



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Matheus Filipe Cunha Silva

Comportamento da madeira de Tauari (*Couratari oblongifolia* ducke) tratada termicamente e comparada a madeira tratada com um produto de acabamento submetidas à fotodegradação artificial

Brasília-DF

2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE TAUARI (*Couratari oblongifolia*
ducke) TRATADA TERMICAMENTE E COMPARADA A MADEIRA TRATADA
COM UM PRODUTO DE ACABAMENTO SUBMETIDAS À FOTODEGRADAÇÃO
ARTIFICIAL**

Aluno: Matheus Filipe Cunha Silva

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Produtos Florestais

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez

Coorientadoras: Dr. Marcella Hermida de Paula

Msc. Loyane Fernandes da Silva

Trabalho apresentado ao Departamento de
Engenharia Florestal da Universidade de Brasília,
como parte das exigências para obtenção do título
de Engenheiro Florestal.

Brasília, maio de 2021

AGRADECIMENTOS

À toda a minha família. Especialmente, aos meus pais Rosângela e Sebastião, pelo amor e apoio de sempre. E meus tios Rosana e Hector pelo suporte e carinho;

Aos amigos, Bia, Nathaly, Augusto, Gabriel O., Luisa G., Breno, Cris, Luisa A., Jessica, Ana, Gabriel S., Fernanda, Nathalia e Serena pela grande amizade que formamos durante os últimos anos e por ter podido contar com vocês para o que precisasse;

Às minhas coorientadoras Dr^a Marcella Hermida de Paula e Msc. Loyane Fernandes da Silva, por toda a ajuda, orientação e paciência. Não importava o horário ou o dia estavam dispostas a me auxiliar. Tenho uma profunda admiração, gratidão e respeito por vocês.

À Dra. Mirian por ter me ajudado com a utilização do software estatístico para análise de dados.

Ao Dr. Joaquim González, meu orientador, pela disponibilização de todo o material e equipamentos necessários para a pesquisa, inclusive durante esse período tão difícil que foi a pandemia.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

A madeira de tauari (*Couratari oblongifolia*) é uma espécie alternativa a outras madeiras utilizadas, principalmente na construção civil e na movelaria. Este estudo contribui para o conhecimento da madeira desta espécie visando seu melhor aproveitamento nos diversos segmentos industriais. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a alteração da cor e da rugosidade da madeira de tauari tratadas termicamente e com verniz submetidas à fotodegradação artificial. As amostras do T1 e T2 passaram respectivamente pelo tratamento térmico na estufa e na prensa enquanto as de T4 foram lixadas e depois aplicado verniz marítimo fosco. Todas as amostras passaram pela fotodegradação artificial totalizando 650 horas de exposição. Após cada ciclo, foram obtidos parâmetros colorimétricos e de rugosidade. Na análise colorimétrica, os parâmetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C e h^*) foram mensurados usando o espectrofotômetro Color Eye – XTH- X- e os parâmetros de rugosidade (R_a , R_z e R_q) foram obtidos por meio do equipamento rugosímetro SurfTest SJ-401, da marca Mitutoyo. A espécie sofreu variações significativas na sua coloração ao ser tratada termicamente e com a aplicação do verniz, e também quando submetida à fotodegradação, exceto pelo tratamento na estufa que não sofreu variação significativa para o parâmetro L^* . Além disso, foi possível observar que todos os tratamentos apresentaram uma maior proteção à fotodegradação, em especial o acabamento com verniz foi o que apresentou menos variação total de cor mostrando assim uma maior proteção da madeira. Contudo o tratamento térmico na estufa se mostrou um bom tratamento, visto que sua variação total de cor causada pela fotodegradação foi a segunda menor, perdendo somente para o verniz, além de manter uma coloração mais próxima à da madeira original. A rugosidade não foi afetada significativamente pelo processo de fotodegradação, contudo observou-se uma variação decorrente do tipo de tratamento aplicado, em que as amostras com tratamento térmico na estufa se mostraram as mais rugosas e as amostras com a aplicação do verniz as menos rugosas.

Palavras-chave: Tauari, fotodegradação artificial, tratamento térmico, verniz

ABSTRACT

Tauari wood (*Couratari oblongifolia*) is an alternative species to other woods used mainly in civil construction and furniture. This study contributes to the knowledge of the wood of this species with a view to its better use in different industrial segments. The objective of this research is to evaluate the change in color and roughness of heat treated and varnished tauari wood submitted to artificial photodegradation. Samples from T1 and T2 underwent heat treatment in the oven and in the press, respectively, while those from T4 were sanded and then matte marine varnish was applied. All samples underwent artificial photodegradation totaling 650 hours of exposure. After each cycle, colorimetric and roughness parameters were obtained. In the colorimetric analysis, the colorimetric parameters (L^* , a^* , b^* , C and h^*) were measured using the Color Eye spectrophotometer – XTH-X- and the roughness parameters (R_a , R_z and R_q) were obtained using the Surftest SJ-401 roughness equipment, Mitutoyo brand. The species underwent significant variations in its color when thermally treated and with the application of varnish, and also when submitted to photodegradation, except for the treatment in the oven, which did not change significantly for the L^* parameter. In addition, it was possible to observe that all treatments presented greater protection against photodegradation, in particular the varnish finish was the one with less total color variation, thus showing greater protection of the wood. However, the heat treatment in the oven proved to be a good treatment, as its total color variation caused by photodegradation was the second smallest, losing only to the varnish, in addition to maintaining a color closer to that of the original wood. The roughness was not significantly affected by the artificial photodegradation process, however there was a variation due to the type of treatment applied to it, where the samples with heat treatment in the oven were the roughest and the samples with the application of varnish were the least rough.

Key-words: Tauari, artificial photodegradation , heat treatment, varnish

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Representação dos tratamentos.....	17
Tabela 2. Classificação da variação total da cor (ΔE^*) de madeiras.....	22
Tabela 3. Média dos parâmetros colorimétricos da madeira de tauari sem tratamento (Testemunha), tratadas com verniz e tratada termicamente com estufa e prensa para cada período de fotodegradação.....	24
Tabela 4. Variação total da cor (ΔE) entre a madeira de tauari in natura e a madeira tratada antes da realização do ensaio de fotodegradação artificial.....	31
Tabela 5. Variação total da cor (ΔE) para madeira de tauari sem tratamento, tratada com verniz e termicamente com estufa e prensa para cada tempo de exposição.	32
Tabela 6. Média dos parâmetros colorimétricos da madeira de tauari sem tratamento (Testemunha), tratadas com verniz e tratada termicamente com estufa e prensa para cada período de fotodegradação.....	35
Tabela 7. Subconjuntos Representantes para todos os parâmetros da rugosidade (R_a , R_z e R_q).	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b*	13
Figura 2. Produto de acabamento utilizado (Verniz marítimo fosco)	18
Figura 3. Estufa adaptada	19
Figura 4. Prensa hidráulica IDUMEC	20
Figura 5. Rugosímetro Surfrest SJ - 400 (Mitutoyo).....	20
Figura 6. Espectrofotômetro Color Eye XTH - X-Rite	21
Figura 7. Câmara de intemperismo acelerado modelo QUV/SPRAY da empresa Q-lab	23
Figura 8. Gráfico das médias marginais estimadas do parâmetro colorimétrico L* para os tratamentos durante o ensaio de fotodegradação	26
Figura 9. Gráfico das médias marginais estimadas do parâmetro colorimétrico a* para os tratamentos durante o ensaio de fotodegradação	27
Figura 10. Gráficos das médias marginais estimadas do parâmetro colorimétrico b* e C para os tratamentos durante o ensaio de fotodegradação	28
Figura 11. Gráfico das médias marginais estimadas do parâmetro colorimétrico h* para os tratamentos durante o ensaio de fotodegradação	30
Figura 12. Coloração das amostras da madeira de tauari para as amostras no tempo zero (T0).....	31
Figura 13. Coloração das amostras da madeira de tauari para as amostras no tempo final (T650).....	34
Figura 14. Amostras da madeira de tauari para as amostras no tempo final (T650).....	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1. ESPÉCIE ESTUDADA	11
3.2. COR DA MADEIRA	12
3.3. RUGOSIDADE SUPERFICIAL DA MADEIRA	13
3.4. LIXAMENTO	14
3.5. PRODUTO SUPERFICIAL DE ACABAMENTO	14
3.6. TRATAMENTO TÉRMICO	15
3.7. FOTODEGRADAÇÃO DA MADEIRA	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1. ORIGEM E PREPARO DO CORPOS DE PROVA	16
4.2 TRATAMENTO COM VERNIZ	17
4.3 TRATAMENTOS TÉRMICOS	18
4.3.1 TRATAMENTO NA ESTUFA	18
4.3.2 TRATAMENTO NA PRENSA HIDRÁULICA	19
4.4 ENSAIO DE RUGOSIDADE	20
4.5 ENSAIO DE COLORIMETRIA	21
4.6 ENSAIO DE FOTODEGRADAÇÃO ARTIFICIAL	22
4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6. CONCLUSÃO	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

A construção civil e a indústria moveleira destacam-se como os principais setores de consumo de madeira advinda da Amazônia e, para garantir o seu suprimento e uso sustentável, é preciso analisar a origem dessas madeiras, a fim de saber se é legal e não predatória (IPT, 2013).

No Brasil, assim como no restante dos trópicos, as florestas têm sido ameaçadas pelo uso madeireiro predatório, por incêndios florestais e pela expansão da agropecuária. Para assegurar a manutenção da cobertura florestal da Amazônia é crucial apoiar o uso racional das florestas por meio da adoção do manejo florestal sustentável, a fim de que se possa manter a integridade da floresta (MARGULIS, 2003).

Uma forma para se conseguir essa sustentabilidade seria a ampliação das espécies comerciais a serem exploradas, com a utilização de espécies de madeira que possuem disponibilidade conhecidas, presentes no mercado e provenientes de operações florestais sustentáveis. A madeira de tauari (*Couratari oblongifolia*) se apresenta como uma boa alternativa de substituição de outras madeiras exaustivamente exploradas (IPT, 2013).

O tauari é uma madeira com um valor comercial crescente como foi constatado pelo Ibama desde 2006. Seu valor de mercado é competitivo com espécies similares. Trata-se de uma espécie moderadamente macia ao corte com resistência mecânica e retratibilidade médias, que possibilita um bom acabamento sem apresentar defeitos significativos na secagem em estufa, podendo apresentar defeitos leves no caso de secagem ao ar livre (IPT, 1989).

Dentro dos usos da madeira para fins moveleiros, tem-se utilizado a espécie para móveis em ambientes externos como decks, cadeira de sol, mesas e caramanchões. Contudo as peças de madeira, quando expostas em ambientes externos, absorvem a radiação solar e acabam por sofrer, principalmente por causa da incidência dos raios ultravioletas, degradação fotoquímica, que é um fenômeno natural. Isso compromete essa madeira de formas variadas, tornando-a descolorada ou acinzentada, amarelada ou escurecida. Essa variação depende da influência da composição da madeira e principalmente dos tipos de extrativos presentes (AYADI et al., 2003; COSTA et al., 2011).

Dessa forma, a madeira acaba menos atrativa quando comparada com materiais concorrentes, como o aço, plástico e concreto (FABIYI & OGUNLEYE, 2015). A fim de

contornar essa situação e tornar a madeira mais atrativa são utilizadas técnicas variadas, como por exemplo, o uso de produtos de acabamento e o tratamento térmico. Esta última é uma técnica preservativa ecologicamente amigável, já que não apresenta uso de produtos químicos.

O tratamento térmico da madeira, ou como também é conhecido termorretificação, é realizado por meio do aquecimento de amostras em faixas de temperaturas inferiores à 280°C, temperatura na qual a madeira começa a ser carbonizada. Essa técnica apresenta como benefícios os acréscimos na estabilidade dimensional da madeira, na dureza superficial, na resistência contra intempéries, nas propriedades de molhabilidade e na ligação com adesivos hidrofóbicos. Devido a essa redução na variação dimensional, é possível incrementar espécies anteriormente descartadas no mercado e agregar valor de comercialização das espécies já comercializadas (PERTUZZATTI et al., 2016). Apesar de alterar a cor original da madeira, a técnica a torna mais resistente no decorrer do tempo, como demonstrado no estudo de George et al. (2005) onde os tratamentos térmicos e fotoquímicos podem ser empregados para aumentar a resistência da madeira à fotodegradação.

Os produtos utilizados nas superfícies da madeira para acabamento, tais como vernizes, têm como finalidade retardar o envelhecimento e a degradação da madeira, preservando-as da incidência dos raios ultravioletas. Contudo, geralmente estes produtos acabam por modificar a coloração e a textura original da madeira. O verniz natural marítimo fosco, à base de resinas alquídicas modificadas com poliuretano e pigmentos transparentes absorventes, tem como propósito a proteção contra intempéries, radiação solar e também pode ser utilizado para decoração com uma cor que agrade mais ao consumidor.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a alteração da cor e da rugosidade da madeira de tauari (*Couratari oblongifolia*) tratada termicamente e com verniz submetidas à fotodegradação artificial.

2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a alteração da cor das amostras de madeira submetidas à fotodegradação artificial;
- Avaliar a alteração da cor da madeira após a aplicação dos diferentes tratamentos;
- Avaliar as modificações na rugosidade superficial das amostras de madeira no sentido transversal as fibras causadas pelos tratamentos ou pelos fotodegradação artificial;
- Analisar a influência do uso de produto de acabamento superficial e do tratamento térmico no processo de fotodegradação;
- Contribuir para o conhecimento tecnológico da espécie estudada e propiciar uma maior visibilidade para o uso da espécie como alternativa no manejo florestal;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. ESPÉCIE ESTUDADA

Couratari oblongifolia ducke (Tauari)

O tauari, da família Lecythidaceae, é uma espécie nativa da região amazônica que também pode ser encontrada no Acre, Amapá, Pará e Rondônia. O termo tauari pode apresentar variação de características da madeira pois ele é utilizado para outras espécies como *Couratari guianensis* Aublet, *C. oblongifolia* Ducke & Knuth, *C. pulchra* Sandwith e *Cariniana micrantha* Ducke, como constatado pelo IBAMA (1991).

Procópio e Secco (2008) descreveram essa espécie como sendo de grande porte arbóreo, com altura média entre 30 e 45 metros e tronco de 30 a 106 centímetros de diâmetro, além de apontar a presença de sapopemas tabulares retas e côncavas de 2,5 a 7 metros de altura com fuste cilíndrico.

Sua madeira tem densidade aparente média entre 0,61 e 0,66 g/cm³ e não apresenta diferenciação de cores entre o cerne e o alborno, expondo de um tom branco-amarelado a um bege, o que a torna uma escolha para consumidores que preferem tons mais sutis e neutros. Sua madeira é moderadamente macia ao corte, com a possibilidade de um bom acabamento. Todavia, algumas vezes, a superfície pode ficar com aparência felpuda, mesmo tendo um corte macio; algumas espécies possuem sílica, que contribuem para um maior desgaste das ferramentas (IPT, 1989).

Apresenta moderada velocidade de secagem com baixo nível de defeitos e sua resistência física é moderada, podendo ser considerada baixa para ataques de organismos

xilófagos. Revela ótima tratabilidade e permeabilidade tanto para soluções preservantes oleossolúveis quanto para hidrossolúveis (IPT, 1989).

3.2. COR DA MADEIRA

Na visão humana, o conceito de coloração é um atributo derivado da percepção que temos sobre uma imagem, que foi desencadeada por uma resposta produzida pelo cérebro devido à captação de luz do ambiente pelos fotorreceptores presentes na retina, assim constatado por Lima et al. (2011).

Com o propósito de determinar a coloração da madeira diminuindo assim a variância por meio da subjetividade, foram desenvolvidos dois métodos: um comparativo e outro quantitativo. O método comparativo utiliza sistemas de ordenações de cores como forma de se medir e comparar a coloração da madeira; como exemplo de sistema teríamos o “sistema de Munsell”. O método quantitativo, por se basear na ciência da medição de cor como a colorimetria, que tenta descrever a percepção da coloração pela visão humana, se embasa em modelos matemáticos (GONÇALEZ et al., 2001).

O CIELAB é o sistema mais conhecido e utilizado para a classificação e caracterização da madeira pelo método quantitativo (COSTA et al., 2011). É fundamentado na tonalidade (matiz), luminosidade (claridade) e na saturação (cromaticidade). A tonalidade é o que nos permite identificar a variação de cores distintas (vermelho e verde). A saturação, por sua vez, é a intensidade com que essa cor é apresentada, sendo mais viva e pura ou mais suja e acinzentada. Por fim, a luminosidade representa o quão clara ou escura é a cor (GONÇALEZ et al., 2001).

O Cielab explicita métodos desenvolvidos com a finalidade de apresentar as cores de forma numérica, a técnica de mensuração cromática ($L^*a^*b^*$), que tem como base três eixos espaciais perpendiculares entre si, os quais oferecem variâncias numéricas mais estáveis levando em consideração as diferenças visuais (Commission Internationale de L'Eclairage, 2004). A luminosidade presente na fórmula é simbolizada pela coordenada L^* , a qual varia entre zero que representa o preto (máxima escuridão) e 100 que representa o branco (máxima claridade). Os parâmetros a^* e b^* descrevem as coordenadas cromáticas, as quais variam de -60 e +60 (JÚNIOR & LENGOWSKI, 2018; CAMARGOS & GONÇALEZ, 2001).

Por sua vez, o parâmetro C representa a saturação ou cromaticidade, sendo calculada por meio da distância radial entre a localização da cor e o centro do espaço, assim caracterizando

a quantidade do pigmento presente. Por fim, tem-se o ângulo de tinta h^* que simboliza a tonalidade e nos repassa a diferenciação de cor variando entre 0° e 90° , segundo concluíram Camargos e Gonzalez (2001) ao observar diversas espécies tropicais brasileiras (Figura 1). Como corrobora a Commission Internationale de L'Eclairage (2004), o sistema CIELAB é analisado conforme a sinalização e numeração sendo: $+a^*$ aumento na faixa vermelha, $-a^*$ aumento na faixa verde, $+b^*$ aumento na faixa amarela e $-b^*$ aumento na faixa azul, representando assim a tonalidade.

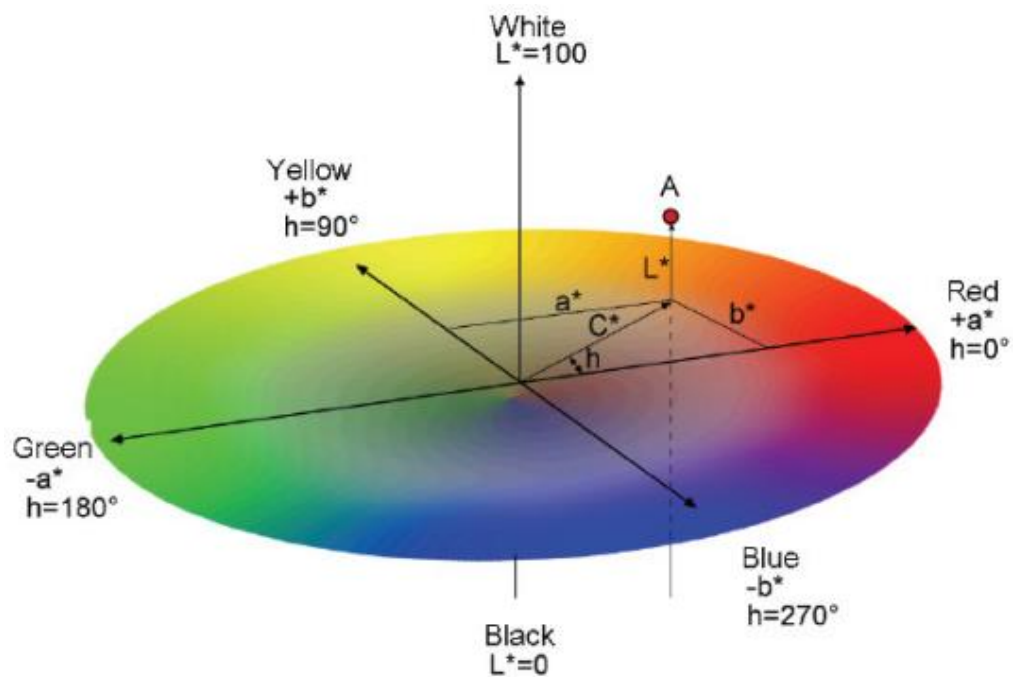


Figura 1. Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b*.

Fonte: Johansson, 2005.

3.3. RUGOSIDADE SUPERFICIAL DA MADEIRA

Apalpamento mecânico, avaliação de cavaco, capacitância, emissão acústica, laser, ultrassom, pneumática, ótica paramétrica e não paramétrica, microscopia e rugosímetro são algumas das diversas formas de se realizar uma análise sobre a qualidade da superfície da madeira (CASTRO, 2000; LOPES et al., 2014).

Mesmo que as indústrias brasileiras ainda não façam avaliações da qualidade da superfície da madeira em sua maioria, algumas delas estão buscando atingir melhores resultados com materiais de maiores qualidades. O rugosímetro é um dos equipamentos mais utilizados

nas indústrias para determinar a textura de superfícies de materiais, aferindo assim a variância vertical em função de um deslocamento horizontal (NEVES, 2016).

O valor gerado pelo rugosímetro de arraste se dá pela variação vertical presente na superfície durante a locomoção da agulha pelo caminho na madeira. Essa valoração encontrada vai ser dividida em 3 classes diferentes, por meio da medição da profundidade da rugosidade (R_a), na proporcional (R_z) e na horizontal (R_q) (BONDUELLE, 2003).

De acordo com Silva et al. (2006), o parâmetro R_a é baseado na medição da textura de uma superfície por meio do recurso da linha, enquanto o R_q se baseia na medição da textura semelhante àquela analisada pelo R_a , contudo utilizando outra fórmula. R_t por sua vez é calculado por meio da verificação da distância entre o pico mais alto e o vale mais baixo presente em cada parte da medição. Já o R_y simboliza o maior valor de R_t , entre todas as partes mensuradas da superfície. Por fim o R_z , que é um valor baseado na média de todos os valores de R_t .

3.4. LIXAMENTO

Segundo Zacarias (2012), o lixamento tem como objetivo criar uma superfície de madeira com a ausência de defeitos e uniformidades para melhor absorção de produtos de acabamento.

A técnica de lixamento nas indústrias moveleiras é uma das mais comuns com a finalidade de se preparar a superfície da madeira para o recebimento de produtos de acabamento e revestimento (DE MOURA & HERNANDEZ, 2006).

Consoante Tibúrcio (2009), um dos gargalos presentes na análise e caracterização do processo de lixamento é a diversidade dos equipamentos empregados e das diversas lixas com granulometrias distintas disponíveis no mercado. Ainda de acordo com a opinião do mesmo autor, são necessárias novas pesquisas sobre esse processo devido ao alto consumo de energia empregado e em virtude de a maioria das pesquisas realizadas sobre esse assunto serem antigas e não acompanharem o desenvolvimento das tecnologias.

3.5. PRODUTO SUPERFICIAL DE ACABAMENTO

Os produtos utilizados nas superfícies da madeira para acabamento, como vernizes usados na madeira, têm como finalidade retardar o envelhecimento e degradação da madeira,

preservando-as no combate aos raios ultravioletas. Apesar disso, é muito comum que estes produtos alterem a cor e a textura original da madeira. Esse fator pode ser considerado positivo caso a nova coloração adquirida pela peça seja melhor apreciada pelo mercado (Gonzalez et al., 2010)

Estes produtos podem ser tanto de origem natural quanto sintética. Dentre os produtos naturais, estão presentes no mercado os óleos e as ceras; já entre os produtos sintéticos, são utilizados os vernizes, as tintas e as seladoras. Todos eles, ao serem aplicados à superfície da madeira, apresentam funcionalidades como proteção, conservação, limpeza e lustração (DE SOUZA et al., 2011).

3.6. TRATAMENTO TÉRMICO

Usualmente o tratamento térmico da madeira ou termorretificação é realizado por meio do aquecimento de amostras em faixas de temperaturas inferiores à 280°C, com durações variando entre 15 minutos e 24 horas, a depender do tipo de processo, tamanho, umidade, espécie utilizada, composição química e estrutura anatômica. Levam em conta, também, as características desejadas para o produto final, como coloração, quantidade de defeitos na madeira, etc. (KAMDEM et al., 2002).

Atualmente no Brasil é utilizada essa termorretificação tanto para espécies nativas quanto para espécies exóticas, e as temperaturas mais utilizadas estão na faixa de 200°C (POUBEL, 2013).

Com elevadas temperaturas próximas a 280°C, segundo Silva (2006), a madeira começa a ser carbonizada, ocorrendo um processo onde a celulose e a hemicelulose, por apresentarem maior sensibilidade ao calor, sofrem modificações parciais em sua composição, gerando produtos sólidos, que apresentam características diferenciadas ao da madeira que não passou por todo o processo.

Essas modificações na composição podem ostentar benefícios na estabilidade dimensional da madeira, na dureza superficial, na resistência contra intempéries, nas propriedades de molhabilidade e na ligação com adesivos hidrofóbicos. Apesar de alterar a cor original da madeira, a técnica a torna mais resistente no decorrer do tempo, como demonstrado no estudo de George et al. (2005) em que os tratamentos térmicos e fotoquímicos podem ser empregados para aumentar a resistência da madeira à fotodegradação. Contudo, pela sua

redução na variação dimensional e até mesmo pela variação de coloração da madeira, por vezes pode ser possível incrementar espécies anteriormente descartadas no mercado e agregar valor de comercialização às espécies já comercializadas.

3.7. FOTODEGRADAÇÃO DA MADEIRA

A coloração é uma característica muito importante para madeiras que são utilizadas no interior e no exterior como forma de decoração ou estruturas visíveis. Diferentes mercados apresentam diferentes preferências pela coloração sendo mais clara ou mais escura, avermelhada ou amarelada, já que cada consumidor tem a sua preferência. Contudo, essa coloração e até mesmo a textura acabam sendo alteradas com o passar do tempo, devido à exposição a intempéries causadoras da deterioração das características físicas (SUDIYANI et al., 1999).

Apontam Sudyani et al. (1999) que a deterioração acontece pela modificação das estruturas dos polímeros da parede celular. Entre eles está a lignina, que é o principal representante da fotodegradação da madeira por absorver de 80 a 95% dos raios ultravioletas incididos.

Essa absorção de raios UV de forma sequencial acaba levando à oxidação de radicais livres que, ao reagirem com o oxigênio, produzem grupos carbonílicos e carboxílicos cromóforos, os quais geram essa variação de cor da madeira perceptível ao olho nu ao se acumularem. Dessa forma, em geral, a superfície da madeira se torna mais escurecida em um primeiro momento e, em um segundo momento, vai clareando para um tom acinzentado (PASTORE et al., 2008).

Essa alteração advinda do intemperismo pode levar de uma variação de cor a uma alteração de propriedades físicas, químicas e mecânicas a um nível tal que a peça pode se tornar comprometida, como afirma Mesquita (2016).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ORIGEM E PREPARO DOS CORPOS DE PROVA

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Anatomia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília.

Foram confeccionados 20 corpos de prova da espécie madeireira tauari (*Couratari oblongifolia*) com dimensão original próxima de 1cm de espessura x 5cm de largura x 8cm de comprimento, para que coubessem na câmara de envelhecimento. Essa maior área correspondente a face tangencial foi preparada para as análises.

Cinco corpos de prova serviram de testemunha T0 (não lixados ou tratados com o produto de acabamento, nem tratamento térmico); outros 10 corpos de prova receberam tratamento térmico, sendo cinco corpos de prova para cada um dos seguintes tratamentos combinados pela temperatura e pelo tempo de exposição em dois diferentes equipamentos: T1: estufa 200°C 30 minutos; T2: prensa 200°C 30 minutos. Por fim cinco foram lixados com lixas para madeira com gramatura 220 (T3). Esses corpos de prova lixados foram submetidos ao acabamento com verniz, totalizando 3 tratamentos mais as testemunhas, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Representação dos tratamentos.

Tratamento	Tratamento	Especificações
T0	Testemunha	Sem nenhum tratamento
T1	Estufa	200°C por 30 minutos
T2	Prensa	200°C por 30 minutos
T3	Verniz	Lixado com lixa 220

4.2 TRATAMENTO COM VERNIZ

Antes da aplicação do produto de acabamento superficial, as faces onde seriam aplicadas o produto foram lixadas. Foi utilizado uma lixa de granulometria 220 onde cada amostra foi lixada com pressão constante, sendo 5 passadas na lixa em uma direção e outras 5 em outra direção.

Foi utilizado de forma sistemática com uma única demão onde cada corpo de prova recebia quatro pinceladas de verniz natural marítimo fosco (marino mate) fabricado pela empresa Sparlack, cuja composição é resinas alquídicas modificadas com poliuretano e pigmentos transparentes absorventes de raios ultravioletas, solventes do tipo hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, agente fosqueante, além de aditivos (Figura 2). E foram deixados para

secar por 3 horas antes de realizar o teste do toque para saber se o verniz estava seco ao manuseio e em sequência foram realizados os testes de colorimetria e rugosidade.



Figura 2. Produto de acabamento utilizado (Verniz marítimo fosco).

Fonte: o autor.

4.3 TRATAMENTOS TÉRMICOS

Para ambos os tratamentos foram feitos ensaios preliminares com a finalidade de selecionar a temperatura final e duração da exposição na temperatura final.

4.3.1 TRATAMENTO NA ESTUFA

A estufa utilizada foi uma estufa adaptada pelo setor de Energia e Biomassa do LPF/SFB para ensaios de pirólise branda, com controle da taxa de oxigênio interna, limitada à temperatura máxima de 320°C (Figura 3).

Ensaio preliminares foram realizados a fim de selecionar a temperatura de aquecimento, temperatura final e duração da exposição na temperatura final. Por fim, as amostras foram colocadas na estufa com uma taxa de aquecimento de 2°C/min, com a temperatura máxima chegando a 200°C e permanecendo nessa temperatura por 30 minutos.



Figura 3. Estufa adaptada.

Fonte: o autor.

4.3.2 TRATAMENTO NA PRENSA HIDRÁULICA

A prensa utilizada foi uma prensa hidráulica INDUMEC do laboratório de Engenharia e Tecnologia de Produtos Florestais, na Fazenda Água Limpa – FAL/UnB., com capacidade de até 1000kN de força, com controle de pressão e temperatura (Figura 4).

Por fim, as amostras foram colocadas na prensa, entre duas chapas metálicas de forma que a prensa não entrasse em contato direto com as amostras. Dessa forma foram deixadas dentro da prensa com a temperatura máxima chegando a 200°C e permanecendo nessa temperatura por 30 minutos.



Figura 4. Prensa hidráulica IDUMEC.

Fonte: o autor.

4.4 ENSAIO DE RUGOSIDADE

O ensaio de rugosidade utilizou um rugosímetro da marca Surftest SJ - 400 (Mitutoyo) (Figura 5), calibrado, com cut-off de 0,8 mm e percurso de avaliação de 8mm de acordo com a norma JIS B 0601 (JIS, 2001). Com o intuito da realização deste teste, foram feitas 3 leituras em cada corpo de prova de cada tratamento, sempre no sentido transversal às fibras. São equidistantes esses locais onde foram feitas as leituras em cada corpo de prova, sendo essas leituras realizadas antes do ensaio de fotodegradação e após ciclo de fotodegradação. Foi confeccionado um gabarito em um papel quadriculado que permitia uma maior precisão nas leituras no mesmo ponto de cada peça.



Figura 5. Rugosímetro Surftest SJ - 400 (Mitutoyo).

Fonte: o autor.

Em cada leitura, o software nos fornecia os valores de três parâmetros de rugosidade das superfícies: Ra representando a média aritmética da rugosidade; Rz representando a média entre os cinco picos mais altos do perfil e a profundidade dos cinco vales mais profundos do perfil, medidos de uma linha paralela à linha média; e Rt representando a soma da altura do pico máximo do perfil e a profundidade do vale máximo do perfil da amostra avaliada.

4.5 ENSAIO DE COLORIMETRIA

Para o ensaio de colorimetria da madeira foi utilizado um espectrofotômetro da marca Color Eye XTH - X-Rite (Figura 6), com resolução de 3nm. Este equipamento vem equipado com uma esfera integradora de refletância difusa, iluminante D65 e ângulo de 10° C, o qual sempre foi calibrado antes de cada sessão de análise e utilizado em temperatura ambiente, acoplado a um microcomputador. Os parâmetros selecionados para avaliação colorimétrica foram: L* (claridade), coordenadas a* (coloração no eixo verde-vermelho), e b* (coloração no eixo azul-amarelo), C (saturação) e h* (ângulo de tinta). Em cada amostra foram realizadas 10 leituras na superfície que ficou à mostra no ensaio de fotodegradação.



Figura 6. Espectrofotômetro Color Eye XTH - X-Rite.

Fonte: o autor.

Com o intuito de medir e analisar as alterações na cor da madeira, após a aplicação dos tratamentos e fotodegradação, utilizou-se a variação total da cor (ΔE), metodologia apresentada pela norma ASTM D 2244 (2009), expressa pela seguinte equação (Equação 1):

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

Equação 1

Onde:

ΔE = variação total da coloração.

ΔL = variação da Luminosidade.

Δa e Δb = variação das coordenadas cromáticas (amostra tratada menos testemunha).

A Tabela 2 utilizada para classificar a variação da coloração foi elaborada por Hikita et al. (2001) que se baseou em níveis de percepção da cor, sendo esta tabela criada com o intuito de classificar os valores de variação de cor, ΔE^* .

Tabela 2. Classificação da variação total da cor (ΔE^*) de madeiras.

VARIAÇÃO DE COR (ΔE^*)	CLASSIFICAÇÃO
0,0 – 0,5	Desprezível
0,5 – 1,5	Ligeiramente perceptível
1,5 – 3,0	Notável
3,0 – 6,0	Apreciável
6,0 – 12,0	Muito apreciável

4.6 ENSAIO DE FOTODEGRADAÇÃO ARTIFICIAL

Os corpos de prova foram colocados dentro da câmara de envelhecimento e expostos à radiação ultravioleta que simula os efeitos da deterioração causada pelo intemperismo natural na superfície da madeira. Para tal, o equipamento utilizado para todos os ciclos foi a câmara de intemperismo acelerado modelo QUV/spray da empresa Q-lab (Figura 7). As amostras foram colocadas em suportes metálicos com sua face tangencial exposta à radiação simulada com lâmpadas fluorescentes UV de 340 nm com irradiância de $0,60 \times 10^4$ lux e 50°C de temperatura.

Todos os corpos de prova foram expostos à fotodegradação (radiação e temperatura) de forma acelerada conforme a Cool Whites da norma ASTM G154. (ASTM, 2006) durante os períodos de: 24h, 48h, 96h, 192h, 384h e 650h. Entre um ciclo e outro, as amostras foram retiradas da câmara para análise colorimétrica e de rugosidade.



Figura 7. Câmara de intemperismo acelerado modelo QUV/SPRAY da empresa Q-lab.

Fonte: o autor.

4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados retirados das variáveis colorimétricas e das variáveis de rugosidade foram obtidos diretamente pelos seus respectivos softwares de aquisição de dados e posteriormente dispostos em planilhas eletrônicas do software EXCEL 2019. Com auxílio do software IBM SPSS Statistics v.20, foi realizada uma ANOVA com dois fatores, objetivando avaliar não só o efeito principal de cada tratamento independente, mas também se há alguma interação entre eles e os diferentes tempos na câmara de fotodegradação. O teste de médias de Tukey a 5% de significância foi empregado em todos os dados que diferiram estatisticamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os valores médios dos parâmetros colorimétricos das amostras de madeira de tauari, sem tratamento (testemunha), tratadas com verniz e tratada termicamente na estufa e prensa em cada ciclo do ensaio de fotodegradação artificial.

A coordenada a* (por ser positiva representou a coloração vermelha) apresentou valores mais baixos quando comparada à coordenada b* (por ser positiva representou a coloração amarela), constatando-se que houve predominância da tonalidade amarela na formação da cor da madeira de tauari.

Tabela 3. Média dos parâmetros colorimétricos da madeira de tauari sem tratamento (testemunha), tratadas com verniz e tratada termicamente com estufa e prensa para cada período de fotodegradação.

	Tempo	L*	a*	b*	C*	h°
Testemunha	T 0h	73,59 a (2,60)	6,31 c (9,78)	27,90 b (7,09)	28,62 c (6,75)	77,21 b (1,96)
	T 24h	68,09 bc (1,77)	5,78 c (4,55)	30,72 b (1,24)	31,26 b (1,32)	79,35 a (0,49)
	T 48h	66,38 bc (1,45)	6,87 c (1,55)	31,68 ab (0,85)	32,41 b (0,77)	77,76 b (0,34)
	T 96h	65,97 c (2,00)	7,95 bc (1,74)	33,10 ab (1,28)	34,04 ab (1,20)	76,50 b (0,38)
	T 192h	61,10 d (13,19)	8,77 b (9,67)	30,79 ab (14,04)	32,02 b (13,69)	74,00 c (1,25)
	T 384h	61,79 d (2,48)	9,07 b (3,81)	32,36 ab (1,30)	33,61 ab (1,43)	74,36 c (0,58)
	T 650h	62,29 cd (2,54)	12,24 a (2,34)	33,80 a (1,49)	35,95 a (1,28)	70,08 d (0,80)
Estufa	T 0h	61,96 a (2,67)	8,44 bc (6,59)	26,35 b (3,93)	27,67 b (4,06)	72,26 b (0,96)
	T 24h	61,75 a (1,43)	6,89 c (8,34)	27,57 ab (4,63)	28,42 b (4,80)	76,00 a (0,81)
	T 48h	60,76 a (0,89)	6,79 c (8,19)	28,38 ab (4,95)	29,19 b (5,11)	76,56 a (0,62)
	T 96h	61,24 a (0,79)	7,28 c (6,79)	29,13 ab (3,50)	30,03 ab (3,66)	75,98 a (0,69)
	T 192h	60,31 a (1,58)	9,64 b (4,58)	30,19 a (2,77)	31,69 ab (2,93)	72,31 b (0,44)
	T 384h	59,07 a (0,77)	7,91 c (5,42)	29,81 a (3,03)	30,84 ab (3,17)	75,16 a (0,48)
	T 650h	60,46 a	12,29 a	30,85 a	33,21 a	68,27 c

		(1,89)	(3,29)	(2,97)	(2,98)	(0,37)
Prensa	T 0h	43,71 c (2,37)	10,96 a (5,37)	22,63 b (6,03)	25,15 ab (5,77)	64,15 d (1,15)
	T 24h	45,94 c (3,14)	7,15 b (3,09)	20,36 b (5,41)	21,58 b (5,09)	70,63 c (0,88)
	T 48h	46,41 bc (2,64)	7,50 b (6,68)	20,50 b (4,87)	21,83 b (5,01)	69,91 c (0,79)
	T 96h	48,33 b (2,73)	6,59 b (3,53)	22,36 b (4,07)	23,31 b (4,00)	73,57 ab (0,37)
	T 192h	51,09 ab (5,14)	7,58 b (8,19)	24,11 ab (9,59)	25,27 ab (9,45)	72,54 b (0,59)
	T 384h	50,13 ab (2,18)	6,78 b (3,43)	24,67 ab (3,93)	25,58 ab (3,86)	74,63 a (0,30)
	T 650h	52,32 a (1,90)	9,63 a (3,76)	25,81 a (3,66)	27,55 a (3,62)	69,54 c (0,54)
Verniz	T 0h	63,13 a (2,32)	15,21 a (11,07)	46,54 a (4,95)	48,97 a (5,44)	71,94 c (1,63)
	T 24h	61,24 ab (1,97)	11,41 c (14,40)	43,47 b (4,19)	44,95 b (4,85)	75,34 a (1,89)
	T 48h	60,39 ab (2,17)	11,51 bc (13,66)	42,25 b (4,63)	43,80 b (5,16)	74,80 ab (1,87)
	T 96h	60,19 ab (1,81)	11,84 bc (11,87)	42,58 b (3,89)	44,21 b (4,35)	74,49 ab (1,72)
	T 192h	59,55 ab (1,12)	12,55 bc (8,72)	42,19 b (4,16)	44,02 b (4,53)	73,47 b (1,01)
	T 384h	58,42 b (0,93)	13,03 b (9,53)	41,56 b (3,31)	43,57 b (3,79)	72,62 bc (1,52)
	T 650h	59,93 ab (1,51)	15,28 a (7,13)	43,02 b (3,15)	45,66 b (3,53)	70,47 c (1,17)

*() = coeficiente de variação. T0h – antes de sofrer fotodegradação, T24h – 24 horas de fotodegradação, T48h – 48 horas de fotodegradação, T196h – 96 horas de fotodegradação, T192h – 192 horas de fotodegradação, T384h – 384 horas de fotodegradação, T650h – 650 horas de fotodegradação. As médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Como evidenciado na Tabela 3, ao se avaliar o valor L* (luminosidade), esse valor para a testemunha, a partir de 24 horas de fotodegradação artificial, foi reduzida significativamente. Para a estufa, entretanto, não houve diferença estatística para a luminosidade, de forma que a fotodegradação ao longo das 650 horas não alterou a claridade da espécie nesse tratamento. A prensa teve efeito diverso, de forma que os valores de luminosidade foram elevados com a fotodegradação, principalmente com maior duração, de 650 horas. O verniz também apresentou

resultados promissores, em que não existiu diferença estatística para a fotodegradação testada, com exceção dos tempos de exposição de 0 horas e 384 horas.

Além disso, foi possível constatar que, para o parâmetro L^* , os tratamentos da estufa e da lixa não apresentaram diferença significativa. Tendências que ficaram mais visíveis na Figura 8.

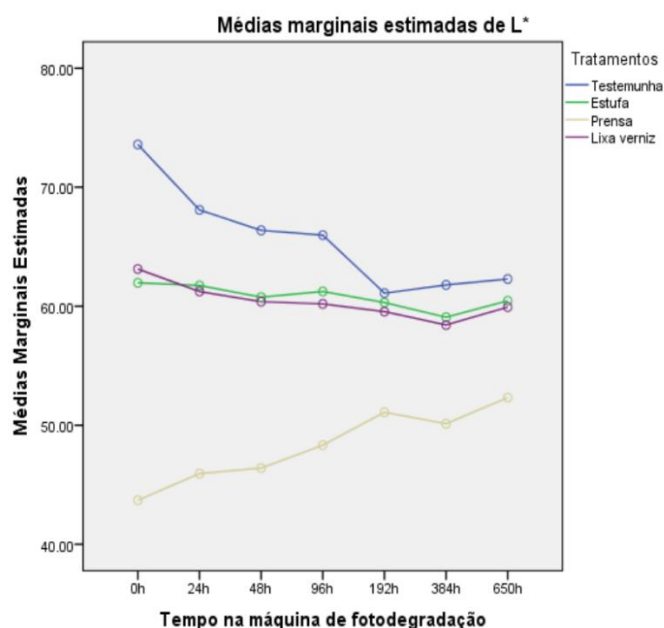


Figura 8. Gráfico das médias marginais estimadas do parâmetro colorimétrico L^* para os tratamentos durante o ensaio de fotodegradação.

Fonte: o autor.

O tratamento térmico na estufa foi o mais estável de todos em relação ao L^* , não apresentando nenhuma variação significativa após os ciclos de fotodegradação. O acréscimo no valor deste parâmetro, visto no tratamento na prensa, pode ter ocorrido devido ao seu maior impacto na estrutura e composição da madeira, já que a madeira antes de sofrer a fotodegradação já estava bem escurecida. E por fim a testemunha, que apresentou uma maior amplitude de variação no L^* que já era esperado pela ausência de qualquer proteção.

Em conformidade com Andrade et al. (2019), as amostras que sofreram maior impacto frente à termorretificação tenderam a clarear, como observado nas amostras tratadas na prensa. Enquanto aquelas com impacto mais brandos no L^* , mesmo com os valores não sendo diferentes estatisticamente, apresentaram uma pequena tendência de escurecimento mostrando uma suavização da curva de escurecimento o que era esperado por Andrade et al. (2019).

Na Tabela 3 e na Figura 9, ao se avaliar o valor a^* (coloração vermelha), a testemunha, se manteve constante até o ciclo de 48 horas e após isso manteve uma tendência positiva. Para a estufa, houve essa redução inicial nas 24 primeiras horas, após isso se manteve constante, com um aumento no ciclo de 192 horas seguido de uma redução para 384 horas. A prensa teve essa redução inicial significativa, após isso se manteve constante, com um aumento significativo no ciclo de 650 horas. O verniz a partir de 24 horas de fotodegradação artificial, foi reduzida significativamente, seguida de uma tendência positiva. Todos os tratamentos apresentaram um crescimento significativo entre os tempos de 684 horas e 650 horas.

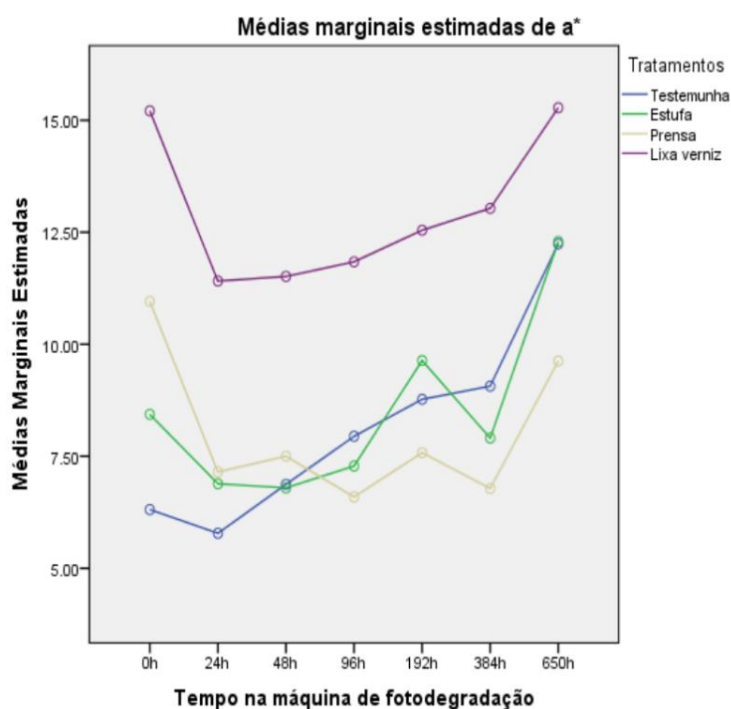


Figura 9. Gráfico das médias marginais estimadas do parâmetro colorimétrico a^* para os tratamentos durante o ensaio de fotodegradação.

Fonte: o autor.

Além desse detalhe, foi possível constatar, para o parâmetro a^* , a ramificação em 2 grupos diferentes significativamente entre si; um grupo com a testemunha, o tratamento na prensa e o tratamento na estufa que não apresentaram diferenças significativas entre si; e um grupo mais afastado somente com o verniz. É visível uma diminuição na coordenada a^* após as primeiras 24 horas para todos os tratamentos, assim como um aumento nessa mesma coordenada entre T384 e T650.

Os dados obtidos nos trabalhos de Costa et al. (2011) sobre o tauari submetido à fotodegradação artificial e no de Silva et al.(2007) do tauari submetido ao intemperismo artificial corroboram com a pesquisa, onde indiferentemente do tratamento escolhido para as amostras da madeira de tauari, as coordenadas b^* apresentaram valores mais elevados que as coordenadas a^* , assim sendo, a coordenada principal para essa espécie seria a b^* sendo uma madeira mais amarelada.

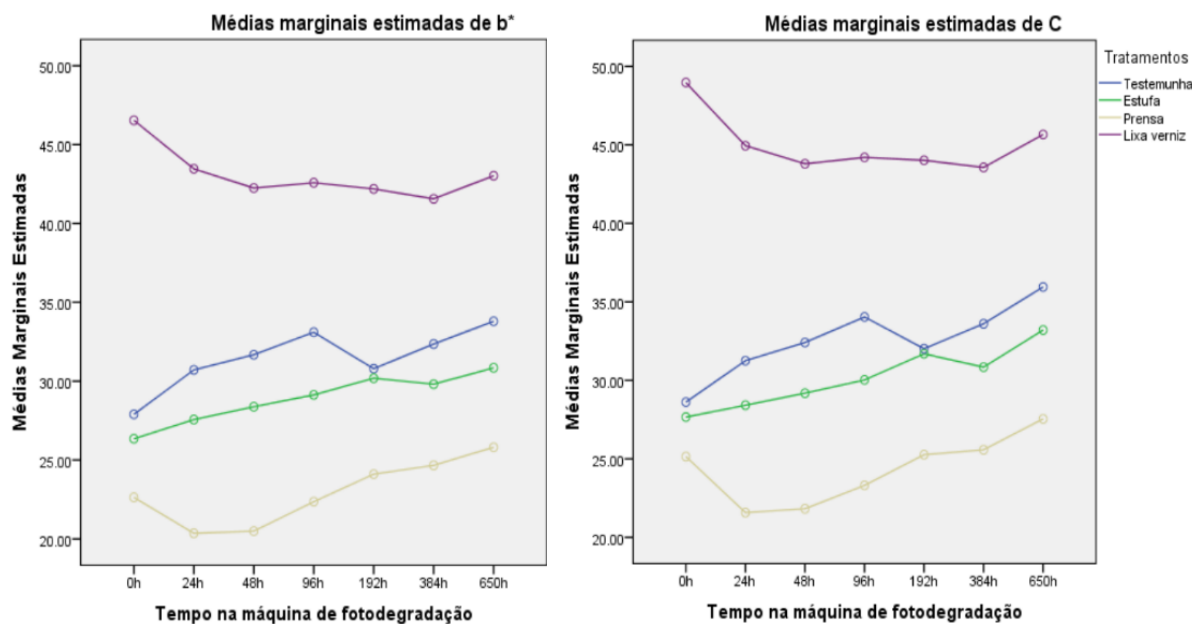


Figura 10. Gráficos das médias marginais estimadas do parâmetro colorimétrico b^* e C para os tratamentos durante o ensaio de fotodegradação.

Fonte: o autor.

Com a Tabela 3 e a Figura 10 foi possível avaliar o valor b^* (coloração amarela), que apresentou para testemunha, se manteve constante até o ciclo de 24 horas e após isso manteve uma tendência positiva. Para a estufa, houve um aumento inicial nas 24 primeiras horas, após isso se manteve constante, com um aumento no ciclo de 192 horas seguido de um aumento e se mantendo constante até o final. A prensa se manteve constante até o ciclo de 96 horas e uma tendência de aumento até o final do ensaio. O verniz por sua vez teve uma diminuição partir de 24 horas e se manteve constante até o final.

Além disso, cada tratamento se mostrou diferente significativamente do outro em uma sequência de valores decrescente, respectivamente, pelo tratamento com verniz, testemunha,

tratamento térmico na estufa e tratamento térmico na prensa, tendência que se mostrou muito semelhante o parâmetro colorimétrico C (Saturação).

Com a Tabela 3 e a Figura 10 foi possível avaliar que para o valor C^* (coloração amarela), somente a testemunha e a estufa que não apresentaram exatamente a mesma tendência que para o parâmetro b^* . Na testemunha se manteve constante até o ciclo de 48 horas e após isso se manteve em uma tendência positiva exceto pelo ciclo de 192 horas em que essa tendência foi negativa. Para a estufa, houve um aumento inicial nas 24 primeiras horas, após isso se manteve constante, com um aumento no ciclo de 192 horas seguido de um aumento e se mantendo constante até o final.

Analisando a Figura 11 e a Tabela 3, foi possível ver, para o parâmetro colorimétrico h^* , uma situação contrária à do parâmetro a^* , onde inicialmente a média dos valores aumentaram e posteriormente diminuíram. Contudo, todos os tratamentos apresentaram diferença significativa entre eles e foram classificados em uma escala de maior h^* para o menor, respectivamente, testemunha, tratamento na estufa, tratamento com verniz e tratamento na prensa.

Avaliando o valor h^* (ângulo de tinta), a testemunha, iniciou com um aumento de valor seguido de uma queda desse valor e a cada 2 ciclos com valor constante ele diminuía. Para a estufa, houve um aumento inicial nas 24 primeiras horas, após isso se manteve constante, com uma diminuição ciclo de 192 horas seguido de um aumento e finalizando com uma redução significativa. A prensa teve um aumento inicial seguido de uma constância até 48 horas e uma tendência positiva até que no final teve uma queda significativa.

O verniz teve um aumento significativo nas primeiras 24 horas seguidos de uma constância até 48 horas e uma tendência positiva até que no final teve uma queda significativa.

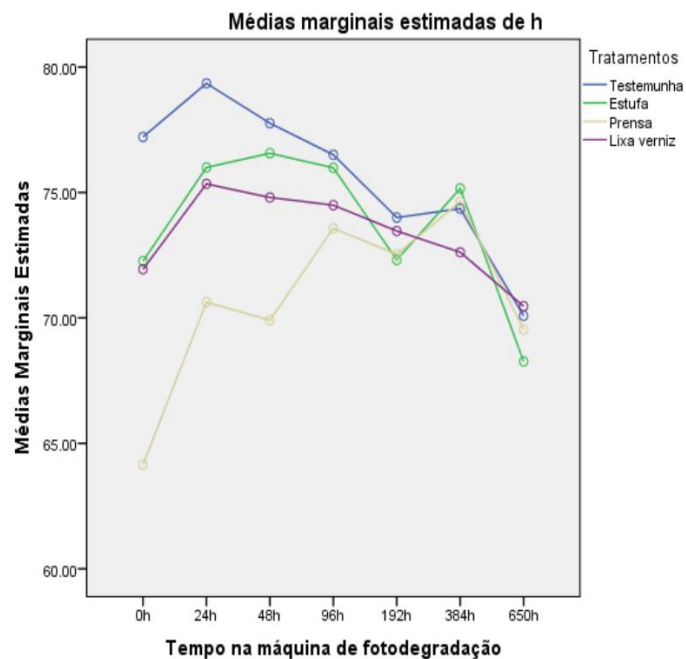


Figura 11. Gráfico das médias marginais estimadas do parâmetro colorimétrico h^* para os tratamentos durante o ensaio de fotodegradação.

Fonte: o autor.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os valores de variação total de cor (ΔE) para os diferentes tratamentos aplicados da madeira de tauari, e suas cores foram classificadas de acordo com a tabela proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

A Tabela 4 apresenta os valores de variação total de cor (ΔE) de acordo com o tempo de exposição à fotodegradação na madeira de tauari, comparando a testemunha com cada um dos tratamentos por meio dos valores encontrados antes do ensaio de fotodegradação artificial.

Tabela 4. Variação total da cor (ΔE) entre a madeira de tauari in natura e a madeira tratada antes da realização do ensaio de fotodegradação artificial.

Tratamento	ΔE	Classificação (*)	Coloração (**)
Testemunha	11,92	Muito apreciável	Amarelo-claro
Estufa			Oliva-amarelado
Testemunha	30,70	Muito apreciável	Amarelo-claro
Prensa			Oliva
Testemunha	23,16	Muito apreciável	Amarelo-claro
Verniz			Amarelo-alaranjado

(*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Aproximação da cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

Como apresentado na Tabela 4 e agora na Figura 12, a percepção de variação da cor a olho nu nas madeiras de tauari se mostrou muito apreciável para todos os tratamentos após a aplicação de produtos de acabamentos, sendo cada um deles classificado com uma cor da madeira diferenciada.

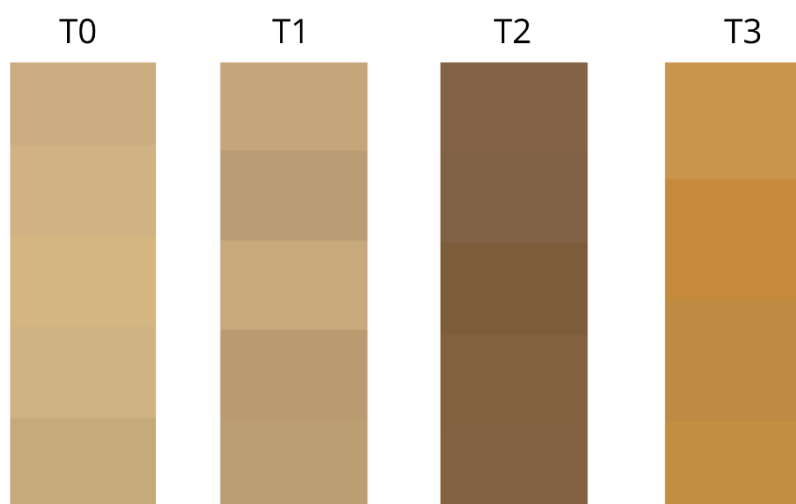


Figura 12. Coloração das amostras da madeira de tauari para as amostras no tempo zero (t0). (T0: testemunha; T1: tratamento na estufa; T2: tratamento na prensa; T3: tratamento com verniz)

Fonte: o autor.

A variação total de cor entre a testemunha e o tratamento com a estufa apresentou os menores valores e, mesmo sendo uma variação colorimétrica com uma média apresentando colorações diferentes, na Figura 12, é possível observar que algumas amostras da testemunha (T0) e tratamento com estufa (T1) apresentaram colorações muito similares a olho nu.

Os tratamentos que passaram por termorreificação apresentaram conformidade com o estudo de Lopes (2010), que observou o escurecimento em relação à testemunha e demonstrou que esse escurecimento é mais forte dependendo do impacto que a madeira sofre em relação a maiores temperaturas e maiores tempos. Dessa forma, pode-se dizer que as amostras da prensa foram mais impactadas que as da estufa, mesmo apresentando temperatura e tempo de processo iguais.

A Tabela 5 apresenta os valores de variação total de cor (ΔE) de acordo com o tempo de exposição à fotodegradação para a madeira de tauari, em seus respectivos tratamentos, sem tratamento (testemunha), tratada com verniz e termicamente com estufa e prensa, entre a amostra antes do ensaio e após o tempo de exposição final.

Tabela 5. Variação total da cor (ΔE) para madeira de tauari sem tratamento, tratada com verniz e termicamente com estufa e prensa para cada tempo de exposição.

Tratamento	Exposição (h)	ΔE	Classificação (*)	Coloração (**)
Testemunha	0h	14,06	Muito apreciável	Amarelo-claro
	650h			Amarelo-alaranjado
Estufa	0h	6,11	Muito apreciável	Oliva-amarelado
	650h			Amarelo-alaranjado
Prensa	0h	9,27	Muito apreciável	Oliva
	650h			Marrom-oliva
Verniz	0h	4,75	Apreciável	Amarelo-alaranjado
	650h			Amarelo-alaranjado

(*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Aproximação da cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e González (2001).

Pela classificação proposta, a madeira de tauari sem nenhum tratamento e antes do ensaio de fotodegradação artificial foi classificada com a coloração amarelo-claro e obteve a

maior variação de cor dentre os tratamentos e terminou sendo classificada como amarelo-alaranjado no final do ensaio.

A madeira tratada termicamente na estufa a 200°C por 30 minutos no início do ensaio foi classificada com a coloração oliva-amarelado e obteve a segunda menor variação de cor dentre os tratamentos e foi classificada no final do ensaio como amarelo-alaranjado.

Já a madeira tratada termicamente na prensa a 200°C por 30 minutos no início do ensaio foi classificada com a coloração oliva e obteve a terceira maior variação de cor dentre os tratamentos, sendo classificada com a coloração marrom-oliva no final do ensaio.

Por fim, a madeira tratada com lixa e verniz no início do ensaio foi classificada como amarelo-alaranjado e obteve a menor variação de cor dentre os tratamentos e, mesmo essa variação tendo sido apreciável, sua coloração variou tão pouco que no final do ensaio se manteve como amarelo-alaranjado.

Silva (2007) encontrou uma variação total de cor na madeira de tauari tratada com verniz de $\Delta E = 3,69$, que foi muito parecida com a encontrada nesta pesquisa, mesmo terminando os ciclos com 400 horas de intemperismo artificial. Já para a testemunha, a presença de 1 ciclo a mais, culminando em 650 horas, foi o suficiente para aumentar a variação de cor da testemunha em 3 vezes.

Essa variação total de cor para a testemunha também foi encontrada como muito apreciável nos estudos de Costa et al. (2011), no entanto, as amostras foram classificadas como oliva amarelado e apresentaram ΔE de 6,43 após a fotodegradação artificial de 168 horas. E conforme Mesquita (2016), suas amostras da testemunha submetidas ao ensaio de intemperismo artificial apresentaram variação bem menor sendo classificada somente como notável e a coloração encontrada foi marrom-oliva.

Essas variações de coloração devem-se à diferenças na aquisição da madeira, idade, quantidade de cerne e alburno, região, terreno, taxa de crescimento e até mesmo as diferentes regiões da árvore de onde são retiradas as amostras. Esse último fator de diferenciação de coloração pode ser observado nas amostras (T0) na Figura 12.

Essa diferença grande do ΔE nos trabalhos examinados (variando de $\Delta E=2,00$ até $\Delta E=14,06$), onde os menores valores se deve pela remoção de fibras provocada pela água durante o ensaio de intemperismo artificial, o que proporcionou a retirada das camadas de fibras

que sofreram maior envelhecimento causado pela radiação UV durante a fotodegradação, diminuindo assim a variação do ΔE (TEMIZ et al., 2005).

Foi possível notar na Tabela 5 e se tornou visível nas Figuras 13 e 14 que, mesmo que as variações de cores tenham sido de apreciável a muito apreciável, a coloração final da testemunha (T0), do tratamento térmico com estufa (T1) e do tratamento com verniz (T4) se tornou bem próxima, sendo todas elas classificadas como amarelo-alaranjado.

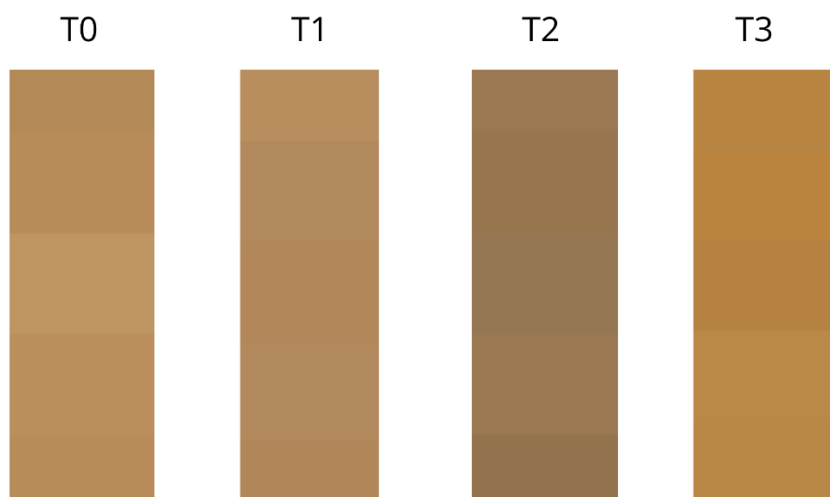


Figura 13. Coloração das amostras da madeira de tauari para as amostras no tempo final (T650). (T0: testemunha; T1: tratamento na estufa; T2: tratamento na prensa; T3: tratamento com verniz)

Fonte: o autor.



Figura 14. Amostras da madeira de tauari para as amostras no tempo final (T650).

Fonte: o autor.

Também se tornou visível uma maior estabilização da coloração dentro de cada tratamento ao final do T650, apresentando um coeficiente de variação entre as amostras menor que as apresentadas durante o tempo zero do ensaio de fotodegradação artificial.

A Tabela 6 apresenta o valor médio do parâmetro Ra de rugosidade para as amostras de madeira de tauari sem tratamento (Testemunha), tratadas com verniz e tratadas termicamente com estufa e prensa em cada ciclo do ensaio de fotodegradação artificial.

Tabela 6. Média dos parâmetros de rugosidade da madeira de tauari sem tratamento (Testemunha), tratadas com verniz e tratada termicamente com estufa e prensa para cada período de fotodegradação.

Tratamento	Tempo	Ra	Rz	Rq
Testemunha	0h	5,59 a	35,43 a	7,58 a
	24h	6,18 a	37,37 a	8,30 a
	48h	6,60 a	39,08 a	8,72 a
	96h	6,40 a	39,24 a	8,60 a
	192h	6,73 a	41,73 a	9,05 a
	384h	6,16 a	37,86 a	8,22 a
	650h	6,73 a	39,38 a	8,86 a
	Estufa	0h	6,61 a	42,84 a
24h		6,89 a	43,55 a	9,41 a
48h		6,77 a	43,99 a	9,35 a
96h		6,51 a	42,79 a	9,04 a
192h		6,91 a	42,17 a	9,43 a
384h		6,97 a	44,57 a	9,53 a
650h		7,83 a	50,77 a	10,84 a
Prensa		0h	5,70 a	36,83 a
	24h	5,66 a	37,99 a	7,99 a
	48h	6,20 a	40,23 a	8,72 a
	96h	5,99 a	38,69 a	8,33 a
	192h	6,09 a	37,92 a	8,39 a
	384h	5,83 a	36,35 a	7,96 a
	650h	6,54 a	40,61 a	8,97 a
	Verniz	0h	5,30 a	33,13 a
24h		4,85 a	30,49 a	6,43 a
48h		5,25 a	31,55 a	6,96 a
96h		5,31 a	33,55 a	7,12 a
192h		5,54 a	34,87 a	7,48 a
384h		5,63 a	35,17 a	7,55 a
650h		4,99 a	32,01 a	6,75 a

T0h – antes de sofrer fotodegradação, T24h – 24 horas de fotodegradação, T48h – 48 horas de fotodegradação, T196h – 96 horas de fotodegradação, T192h – 192 horas de fotodegradação, T384h – 384 horas de fotodegradação,

T650h – 650 horas de fotodegradação. As médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Pela análise paralela às fibras, percebeu-se que os tratamentos não diferiram estatisticamente entre os tempos na câmara de fotodegradação, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Assim sendo, não ocorreu aumento nos valores dos parâmetros de Ra, Rz nem em Rq, concluindo-se, portanto, que a rugosidade superficial em nenhum dos tratamentos aumentou.

Tabela 7. Subconjuntos representantes para todos os parâmetros da rugosidade (Ra, Rz e Rq).

Tratamento	Subconjunto da Rugosidade
Estufa	A
Testemunha	B/(AB ^{Ra})
Prensa	B
Verniz	C

As letras na mesma coluna dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letra 'A' representa a maior média dos valores, diminuindo com o passar das letras.

Os subconjuntos referentes aos tratamentos foram os mesmos para todos os parâmetros de rugosidade, exceto a testemunha que, na análise do Ra, ficou no intervalo entre o grupo A e o grupo B, mas que, nos outros parâmetros, ficou no grupo B.

Quanto mais próximo do grupo A, maiores são os valores médios encontrados nos parâmetros de rugosidade e, portanto, a superfície da madeira é mais rugosa. Tendo em vista esse parâmetro, o Tratamento térmico com estufa aumentou a rugosidade das amostras enquanto o verniz diminuiu sua rugosidade.

O tratamento com verniz e lixa já apresentava perspectivas de diminuir, visto que a lixa diminui a presença de canais abertos e o verniz entra nos desníveis da madeira e os preenche, causando assim uma menor rugosidade (OREM, 2019). Todavia, para o tratamento na estufa foram encontrados resultados conflitantes e sem consenso, posto que, segundo Pertuzzatti et al. (2015), o tratamento com estufa a 200°C aumentou a rugosidade corroborando com o encontrado, mas por outro lado Karagoz et al. (2011) encontraram, para essa mesma temperatura na estufa, uma diminuição de rugosidade.

Tanto o tratamento térmico na prensa quanto a testemunha apresentaram rugosidade média estável e praticamente igual à inicial.

A ausência de variação estatística das amostras de tauari submetidas à fotodegradação artificial neste estudo não foi o esperado, quando se compara com o encontrado por Mesquita (2016) para as amostras de tauari submetidas ao intemperismo artificial, onde todos os tratamentos da madeira de tauari sofreram variações significativas. Isso deve ter sido causado pelo impacto da radiação UV sobre a madeira que facilitou a remoção de fibras provocada pela água durante o ensaio de intemperismo artificial (TEMIZ et al., 2005).

6. CONCLUSÃO

A espécie de tauari sofreu alterações significativas na cor da madeira ao longo do tempo de exposição à fotodegradação em quase todos os tratamentos, exceto para o parâmetro de luminosidade que para o tratamento na estufa não ocorreu variação com o passar dos ciclos se mostrando o tratamento natural mais estável. Contudo, a utilização do produto químico verniz apresentou a variação total de cor mais amena dentre todos os tratamentos. Diferenças estatísticas significativas foram observadas em relação aos parâmetros colorimétricos, ocorrendo uma tendência de escurecimento da madeira com o passar do tempo, principalmente nas primeiras 24 horas de fotodegradação artificial, exceto pelo tratamento na prensa, que se manteve clareando desde o início do processo. As madeiras que não passaram pelo tratamento térmico nem pelo acabamento com verniz foram as que apresentaram maior amplitudes de variação de cor.

Na análise da variação total da cor (ΔE), foi possível constatar que todos os tratamentos revelaram uma maior proteção à fotodegradação e, em especial, o acabamento com verniz, onde menos ocorreu alterações. O tratamento em estufa foi o segundo com o menor ΔE para fotodegradação e o que apresentou menor ΔE para diferenciação colorimétrica entre tratamento e testemunha.

O verniz foi o tratamento que menor apresentou mudanças quando submetido à fotodegradação, porém tanto sua coloração quanto sua textura inicial apresentaram grandes diferenciações da madeira original. Enquanto no tratamento na estufa essas diferenciações da madeira original foram bem menores, mantendo um nível de proteção um pouco menor que o verniz.

Já a rugosidade não foi afetada significativamente pelo processo de fotodegradação artificial, contudo foi possível observar uma variação decorrente do tipo de tratamento aplicado, onde as amostras com tratamento térmico na estufa se mostraram as mais rugosas, sendo que as amostras com a aplicação do verniz se mostraram as menos rugosas.

Sugere-se para um estudo futuro a identificação dos componentes químicos da superfície da madeira e sua mudança no decorrer do ensaio de fotodegradação. Certamente seria possível entender as variações que ocorrem dentro dos tempos de fotodegradação com a madeira estudada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2244 – Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates**. Philadelphia, USA, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G 154 – Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials**. Philadelphia, PA, 2006.

ANDRADE, F. R. et al. **Durabilidade de madeiras do gênero Eucalyptus termorretificadas em óleo vegetal**. 2019.

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

BONDUELLE, A. **Processamento mecânico da madeira**. UFPR, Curitiba, 2003

CAMARGOS, J. A. A. & GONÇALEZ, J. C. **A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira**. Brasil Florestal , n. 71, p. 30-41, 2001.

CASTRO, E. M. **Estudo da usinabilidade de chapas de MDF para usinagem de desbaste e acabamento**. 2000. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. **Commission Internationale de l'Éclairage Proceedings**. Commission Internationale de l'Éclairage Proceedings, 2004.

COSTA, J. A.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. A.; GOMES, I. A. S. **Fotodegradação de duas espécies de madeiras tropicais: Jatobá (Hymenaea courbaril) e**

Tauari (Couratari oblongifolia) submetidas à radiação ultravioleta. Revista Cerne, Lavras, v. 17, n. 1, p. 133-139, 2011.

DE MOURA, L. F.; HERNANDEZ, R. E. **Evaluation of varnish coating performance for three surfacing methods on sugar maple wood.** Forest products journal, v. 56, n. 11/12, p. 130, 2006.

DE SOUZA, M. O. A., DE CASTRO SILVA, J., EVANGELISTA, W. V. **Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de Eucalyptus camaldulensis Dehnh. e Eucalyptus urophylla ST Blake visando ao uso na indústria moveleira. Evaluation of surface finishes on the wood of Eucalyptus camaldulensis Dehnh.** and of. 2011.

FABIYI, J. S.; OGUNLEYE, B. M. **Mid-infrared spectroscopy and dynamic mechanical analysis of heat-treated obeche (Triplochiton scleroxylon) wood.** Maderas: Ciencia y tecnología, Concepción, v. 17, n. 1, p. 05-16, 2015.

GEORGE, B.; SUTTIE, E.; MERLIN, A.; DEGLISE, X. **Photodegradation and photostabilisation of wood—the state of the art.** Polymer Degradation and Stability, v. 8, n. 2, p. 268-274, 2005.

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

GONÇALEZ, J. C; FÉLIX, T. L. F; GOUVEIA, F. N; CAMARGOS, J. A. A.; RIBEIRO, P. G; **Efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de freijó (Cordia goeldiana Huber) após receber produtos de acabamentos.** Santa Maria, Rev. Ciência Florestal, vol. 20, núm 4, p. 657-664, 2010.

HIKITA, Y.; TOYODA, T.; AZUMA, M. **Weathering testing of timber – discoloration. In: IMAMURA, Y. High performance utilization of wood for outdoor uses.** Kyoto, Japão: Press-net, 2001.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). **Documento de origem florestal - DOF, 10 espécies mais comercializadas por estado (tora, madeira serrada).** 2006.

IBAMA/LPF. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Laboratório de Produtos Florestais. **Padronização da Nomenclatura Comercial Brasileira das Madeiras Tropicais Amazônicas.** 59p. Brasília, 1991.

IPT. Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo S/A - IPT. **Informações sobre madeiras-Tauari.** São Paulo. IPT, 1989.

IPT. Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo S/A - IPT. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil.** São Paulo. IPT, 2013.

JIS - JAPANESE Industrial Standard. **Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters. JIS B 0601.** Tokyo, 2001.

JOHANSSON, D. **Strength and colour response of solid wood to heat treatment.** 2005.

JÚNIOR, E. A. B; LENGOWSKI, E, C. **Colorimetria aplicada à ciência e tecnologia da madeira.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 38, 2018.

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

KARAGOZ, U.; AKYILDIZ H.M.; ISLEYEN, O. **Effect of heat treatment on surface roughness of thermal wood machined by cnc.** Pro Ligno. v. 4, n. 7, p. 50-58, 2011.

LIMA, M. G. et al. **Métodos utilizados na avaliação psicofísica da visão de cores humana.** Psicol. USP, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 197-222, 2011.

LOPES, C. S. D; NOLASCO, A. M.; FILHO, M. T.; DIAS, C. T. S. **Avaliação da rugosidade superficial da madeira de Eucalyptus sp submetida ao fresamento periférico.** Cerne, Lavras, v. 20, n. 3, p. 471-476. 2014.

LOPES, J. O. **Colorimetria da madeira termorretrificada de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden.** 2010.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira.** 2003.

MESQUITA, Robert Rossi Silva de. **Comportamento das madeiras de curupixá (Micropholis sp.) e tauari (Couratari sp.) submetidas ao intemperismo artificial com diferentes produtos de acabamento.** UNB, 2016.

Neves, G. S. **Efeito do Lixamento e da Aplicação de Seladora na Qualidade da Superfície da Madeira de Jequitibá (Cariniana micrantha Ducke).** UNB, 2016.

OREM, C. F. **Madeiras de garapa (Apuleia leiocarpa J. Vogel) e angelim pedra (Hymenolobium petraeum Ducke) tratadas com produto atóxico para produção de utensílios domésticos.** 2019.

PASTORE, T. C. M. et al. **Efeito do intemperismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por espectroscopia de infravermelho (DRIFT).** Quím. Nova, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2071-2075, 2008.

PERTUZZATTI, A. et al. **Alterações físicas e superficiais da madeira de canemaçu (Tetrorchidium rubrivenium) termorretrificada.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 10, n. 1, p. 140-146, 2015.

PERTUZZATTI, A., MISSIO, A., CONTE, B., SOUZA, S.C., SANTINI, E., HASELEIN, C.R. **Propriedades Físicas da Madeira de Pinus elliottii var. elliottii Termorretrificada Sob Diferentes Atmosferas.** Revista Ciência da Madeira - RCM. (2016).

Poubel, D. S. et al. **Efeito da termorretrificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de Pinus caribaea.** Cerne. v. 19, n. 3, pp. 391-398, 2013.

PROCÓPIO, L. C.; SECCO, R. S. **A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do "tauari" (Couratari spp. e Cariniana spp.- Lecythidaceae) em duas áreas manejadas no estado do Pará.** Acta Amazonica, v. 38, p. 31-44, 2008.

Silva, J. O. e, Pastore, T. C. M. e Pastore, F. **Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento.** Ciência Florestal. v. 17, n. 1. 2007.

SILVA, J. R. M. et al. **A utilização de rugosímetro na qualificação de superfícies usinadas em madeiras de Eucalyptus sp.** Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, v. 10, 2006.

SILVA, P. H. M. **Tratamentos prolongam uso da madeira.** Revista da Madeira, Curitiba, v. 17, n. 100, p. 78 - 80, 2006.

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

TEMIZ, A. et al. **Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test.** Applied surface science, v. 250, n. 1-4, p. 35-42, 2005.

TIBÚRCIO, U. F. O. **Medição e análise do acabamento superficial da madeira de eucalipto na usinagem de torneamento cilíndrico e lixamento.** Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2009.

ZACARIAS, D. **Análise do processo de lixamento tubular da madeira de Corymbia citriodora.** Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.