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fiber biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). **IAWA Journal**, Vol. 27 (3), 2006: 243–254
- REIS, M. S., CARNEIRO, C. M. R., GALVÃO, A. P. M., SOBRAL Filho, M., PAIXÃO, J. C., LISBOA, C. D. J., SIQUEIRA, J. D. P. Adesão e Adesivos para Madeira – Teorias de Adesão e a Natureza das Colagens com Madeira. **Série Técnica**. Ministério da Agricultura, Laboratório de Produtos Florestais, 22p. Brasília, DF. 1982.
- REIS, A. H. S.; SILVA, D. W.; VILELA, A. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Physical-mechanical properties of plywood produced with *Acrocarpus fraxinifolius* and *Pinus oocarpa* **Floresta e Ambiente** 2019; 26(4): e20170157.
- SHARMA S. K.; SHUKLA, S. R.; SHASHIKALA, S.; SRI POORNIMA, V. Axial variations in anatomical properties and basic density of Eucalypt urograndis hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) clones. **Journal of Forestry Research** Volume 26, Issue 3, pp 739–744, sep. 2015.
- SI GROUP CRIOS RESINAS S/A. Resina para madeira CR-7015/12. Rio Claro, SP, 2018 2p. (**Boletim Técnico**).
- TSOUMIS, George T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. Vol. 115. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

3. AVALIAÇÃO DE LÂMINAS DE *PINUS* E *EUCALYPTUS* NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS PARA USO INTERNO

PINUS AND *EUCALYPTUS* VENEER EVALUATION TO INTERNAL-USE PLYWOOD PRODUCTION

Caio Cesar Faedo de Almeida e Geraldo Bortoletto Júnior

RESUMO

A seleção de espécies e progênies florestais mais produtivas e mais resistentes a patógenos disponibiliza uma crescente diversidade de matérias-primas alternativas às indústrias de base florestal, dentre as quais, o segmento de painéis de madeira se beneficia desta diversificação. No entanto, é necessário verificar se estes materiais atendem aos requisitos técnicos necessários para sua utilização em segmentos para os quais não foram originalmente propostos. Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de um clone do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, desenvolvido para o suprimento da indústria de celulose, e com lâminas de *Pinus kesiya*, coladas com adesivo à base de ureia-formaldeído em duas gramaturas (350 e 400 g/m²). O experimento foi composto por quatro tratamentos (E350, E400, P350 e P400) e objetivou avaliar o desempenho nos ensaios de flexão estática (NBR-ISO 12.466, 2012) e de cisalhamento na linha de cola (NBR-ISO 9.533, 2012). Os resultados obtidos indicam que os painéis dos quatro tratamentos atenderam aos requisitos das normas e podem ser considerados para a produção industrial de compensados. Os painéis de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* apresentaram melhor desempenho para a maioria das avaliações, independente da gramatura e da condição de ensaio. O experimento demonstrou que as formulações mais recomendadas para a produção de compensados com o adesivo ureia-formaldeído são os tratamentos P400, E350 e E400.

Palavras-chave: *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Pinus kesiya*, Ureia-formaldeído, Flexão estática, Cisalhamento na linha de cola.

ABSTRACT

The selection of species and forest progenies that are more productive and more resistant to pathogens provides an increasing diversity of alternative raw materials to forest-based industries, which, the wood-

panel segment benefits from this diversification. However, it is necessary to verify that these materials meet the technical requirements necessary for their use in segments for which they were not originally proposed. Thus, this work aimed to evaluate the quality of compensated panels produced with veneers from a clone of the hybrid *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, developed for the of cellulose industry supply, and with veneers of *Pinus kesiya*, glued with adhesive based on urea-formaldehyde in two weights (350 and 400 g/m²). The experiment consisted of four treatments (E350, E400, P350 and P400) and aimed to evaluate the panels performance at static bending tests (NBR-ISO 12.466, 2012) and glue-line shear tests (NBR-ISO 9.533, 2012). The results obtained indicate that the panels of the four treatments met the requirements of the standards and can be considered for the industrial production of plywood. The *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* panels presented a better performance to the most of the evaluations, regardless of the grammage and the test condition. The experiment presented the treatments P400, E350 and E400 as more suited to plywood production with the urea-formaldehyde adhesive.

Key-words: *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Pinus kesiya*, Urea-formaldehyde; Static bending, Glue-line shear test.

3.1. Introdução

As indústrias de base florestal, preocupadas com o atendimento da demanda crescente por seus produtos e com a necessidade de reduzir a pressão sobre as florestas naturais, vem investindo no aumento da produtividade de suas áreas florestais cultivadas, principalmente pela seleção de espécies e genótipos que apresentam maiores taxas de crescimento e menores ciclos de produção (IBÁ, 2019). Segundo relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2020), no ano de 2019, a área total de árvores plantadas atingiu 9,0 milhões de hectares, representando um aumento de 2,4% em relação a 2018. Desse total, 77% é representada pelo cultivo de eucalipto (6.970.000 ha) e 18% de *Pinus* (1.640.000 ha). No mesmo período foi verificada a substituição de 200.000 ha de áreas de plantios de outras espécies madeireiras por plantios de espécies do gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2020).

Esta tendência de substituição se deve aos consideráveis avanços nos programas de melhoramento que buscam o aumento da produtividade de madeira e

à grande variedade de espécies de *Eucalyptus* que apresentam potencial madeireiro para os diversos ambientes e condições climáticas do Brasil (Fonseca *et al.*, 2010). Dentre as espécies que vem sendo utilizadas industrialmente podem ser citados o *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. robusta*, *E. phaeotrica*, *E. deanei*, *E. pellita*, *E. cloeziana*, assim como materiais híbridos, por exemplo, o *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com plantios em todas as macrorregiões do país (IWAKIRI *et al.*, 2013; Bortoletto Júnior, 2003; ALMEIDA *et al.*, 2004a; Fonseca, *et al.*, 2010; Guimarães Júnior *et al.*, 2009; Quilhó *et al.* 2006 e Cunha *et al.*, 2015). Um dos materiais que vem se destacando neste contexto, principalmente em plantios para produção de celulose, é o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* desenvolvido com a combinação das características de elevadas taxas de crescimento do *E. grandis* e de alta qualidade de fibra e resistência ao cancro do *E. urophylla* (Quilhó *et al.* 2006; Sharma *et al.*, 2015).

O aumento da disponibilidade de novas espécies para o mercado consumidor favorece o setor de transformação mecânica e a indústria de painéis de madeira se beneficia desta diversificação (ABIMCI, 2009). Entretanto, o aumento da disponibilidade e do uso de matéria-prima alternativa não melhorada para painéis de madeira pode gerar obstáculos durante a utilização em escala industrial. As novas espécies podem apresentar madeiras com propriedades que dificultam o uso em processos já estabelecidos e, como estas características são de origem biológica de cada espécie, é mais viável a adequação do processo produtivo do que induzir uma modificação na matéria-prima (ALMEIDA, 2013; REIS *et al.*, 1982). Estes fatores biológicos são ainda mais importantes quando se considera a indústria de compensados, pois este tipo de painel utiliza lâminas de madeira e o produto ainda mantém parte das características vantajosas e desvantajosas da madeira sólida

(KOLLMANN *et al.*, 1975; TSOUMIS, 1991; DIAS *et al.*, 2003). Dentre as características da madeira que afetam a qualidade de painéis, Prata (2010) e Iwakiri (2005) destacam a porosidade e permeabilidade da madeira como os principais fatores com influência direta no desempenho da colagem, podendo dificultar ou facilitar a fixação do adesivo, assim como as variações dimensionais da madeira, ocorridas durante e após a cura do adesivo, as quais podem contribuir para o enfraquecimento ou mesmo ruptura das ligações adesivas (PRATA, 2010). Neste contexto, as espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam maiores dificuldades durante a etapa de colagem devido à sua estrutura anatômica, como apresentado por autores como Bortoletto Júnior e Garcia (2004), Guimarães Júnior *et al.* (2009) e Almeida *et al.* (2004b).

Contudo, não apenas a matéria-prima alternativa, mas o tipo de adesivo e a sua interação com a madeira são decisivos para a qualidade do painel compensado, como descrevem Iwakiri *et al.* (2012), Iwakiri *et al.* (2013) e Bal e Bektaş (2014), os quais verificaram que painéis produzidos com espécies do gênero *Eucalyptus* e o adesivo ureia-formaldeído (UF) apresentaram resultados superiores nos ensaios de flexão estática e cisalhamento na linha de cola quando comparados às espécies tradicionalmente utilizadas pela indústria como *Pinus taeda*, *Fagus orientalis*, *Populus x euramericana*, assim como a algumas espécies de *Pinus* tropicais como o *P. oocarpa*, *P. caribaea*, *P. chiapensis*, *P. maximinoi* e *P. tecunumanii*. Os autores também verificaram que lâminas de *Eucalyptus* coladas com UF apresentaram desempenho superior ao esforço mecânico quando comparado a painéis colados com adesivo fenol-formaldeído (FF), o que pode estar relacionado à interação entre a viscosidade do adesivo e a porosidade da madeira.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo verificar se o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* demonstra aptidão para a produção de painéis de compensado utilizando o adesivo ureia-formaldeído em duas gramaturas e avaliar seu desempenho mecânico nos painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus kesiya*.

3.2. Conclusões

Os painéis compensados construídos com lâminas de madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* e de *P. kesiya* colados com adesivo Ureia-formaldeído atenderam aos requisitos das normas NBR 12.466 (ABNT NBR, 2012) e NBR 9.533 (2012) e podem ser considerados adequados para a produção industrial de compensados.

O clone de *E. grandis* x *E. urophylla*, mesmo se tratando de um material de apenas 9 anos e originalmente desenvolvido para a indústria de celulose, demonstrou grande potencial para a utilização na indústria de compensados, apresentando elevados desempenho de resistência mecânica e qualidade de colagem.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela Bolsa PROEX-DR.

Referências

- ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta e Ambiente** v11, n.1, p. 14 - 24, ago./dez. 2004.
- ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de lâminas a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis** (IPEF), Piracicaba, v. jun., n.65, p. 49-58, 2004a.

- ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido. **Floresta e Ambiente** 11, n.1, p. 14 - 24, ago./dez. 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Estudo setorial 2009: indústria de madeira processada mecanicamente: ano base 2008**. Curitiba, 2009. 52p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9485 - Compensado - Determinação da massa específica aparente**. Brasil, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9533 - Compensado - Determinação da resistência à flexão estática**. Brasil, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 1 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 1: Métodos de ensaio**, Brasil 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 2 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 2: Requisitos**, Brasil 2012.
- BAL, B. C., BEKTAŞ, I. Some mechanical properties of plywood produced from *Eucalyptus*, beech, and poplar veneer. **Maderas. Ciencia y tecnología** 16(1): 99-108, 2014. DOI 10.4067/S0718-221X2014005000009.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.4, p.563-570, 2004.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis (IPEF)**, Piracicaba, v. n.63, p. 65-78, 2003.
- CUNHA, A. B.; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F.; GORSKI, L.; CRUZ, R. C.; SANTOS, D. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial. **Floresta** (UFPR. Impresso), v. 45, p. 241-250, 2015.
- DIAS, F. M.; FIORELLI, J.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A.; A utilização de fibra de vidro como reforço em madeira compensada. **MADEIRA: arquitetura e engenharia**. Janeiro a junho, 2003.
- FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010. 200 p.

- GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis compensado de Eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências. **CERNE**, vol. 15, n.1, jan. Mar, 2009, pp. 10-18. Lavras, Brasil.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ, **Relatório anual 2018**. Brasília, p. 80, 2019.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ, **Relatório anual 2019**. Brasília, p. 100, 2020.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 247 p.; 2005.
- IWAKIRI, S.; SANCHES, F. G.; POTULSKI, D. C.; SILVA, J. B.; ANDRADE, M.; MARCHESAN, R. Avaliação do potencial de uso de espécies de *Pinus* tropicais e eucalipto na produção de painéis compensados uréicos. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 277 - 284, abr./jun. 2012b.
- KOLLMANN, F. F.P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. **Principles of Wood Science and Technology - II Wood Based Materials**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg XII, 703p. 1975. DOI: 10.1007/978-3-642-87931-9.
- PRATA, J. G.; Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP). **Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)** – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fiber biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). **IAWA Journal**, Vol. 27 (3), 2006: 243–254.
- REIS, M. S., CARNEIRO, C. M. R., GALVÃO, A. P. M., SOBRAL Filho, M., PAIXÃO, J. C., LISBOA, C. D. J., SIQUEIRA, J. D. P. Adesão e Adesivos para Madeira – Teorias de Adesão e a Natureza das Colagens com Madeira. **Série Técnica**. Ministério da Agricultura, Laboratório de Produtos Florestais, 22p. Brasília, DF. 1982.
- SELLERS JR., T. Adhesive in the Wood Industry. In: PIZZI. A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994.
- SHARMA S. K.; SHUKLA, S. R.; SHASHIKALA, S.; SRI POORNIMA, V. Axial variations in anatomical properties and basic density of Eucalypt urograndis hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) clones. **Journal of Forestry Research** Volume 26, Issue 3, pp 739–744, sep. 2015.

SI GROUP CRIOS RESINAS S/A. Resina para madeira ARGOS 660 HT. Rio Claro, SP, 2018. 2p. **(Boletim Técnico)**.

SI GROUP CRIOS RESINAS S/A. Resina para madeira CR-7015/12. Rio Claro, SP, 2018 2p. **(Boletim Técnico)**.

TSOUMIS, George T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. Vol. 115. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

4. DEEP LEARNING FOR PLYWOOD BONDING QUALITY CLASSIFICATION

Caio Cesar Faedo de Almeida, Carlos de Oliveira Affonso,

Jaymison Emanuel Alecrim Cerqueira, Geraldo Bortoletto Júnior

ABSTRACT

The visual classification of product quality performed by humans is a common activity in most industries that use raw materials of biological origin and these inspections allow the removal of defects and the improvement of products' final quality. In plywood industries, this activity is difficult to train and prone to errors, however, the development of computer vision systems is the main alternative to automate the analyses, with emphasis on the convolutional neural networks (CNN) for images processing in real-time. Thus, this work aimed to evaluate the accuracy of five CNNs for visual classification of the bonding quality of four types of plywood panels, produced with two wood species and two adhesives. In the experiment, 1.600 samples were used for the glue-line shear test (NBR 12466–1, 2012), and the samples were visually classified. The development of CNN models to identify the five classes of plywood wood failure percentage (WF%) used 4.800 color images and the knowledge transfer technique using a board classification algorithm, with the information obtained, five models were produced, *Pinus*, *Eucalyptus*, Phenol-formaldehyde (FF), Urea-formaldehyde (UF), and General, using 75% of the images for training and 25% for validation. The models presented satisfactory results for the classification of WF% with high accuracy in *Pinus* (92.46%), *Eucalyptus* (91.84%), FF (94.96%) and Generalist (94.36%), only the UF model (60.90%) did not present satisfactory results, as well as not being able to classify samples of class C1. In general, the algorithms presented greater difficulty in classifying intermediate classes (C2, C3, and C4) and greater ease for the extreme classes (C1 and C5), however, these results are negatively influenced by the imbalance in the number of samples between the classes, mainly the UF model. The study showed that the approach was efficient for the correct identification of WF% and that the development of an automated computer vision system from CNNs is feasible, however, it is necessary to increase and standardize the number of samples between classes to a more accurate classification.

Key-words: Image classification, computer vision, machine learning, CNN

4.1 Introduction

The classification of product quality based on the visual and qualitative assessment carried out by humans is a common activity in most industries that use raw materials of biological origin, either due to the occurrence of natural defects or due to some desirable subjective value, such as texture, color, design, smell, and taste. The performance of inspections allows the correction of problems and the disposal of defective products, resulting in a better quality of the final product (AFFONSO *et al.* 2017), however, it is a repetitive activity and prone to fatigue after long periods of execution, which reverts to a significant reduction in the rate of recognition and accuracy of assessments, and detection errors will eventually occur (YANG *et al.*, 2018). The recurrence of errors resulting from the incorrect visual classification is common for products of biological origin, such as agricultural and forest products due to the complex structure and the unpredictability of structural arrangements (GOGUL and KUMAR, 2017), and in addition to the difficulty of training, the high turnover of workers who carry out this activity is also one of the main factors of classification errors, as described Huber *et al.* (1985) on visual evaluation of boards at sawmills. Recognizing this context and aiming to serve more demanding consumer markets regarding, the quality and uniformity of the products sold, the industries have been investing in the acquisition of automated systems of visual assessment to increase the accuracy and uniformity of their processes by reducing errors of human origin.

These automated systems use computer vision techniques, which is the science that deals with the explicit and significant description of physical objects by images, produced from different sensors and devices, such as digital cameras, X-rays, ultrasound, and other hyperspectral sensors (BALLARD and BROWN, 1982; BARELLI, 2019). This field of science starts its development at the origins of computing in the late 1950s, and many of the essential concepts were developed until the early 1980s, with applications in several areas, such as artificial intelligence, psychology, computer graphics, and computer processing images (BALLARD and BROWN, 1982). However, these systems were not very efficient or did not have the necessary efficiency to be used in real-time for complex surfaces, such as wood or other products of biological origin.

This difficulty was verified by Connors *et al.* (1990) who developed a prototype based on computer vision for the classification of wooden boards according to the

occurrence of defects such as knots and cracks, however, at that time the use of images proved to be inefficient for detecting defects due to the difficulty of computational processing and low resolution of digital cameras, and indicate that the technique should be used to aid in the detection by x-rays, that allowed clear identification by the difference in density between the regions affected by defects and the clean wood, combined with the ease of computational processing due to the electronic signal captured by the sensor.

However, the use of digital images for the detection of wood defects has shown promising results at experiments where artificial intelligence techniques were applied for image processing and identification of defects. The most promising algorithms were K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vectors Machine (SVM) and Artificial Neural Networks (ANN) obtained better classifications than human evaluators (ALAPURANEN and WESTMAN, 1992; CHO *et al.*, 1991). However, image processing still was a laborious task and the ANN-based algorithms began to stand out for presenting faster processing and easier obtaining and automatic adjustment of the parameters during the training model stage presented itself as the most viable alternative for use in computer vision systems (CHO *et al.*, 1991).

In the late 1980s the detection of characteristics by digital images received a great boost from the work published by LeCun *et al.* (1989), in the study on the identification of handwritten numeric digits, that would become the basis for the algorithms later known as convolutional neural networks (CNN). LeCun and Bengio (1995) describe that this methodology uses different layers of neurons to perform different functions, divided between known layers and hidden layers. The input and output data layers are the known layers of the model. However, unlike ANNs in the hidden layers of a CNN, convolutions occur, which are steps of applying filters to identify and extract important features in the images, followed by the pooling step, which creates condensed maps to reduce image size without losing relevant information. These steps increase the processing speed of the subsequent layers by reducing the processional effort (LECUN *et al.*, 1989; LECUN and BENGIO, 1995). The number of hidden layers of each model depends on the type of data under study and must be adjusted according to each situation.

The superiority of CNNs for the classification of complex images was demonstrated by Huang and LeCun (2006), the authors compared the accuracy rates of images visual classification by CNN, SVM, and a hybrid system (CNN + SVM), the

tests used a set of 50 images (NORB dataset), at different inclinations, illumination intensity and background, totaling 291,600 images. The authors obtained classification error rates of 43.3% for SVM, while for CNN and CNN + SVM, only 7.2% and 5.9%, respectively. In addition to the better accuracy, the CNN still has the advantage of higher processing speed among all algorithms. The authors point out that the association of SVM applied to images treated by CNN is interesting, since the production of smaller images allowed the increase in accuracy, caused by the greater efficiency of SVM in smaller images, proving to be an interesting option for use in more complex images, such as in case of real-time classification or video applications.

4.1.1 Related Work

Due to the great efficiency, the CNN methodology has become widely used for increasingly complex visual classification studies, and the inspection of forest products has benefited greatly as presented in the works of several authors. Drake and Packianather (1998) obtained 88% accuracy in the classification of defects in wood veneers for plywood production. The identification and classification of pine boards according to the occurrence of defects were carried out by Affonso *et al.* (2017) using color images (RGB) converted to grayscale, to compare the classification efficiency of three board qualities (A, B, and C) by CNN, ANN, KNN, and SVM. The authors found that CNN had 77.69% of correct answers and was inferior to all the other evaluated algorithms, however, this result can be attributed to the imbalance of samples from the classes ($A = 144$, $B = 177$, $C = 53$) and the small data-set ($n = 374$), factors that are known limitations to CNN, which are benefit from larger and more homogeneous data-sets.

The use of RGB images presents greater computational complexity and processing costs, which, depending on the algorithm used, may result in lower reliability classifications, as demonstrated by Funk *et al.* (2003), in a work of classification of defects of plywood sheets, in which, for the same algorithm when using RGB images, the classification results were lower than those observed for grayscale images. Todorokia *et al.* (2011) was one of the first works that used color images to identify and measure knots in veneers, and the analyzes found that the algorithm used for the RGB red band presented a result similar to that observed for the same images processed in grayscale, with a classification accuracy of 96% and 99%, respectively.

The good performance of CNNs used for the forestry segment was also verified for the identification of forest species from macro and microscopic images of the wood and can be considered an important step for the development of automated systems for products of natural origin, seen that the identification of species through the wood anatomy is difficult to train, mainly due to the high number of structures and their various combinations that make each species unique, however, it can cause confusion between species that have similar anatomical sets, whether if they belong to the same family or even those originated by evolutionary convergence in different botanical families. Ravindran *et al.* (2018), used wood images of 10 species of the Meliaceae family native to South America, Africa, and Southeast Asia to compose a CNN that obtained a high rate of accuracy for species (87.40%) and genus (97.50%) identification and these results exceed the percentage of the accuracy of the traditional classification carried out by humans. Similar results were obtained by Hafemann *et al.* (2014), in a study on the classification of 22 tropical forest species, using macro and microscopic wood images and obtained 95.77% correct rates for macroscopic and 97.32% for microscopic images. The use of algorithms for the classification of forest species from microscopic images of the wood was also efficient for the identification of 52 tropical species with 97.01% accuracy presented by Zamri *et al.* (2016). The identification of conifer species was the object of work by Kwon *et al.* (2017), who obtained 99.03% of correct classification by macroscopic images of five conifer species using CNN models. It should be noted that the works presented used mostly images from cell phone cameras with little light control and even under non-ideal conditions, CNNs were efficient in identifying species. These models demonstrated that the use of CNNs can be a powerful tool for the identification of visual characteristics that are difficult to evaluate by humans and can be applied to portable devices and use in the field or the industry in real-time.

In this context, the plywood industry is one of the forestry segments that are most negatively affected by visual classification, as the use of low-quality veneers can negatively affect the physical and mechanical performance of the panels. This is due to the high yield of the lamination activity, between 60 to 75% (GUO and ALTANER, 2018), which, in addition to clean wood, ends up using areas of the trunk that present a higher occurrence of defects such as knots, pith, and juvenile wood. The development of more modern equipment to maximize the use of wood, such as spindleless lathes, ends up obtaining a higher occurrence of veneer defects and

aggravates the necessity of veneers classification for the proper production of plywood. However, most Brazilian industries still use human visual classification, which is prone to errors arising from the repetitiveness of the activity and, to avoid these errors, computer vision systems are proposed to automate visual inspection, with the ability to locate and identify these defects. Among the most recent studies on computer vision applied to wood veneers using CNN algorithms, it was found that there is a tendency to focus their objectives on the location, identification, and measurement of defects presented on the veneers, as well as to identify which approaches are most suitable for each defect type.

From these works, we can mention Urbonas *et al.*, (2019), which applied knowledge transfer step for a recognition CNN of four wood defects (knots, cracks, pith and stains), the results obtained presented an average accuracy of 80.6% of correct defect identification and are efficient for use on an industrial scale. In the work of Hu *et al.* (2020), considering only three types of defects (live knot, dead knot, and insect holes), the accuracy rates in classification ranged from 86.1% to 98.4% between the tested algorithms. A similar result was obtained by Shi *et al.* (2020), the study aimed to identify the best algorithm to meet the highest classification accuracy and also the fastest to be used in real-time for industrial use. At the end of the study, the authors selected an algorithm that was able to identify a batch of 50 images with the desired standard and a batch of 50 images of defective veneers in just 2.5 seconds with an average accuracy of 95.31%. Yang *et al.* (2020), in a similar study using Extreme Machine Learning (EML) during the knowledge transfer stage, obtained a significant increase in the accuracy of CNN for the extraction of defect contours, reaching 96.7% of accuracy, in only 187 ms. The advances in methodologies, in the accuracy and speed of identification, measurement, and classification of defects are noticeable for the field of computational vision applied to wooden panels and especially to plywood panels. However, regarding the determination of the bonding quality by visual assessment, there are still no studies that address this issue from the perspective of the use of CNNs and there is still much to be developed and evaluated on what are the limiting factors and how to proceed to overcome them to enable industrial use.

4.1.2 Hypothesis

Plywood is mostly produced with two principal adhesives, the colorless adhesive urea-formaldehyde to non-structural products and the red-brown adhesive

Phenol-formaldehyde for structural use and the most common species used were yellow-colored coniferous wood, such as *Pinus*, and more recently, the brown-red colored *Eucalyptus* wood became more frequent. The visual classification of plywood bonding quality is complex activity to human operators and the determination of the exact percentage of bonding areas is difficult to obtain due to the irregular pattern of the fractures, the difficult distinction between wood and adhesive, and the lack of clear standard procedures.

To overcome these challenges a CNN algorithm may configure an option to solve the complexity of visual analysis systems of plywood bonding classification. The different adhesive colors, different wood textures and their interaction could be sufficient to a CNN efficiently classify plywood bonding quality with higher accuracy than a human operator.

4.1.3 Objectives

The objective of this paper was to analyze the CNN efficiency to classify the bonding quality of different plywood composition and verify if the presented models present significant difference between each panel composition.

4.2 Conclusions

To meet the most demanding markets, the plywood industries must guarantee compliance with the quality standards, and the determination of the plywood bonding quality is a necessity. Yet, the traditional human vision evaluation of plywood bonding quality is an expensive operational effort and is prone to errors due to lack of proper training, bad environmental work conditions, and fatigue during the classification process.

The training of a visual analysis system to bonding quality assessment of plywood panels was an extremely challenging task to solve these difficulties. However, the active learning CNN implemented to classify the bonding quality of four different plywood was efficient, reaching a mean accuracy of 94.4% to Generalist model and the Phenol-formaldehyde (PF) model presented the higher mean accuracy, while Urea-formaldehyde (UF) presented the worst result. The species models presented intermediate and similar results independent of the specie anatomical characteristics.

The results may indicate that the class identification is more related to the contrast between wood and adhesive than only to the color difference.

The lack of balance in the amount of data caused a difference in class accuracy on the models, and in further experiments, they must be adjusted to a more homogeneous distribution to provide more reliable results. The proposed models presented good results and could be used as a starting point on the development of plywood bonding classification systems for industrial use.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) by the PROEX - DR Scholarship.

References

- AFFONSO, C. O.; ROSSI, A. L. D.; VIEIRA, F. H. A.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Deep learning for biological image classification. **Expert systems with applications**, 85 (2017) 114–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.05.039>
- ALAPURANEN, P., WESTMAN, T. Automatic visual inspection of wood surfaces. **Proceedings. 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition**. 1992. doi:10.1109/icpr.1992.201578
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 1 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 1: Métodos de ensaio**, Brasil 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 2 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 2: Requisitos**, Brasil 2012.
- BARELLI, F. **Introdução à visão computacional**. Casa do Código, São Paulo, Brasil, 2019.
- CHO, T.; CONNERS, R. W.; ARAMAN, P. A.; A Comparison of Rule-Based, K-Nearest Neighbor, and Neural Net Classifiers for Automated Industrial Inspection **Annals of IEEE/ACM International Conference on Developing and Managing Expert System Programs**, September 30 - October 2, 1991 Washington, D.C.

- CONNERS, R. W.; CHO, T.; NG, C. T.; DRAYER, T. T.; ARAMAN, P. A.; BRISBON, R. L.; A multisensory machine vision system for hardwood defect detection. **Annals of Process Control/Production Management of Wood Products: Technology for the '90s**. Athens, Georgia, October 31- November 1, 1990.
- DRAKE, P. R.; PACKIANATHER, M. S. A Decision Tree of Neural Networks for Classifying Images of Wood Veneer. **Int. J. Adv. Manuf. Technol.** 14:280-285, 1998.
- FUNCK, J. W.; ZHONG, Y.; BUTLER, D.A.; BRUNNER, C.C.; FORRER, J.B. Image segmentation algorithms applied to wood defect detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, 41 (2003) 157/179
- GOGUL, I.; KUMAR, V. Flower species recognition system using convolution neural networks and transfer learning. **4th International Conference on Signal Processing, Communications and Networking (ICSCN -2017)**, March 16 – 18, 2017, Chennai, India, 2017 DOI: 10.1109/ICSCN.2017.8085675.
- GUO, F.; ALTANER, C. M. Properties of rotary peeled veneer and laminated veneer lumber (LVL) from New Zealand grown *Eucalyptus globoides*. **New Zealand Journal of Forestry Science** (2018) 48:3
- HAFEMANN, L. G.; OLIVEIRA, L. S.; CAVALIN, P. Forest species recognition using deep convolutional neural networks. **22nd International Conference on Pattern Recognition**, 1103 – 1107 p. 2014.
- HU, K.; WANG, B.; SHEN, Y.; GUAN, J.; CAI, Y. Defect identification method for poplar veneer based on progressive growing generated adversarial network and MASK R-CNN model. **BioResources** 15(2), 3041-3052, 2020.
- HUANG, F. J.; LECUN, Y. Large-scale Learning with SVM and Convolutional Nets for Generic Object Categorization. **IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)**, 2006, pp. 284-291, doi: 10.1109/CVPR.2006.164.
- HUBER, H. A.; MCMILLIN, C. W.; MCKINNEY, J. P. Lumber defect detection abilities of furniture rough mill employees. **FOREST PRODUCTS JOURNAL** Vol. 35, 79-82 p. No Nov/Dez, 1985.
- KWON, O.; LEE, H. G.; LEE, M.; JANG, S.; YANG, S.; PARK, S.; CHOI, I.; YEO, H. Automatic Wood Species Identification of Korean Softwood Based on Convolutional Neural Networks. **J. Korean Wood Sci. Technol.** 2017, 45(6): 797~808.

- LECUN, Y.; BENGIO, Y. Convolutional networks for images, Speech, and time-series. **The handbook of brain theory and neural networks** 3361.10 (1995): 1995.
- LECUN, Y.; BOSER, B.; DENKER, J. S.; HENDERSON, D.; HOWARD, R. E.; HUBBARD, W.; JACKEL, L. D. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. **Neural Computation** 1989;1(4):541–551.
- RAVINDRAN, P.; COSTA, A.; SOARES, R.; WIEDENHOEFT, A. C. Classification of CITES-listed and other neotropical Meliaceae wood images using convolutional neural networks. **Plant Methods** (2018) 14:25 <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0292-9>.
- SHI, J.; LI, Z.; ZHU, T.; WANG, D.; NI, C. Defect detection of industry wood veneer based on NAS and multi-channel mask R-CNN. **Sensors** 2020, 20, 4398; doi:10.3390/s20164398.
- TODOROKIA, C. L.; LOWELL, E.C.; DYKSTRA, D. Automated knot detection with visual post-processing of Douglas-fir veneer images. **Computers and Electronics in Agriculture** 70 (2010) 163–171
- URBONAS, A.; RAUDONIS, V.; MASKELIUNAS, R.; DAMAŠEVICIUS, R. Automated identification of wood veneer surface defects using faster region-based convolutional neural network with data augmentation and transfer learning. **Appl. Sci.** 2019, 9, 4898; <https://doi.org/10.3390/app9224898>
- YANG, F.; WANG, Y.; WANG, S.; CHENG, Y. Wood Veneer Defect Detection System Based on Machine Vision at International Symposium on Communication Engineering & Computer Science (CECS 2018) **Advances in Computer Science Research**, v. 86, 2018.
- YANG, Y.; ZHOU, X.; LIU, Y.; HU, Z.; DING, F. Wood defect detection based on depth extreme learning machine. *Appl. Sci.* 2020, 10, 7488; doi:10.3390/app10217488
- ZAMRI, M. I. P.; CORDOVA, F.; KHAIRUDDIN, A. S. M.; MOKHTAR, N.; YUSOF, R. Tree species classification based on image analysis using Improved-Basic Gray Level Aura Matrix. **Computers and Electronics in Agriculture**, 124 (2016) 227–233.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos resultados do experimento apresentado no Artigo 1 podemos afirmar que os tratamentos P400, P350 e E350 atenderam aos requisitos de qualidade de colagem e foram considerados aprovados pela de acordo com a norma NBR 12.466 (2012) para a utilização em produtos em ambiente externo, apenas E400 não atingiu parâmetros mínimos e foi considerado reprovado.

A espécie foi o principal fator causador de diferença estatística e a gramatura não apresentou efeito verificável em MOR, MOE, Tmax ou WF% para os tratamentos, o que permite recomendar a utilização da gramatura 350 g/m² para a utilização em escala industrial das espécies avaliadas, pois o custo proveniente do aumento da gramatura não apresenta um retorno efetivo para a qualidade dos painéis compensados destinados ao uso em ambiente externo.

Para os painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus kesiya* e de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e o adesivo ureia-formaldeído, todos os tratamentos foram aprovados para a utilização em ambientes protegidos da umidade, de acordo com a norma NBR 12.466 (2012).

Foi verificado que o fator espécie foi significativo em todas as análises e os painéis compostos por lâminas de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* apresentaram melhor desempenho do que os tratamentos que utilizaram lâminas de *Pinus kesiya* para a maioria dos ensaios realizados e principalmente para os ensaios na condição úmida, mesmo quando utilizadas a menor gramatura.

Os tratamentos que utilizam lâminas de *Pinus kesiya* apresentaram desempenho inferior para todos os ensaios e condições avaliadas sendo que apenas no ensaio de cisalhamento da linha de cola foi verificada diferença significativa causada pelo fator Gramatura e a menor quantidade de adesivo reverteu na redução da qualidade de colagem tanto em Tmax quanto em WF% e não atingiu os valores mínimos aceitáveis descritos em norma, o que causou a reprovação do tratamento.

Desta forma, recomenda-se a utilização dos tratamentos P400, E400 e E350 para a produção industrial de compensados uréicos utilizando a madeira das espécies *Pinus kesiya* e o clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* como fonte de matéria-prima.

A utilização de sistemas de visão computacional é uma alternativa viável para a automatização da avaliação visual da qualidade de colagem de painéis

compensados e a utilização das Redes Neurais Convolucionais (CNNs) demonstra um grande potencial para o desenvolvimento de sistemas mais acurados de classificação de WF%.

Em quatro dos cinco modelos de CNN desenvolvidos, a classificação do WF% obteve acurácia média acima de 90%, sendo que o melhor resultado foi observado para o modelo Fenol (94,96%) seguido por Geral (94,36%), *Pinus* (92,46), *Eucalyptus* (91,84) e o pior resultado foi observado para o modelo Ureia (60,90%). No entanto, este experimento necessitou reduzir o número de classes de WF% de 10 para apenas 5, para otimizar o aprendizado do algoritmo e reduzir a ocorrência de falsos positivos durante a classificação.

A redução do número de classes ainda não atende a necessidade de classificação de 10 classes de WF% como solicitado pela norma NBR 12.466 (2012), e se faz necessário expandir o conjunto de amostras, imagens e fazer uso de técnicas de *Augmentation* para refinar os algoritmos e tornar a classificação mais acurada, sem a redução da capacidade de generalização.

Os resultados obtidos no artigo 3 são bastante promissores e servem como embasamento para os próximos estudos e pesquisas que desejem desenvolver sistemas mais precisos e eficientes para a determinação da qualidade de colagem de painéis compensados, de forma automatizada e que comportem as técnicas de visão computacional e inteligência artificial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, C. P.; VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; JUNIOR, J. K. K. Quantificação da falha na madeira em juntas coladas utilizando técnicas de visão artificial. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.1, p.71-78, 2003.
- AFFONSO, C. O.; ROSSI, A. L. D.; VIEIRA, F. H. A.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Deep learning for biological image classification. **Expert systems with applications**, 85 (2017) 114–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.05.039>
- ALAPURANEN, P., WESTMAN, T. Automatic visual inspection of wood surfaces. **Proceedings. 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition**. 1992. doi:10.1109/icpr.1992.201578
- ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Adesivos. **Revista da Madeira**, Ed. 88. Curitiba, 2005.
- ALMEIDA, O. C. P. Classificação de tábuas de madeira usando processamento de imagens digitais e aprendizado de máquina. 2014, 107p. **Tese (Doutorado em Agronomia)** – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Botucatu, 2014.
- ALMEIDA, R. R. Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados. 2002. 80 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta e ambiente**, 11, n.1, p. 14 - 24, ago./dez. 2004b.
- ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de lâminas a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis** (IPEF), Piracicaba, v. jun., n.65, p. 49-58, 2004a.
- ARAUJO, H. J. B.; MAGALHÃES, W. L. E; OLIVEIRA, L. C. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônica**, v. 42(1), p. 49-58, 2012.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Estudo setorial 2009: indústria de madeira processada mecanicamente: ano base 2008**. Curitiba, 2009. 52p.
- ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Programa Nacional de Qualidade da Madeira: compensado de *Pinus***. Curitiba, 2002. 20 p. (Catálogo Técnico, n.1).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9485 - Compensado - Determinação da massa específica aparente**. Brasil, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9533 - Compensado - Determinação da resistência à flexão estática**. Brasil, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 1 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 1: Métodos de ensaio**, Brasil 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **NBR ISO 12466 - 2 Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 2: Requisitos**, Brasil 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2012, ano base 2011**. ABRAF, Brasília: 2012. 150p.
- BAL, B. C. Screw and nail holding properties of plywood panels reinforced with glass fiber fabric. **Cerne**, v. 23 n. 1, p. 11-18, 2017.
- BAL, B. C., BEKTAŞ, I. Some mechanical properties of plywood produced from *Eucalyptus*, beech, and poplar veneer. **Maderas. Ciencia y tecnología** 16(1): 99-108, 2014. DOI 10.4067/S0718-221X2014005000009.
- BARBOSA, B. M.; COLODETTE, J. L.; CABRAL, C. P. T.; GOMES, F. J. B.; SILVA, V. L. Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, volume 42, n. 101, p.29-39, março de 2014.
- BARELLI, F. **Introdução à visão computacional**. Casa do Código, São Paulo, Brasil, 2019.
- BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P.; BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES) Panorama de mercado: Painéis de madeira; **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 32, p. 49-90; 2008.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis (IPEF)**, Piracicaba, v. n.63, p. 65-78, 2003.

- BORTOLETTO JÚNIOR, G; Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 95-103, jun. 2008.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.4, p.563-570, 2004.
- CHO, T.; CONNERS, R. W.; ARAMAN, P. A.; A Comparison of Rule-Based, K-Nearest Neighbor, and Neural Net Classifiers for Automated Industrial Inspection **Annals of IEEE/ACM International Conference on Developing and Managing Expert System Programs**, September 30 - October 2, 1991 Washington, D.C.
- CONHECA, D.; CARVALHO, R. Comparação de métodos de classificação OBIA, máxima verossimilhança e distância mínima em imagem OLI/Landsat-8 em área de alta diversidade de uso do solo. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- CONNER, A. H. **Wood: Adhesives. Encyclopedia of Materials: Science and Technology**. USA: Elsevier Science, 2001.
- CONNERS, R. W.; CHO, T.; NG, C. T.; DRAYER, T. T.; ARAMAN, P. A.; BRISBON, R. L.; A multisensory machine vision system for hardwood defect detection. **Annals of Process Control/Production Management of Wood Products: Technology for the '90s**. Athens, Georgia, October 31- November 1, 1990.
- CUNHA, A. B.; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F.; GORSKI, L.; CRUZ, R. C.; SANTOS, D. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial. **Floresta** (UFPR. Impresso), v. 45, p. 241-250, 2015.
- CUNHA A. B.; MATOS J. L. M.; Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo ("stress wave timer"). **R. Árvore**, v.34(2):345-354, 2010.
- DIAS, F. M.; FIORELLI, J.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A.; A utilização de fibra de vidro como reforço em madeira compensada. **MADEIRA: arquitetura e engenharia** Jan.-jun., 2003.
- DRAKE, P. R.; PACKIANATHER, M. S. A Decision Tree of Neural Networks for Classifying Images of Wood Veneer. **Int. J. Adv. Manuf. Technol.** 14:280-285, 1998.

- FRIHART, C. R. **Wood adhesion and adhesives: handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC, 2005.
- FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010. 200 p.
- FUNCK, J. W.; ZHONG, Y.; BUTLER, D.A.; BRUNNER, C.C.; FORRER, J.B. Image segmentation algorithms applied to wood defect detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, 41 (2003) 157/179
- GALPARSORO, L.; FERNÁNDEZ, S. P. Medidas de concordância: el índice Kappa. 2010. Disponível em: <<http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.htm>>. Acesso em: 04 fev. 2017.
- GERNANDT, D. S.; LÓPEZ, G. G.; GARCÍA, S. O.; LISTON, A. Phylogeny and classification of *Pinus*. **TAXON**, 54 (1), February, p. 29-42. 2005.
- GOGUL, I.; KUMAR, V. Flower species recognition system using convolution neural networks and transfer learning. **4th International Conference on Signal Processing, Communications and Networking (ICSCN -2017)**, March 16 – 18, 2017, Chennai, India, 2017 DOI: 10.1109/ICSCN.2017.8085675.
- GOMINHO J., FIGUEIRA J., RODRIGUES J. C., PEREIRA H. Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in the *Eucalyptus* hybrid urograndis (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). **Wood Fibre Sci** 33:3–8, 2001.
- GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis compensado de Eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências. **CERNE**, vol. 15, n.1, Jan.-mar, 2009, pp. 10-18. Lavras, Brasil.
- GUO, F.; ALTANER, C. M. Properties of rotary peeled veneer and laminated veneer lumber (LVL) from New Zealand grown *Eucalyptus globoides*. **New Zealand Journal of Forestry Science** (2018) 48:3
- HAFEMANN, L. G.; OLIVEIRA, L. S.; CAVALIN, P. Forest species recognition using deep convolutional neural networks. **22nd International Conference on Pattern Recognition**, 1103 – 1107 p. 2014.
- HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENEZES, L. F.; Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *EUCALYPTUS GRANDIS*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155 2004.

- HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de *Pinus*, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído. 2000. 96 p. **Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)** – Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000.
- HU, K.; WANG, B.; SHEN, Y.; GUAN, J.; CAI, Y. Defect identification method for poplar veneer based on progressive growing generated adversarial network and MASK R-CNN model. **BioResources** 15(2), 3041-3052, 2020.
- HUANG, F. J.; LECUN, Y. Large-scale Learning with SVM and Convolutional Nets for Generic Object Categorization. **IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)**, 2006, pp. 284-291, doi: 10.1109/CVPR.2006.164.
- HUBER, H. A.; MCMILLIN, C. W.; MCKINNEY, J. P. Lumber defect detection abilities of furniture rough mill employees. **FOREST PRODUCTS JOURNAL** Vol. 35, 79-82 p. No Nov/Dez, 1985.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ, **Relatório anual 2018**. Brasília, p. 80, 2019.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ, **Relatório anual 2019**. Brasília, p. 100, 2020.
- IWAKIRI S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fupef; 2005.
- IWAKIRI, S.; DEL MENEZZI, C. S.; LATORRACA, C.; VENSON, I.; MATOSKI, S. S. Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* com resina Fenol-formaldeído. **Cerne**, V.8, n. 2, p. 092- 0,97, 2002.
- IWAKIRI, S.; MANHIÇA, A. A.; RAMIREZ, M. G. L.; MATOS, J. L. M. de; BONDUELLE, G. M.; PRATA J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados de *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii* com diferentes composições estruturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 315-321, abr.-jun., 2012.
- IWAKIRI S.; MATOS, J. L. M.; FERREIRA, E. S.; PRATA J. G.; TRIANOSKI, R. Produção de painéis compensados estruturais com diferentes composições de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.3, p.569-576, 2012.
- IWAKIRI, S.; NETO, A. R.; ALMEIDA, B. C.; BIASI, C. P.; CHIES, D.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; RIGATTO, P. A.; BETTEGA W. P. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, 2006.

- IWAKIRI, S.; NIELSEN, I. R.; ALBERTI, R. A. R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas de compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **CERNE**, V. 6, N. 2, P. 019-024, 2000.
- IWAKIRI, S.; SANCHES, F. G.; POTULSKI, D. C.; SILVA, J. B.; ANDRADE, M.; MARCHESAN, R. Avaliação do potencial de uso de espécies de *Pinus* tropicais e eucalipto na produção de painéis compensados uréicos. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 277 - 284, abr./jun. 2012b.
- IWAKIRI S., TRIANOSKI R., CUNHA A. B., PRATA J. G., HARA M., BILA N. F. *et al.* Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Forestalis**, 2013; 41(99).
- KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. DE; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. de; **Química da madeira**, 3º ed., Curitiba, 2005.
- KOLLMANN, F. F.P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. **Principles of Wood Science and Technology - II Wood Based Materials**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg XII, 703p. 1975. DOI: 10.1007/978-3-642-87931-9.
- KWON, O.; LEE, H. G.; LEE, M.; JANG, S.; YANG, S.; PARK, S.; CHOI, I.; YEO, H. Automatic Wood Species Identification of Korean Softwood Based on Convolutional Neural Networks. **J. Korean Wood Sci. Technol.** 2017, 45(6): 797~808.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. GTZ Eschborn (tradução de Guilherme de Almeida-Sedas e Gilberto Calcagnatto) – Rossdorf: TZ – Verl. – Ges, 1990.
- LECUN, Y.; BENGIO, Y. Convolutional networks for images, Speech, and time-series. **The handbook of brain theory and neural networks** 3361.10 (1995): 1995.
- LECUN, Y.; BOSER, B.; DENKER, J. S.; HENDERSON, D.; HOWARD, R. E.; HUBBARD, W.; JACKEL, L. D. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. **Neural Computation** 1989;1(4):541–551.
- MARCHIORI, J. N. C.; **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria, Editora UFSM, 161p. 2005.
- MARRA, F. S. **Technology of wood bonding – principles in practice**. Van Nostrand Reinhold, New York. 453p. 1992.
- MATTOS, P. P.; BORTOLI, C.; MARCHESAN, R.; ROSOT, M. C. Caracterização Física, Química e Anatômica da Madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Comunicado Técnico**, Colombo, n. 160 2006.

- MENDES, R. F.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARLET, A.; VIDAL, J. M.; ALMEIDA, N. F.; JANKOWSKY, I. P. Resistência de painéis compensados de *Pinus taeda* tratados com preservantes ao ataque de fungos xilófagos. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 105-112, jan./mar. 2014
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 111 p.
- MUNIZ, G. I. B.; IWAKIRI, S.; VIANA, L. C.; ANDRADE, M.; WEBER, C.; ALMEIDA, V. C. Production of plywood panels from *Pinus taeda* using veneers of differing densities and phenol-formaldehyde resin with high and low molecular weights. **Cerne**, v.19, n.2, p.315-321, abr/jun., 2013.
- NOCK, H. P., RICHTER, H. G.; Adesão e Adesivos – Adesivos e sua aplicação na indústria madeireira. **Tópicos de Tecnologia da Madeira**. Universidade Federal do Paraná, 94p., Curitiba, 1978.
- OLIVEIRA, A. P. A. Um método para classificação de imagens de madeira usando Local Binary Patterns. **Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)**. Universidade Federal de Pernambuco - UFP Recife, PB, p. 127, 2013.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 113-124, dez. 1999.
- PALMA, H. A. L.; MARCO, J. T.; BALLARIN, A. W. Propriedades físicas e mecânicas de compensados com lâminas de *Pinus taeda* L. tratadas com CCA. **Anais do II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera / II Congresso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la construcción**. T4-04, Buenos Aires, Argentina.
- PRATA, J. G.; Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP). **Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)** – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fiber biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). *IAWA Journal*, Vol. 27 (3), 2006: 243–254

- RAKNES, E.; The Influence of Production Conditions on the Strength of Finger-Joints, Production, marketing and use of finger-jointed sawnwood. **Forestry Sciences** p.282, Hague, Holland. 1982.
- RAVINDRAN, P.; COSTA, A.; SOARES, R.; WIEDENHOEFT, A. C. Classification of CITES-listed and other neotropical Meliaceae wood images using convolutional neural networks. **Plant Methods** (2018) 14:25 <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0292-9>.
- REIS, M. S., CARNEIRO, C. M. R., GALVÃO, A. P. M., SOBRAL Filho, M., PAIXÃO, J. C., LISBOA, C. D. J., SIQUEIRA, J. D. P. Adesão e Adesivos para Madeira – Teorias de Adesão e a Natureza das Colagens com Madeira. **Série Técnica**. Ministério da Agricultura, Laboratório de Produtos Florestais, 22p. Brasília, DF. 1982.
- RIBEIRO, B. M. G., KUX, H. J. H. Classificação orientada a objeto para mapeamento do uso do solo – métodos de análise de expansão urbana. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Natal. 2009
- SÁ, V. A.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; BUFALINO, L.; COUTO, A. M.; MENDES, L. M.; SANTOS R. C. Absorção de superfície de painéis compensados. **Cerne**, Lavras, V. 16, Suplemento, p 53-57, jul. 2010.
- SELLERS JR., T. Adhesive in the Wood Industry. In: PIZZI. A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994.
- SHARMA S. K.; SHUKLA, S. R.; SHASHIKALA, S.; SRI POORNIMA, V. Axial variations in anatomical properties and basic density of Eucalypt urograndis hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) clones. **Journal of Forestry Research** Volume 26, Issue 3, pp 739–744, sep. 2015.
- SHI, J.; LI, Z.; ZHU, T.; WANG, D.; NI, C. Defect detection of industry wood veneer based on NAS and multi-channel mask R-CNN. **Sensors** 2020, 20, 4398; doi:10.3390/s20164398.
- SI GROUP CRIOS RESINAS S/A. Resina para madeira ARGOS 660 HT. Rio Claro, SP, 2018. 2p. (**Boletim Técnico**).
- SI GROUP CRIOS RESINAS S/A. Resina para madeira CR-7015/12. Rio Claro, SP, 2018 2p. (**Boletim Técnico**).
- SOUZA, F. Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não destrutiva de painéis de lâminas paralelas (LVL) com madeira de *Pinus oocarpa* e *P. kesiya*.

- 133p. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade de Brasília, Faculdade de tecnologia, Brasília, 2009.
- SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C.; Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **FLORESTA**. Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012.
- TODOROKIA, C. L.; LOWELL, E.C.; DYKSTRA, D. Automated knot detection with visual post-processing of Douglas-fir veneer images. **Computers and Electronics in Agriculture** 70 (2010) 163–171
- TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta e Ambiente** 2013; v. 20 (3) p.398-406.
- TSOUMIS, George T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. Vol. 115. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- URBONAS, A.; RAUDONIS, V.; MASKELIUNAS, R.; DAMAŠEVICIUS, R. Automated identification of wood veneer surface defects using faster region-based convolutional neural network with data augmentation and transfer learning. **Appl. Sci.** 2019, 9, 4898; doi:10.3390/app9224898
- VIEIRA, F. H. A. Image processing through machine learning for wood quality classification. **Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Guaratinguetá, Brasil, 119 p. 2016.
- WELLONS, J. D.; KRAHMER, R. L.; SANDOE, M. D.; JOKERST, R. W. Thickness loss in hot-pressed plywood. **FOREST PRODUCTS JOURNAL** VOL. 33, No. 1. jan. 1983.
- YANG, F.; WANG, Y.; WANG, S.; CHENG, Y. Wood Veneer Defect Detection System Based on Machine Vision at International Symposium on Communication Engineering & Computer Science (CECS 2018) **Advances in Computer Science Research**, v. 86, 2018.
- YANG, Y.; ZHOU, X.; LIU, Y.; HU, Z.; DING, F. Wood defect detection based on depth extreme learning machine. *Appl. Sci.* 2020, 10, 7488; doi:10.3390/app10217488
- ZAMRI, M. I. P.; CORDOVA, F.; KHAIRUDDIN, A. S. M.; MOKHTAR, N.; YUSOF, R. Tree species classification based on image analysis using Improved-Basic Gray

Level Aura Matrix. **Computers and Electronics in Agriculture**, 124 (2016) 227–233.

ZHANG J, YAO M, CHEN J, JIANG Z, MA Y. Synthesis and properties of polyurethane elastomers based on renewable castor oil polyols. **J. Appl. Polym. Sci.**; 136,47309, 2019.