



**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE MADEIRAS SUBMETIDAS A
TRATAMENTOS TÉRMICOS PARA ESTABILIZAÇÃO DIMENSIONAL**

MARCELLA HERMIDA DE PAULA

TESE DE DOUTORADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE MADEIRAS SUBMETIDAS A
TRATAMENTOS TÉRMICOS PARA ESTABILIZAÇÃO
DIMENSIONAL**

MARCELLA HERMIDA DE PAULA

ORIENTADOR: JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD –
BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO – 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE MADEIRAS SUBMETIDAS A
TRATAMENTOS TÉRMICOS PARA ESTABILIZAÇÃO DIMENSIONAL**

MARCELLA HERMIDA DE PAULA

TESE DE DOUTORADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:

Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez (Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília); (Orientador)

Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale (Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília); (Examinador interno)

Prof. Dr. José Tarcísio Lima (Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras); (Examinador externo)

Dr. Thiago Oliveira Rodrigues (Diretor técnico da Fundação de Tecnologia florestal e geoprocessamento - Funtec-DF); (Examinador externo)

Prof. Dr. Francides Gomes da Silva Junior (ESALQ/ Universidade de São Paulo); (Examinador suplente);

Prof. Dr. Humberto Ângelo (Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília Universidade de Brasília); (Examinador suplente);

Brasília, dezembro de 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

DE PAULA, MARCELLA HERMIDA

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE MADEIRAS SUBMETIDAS A TRATAMENTOS TÉRMICOS PARA ESTABILIZAÇÃO DIMENSIONAL/ Marcella Hermida de Paula; orientador Joaquim Carlos Gonzalez. – Brasília, 2021.

231p.

Tese (Doutorado – Doutorado em Ciências Florestais) – PPGEFL - Universidade de Brasília, 2021.

1. Tratamento térmico

2. Estabilidade dimensional

3. Modificação da madeira

4. Madeiras tropicais

I. Gonzalez, Joaquim Carlos, orient.

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DE PAULA, M.H. (2021). Propriedades tecnológicas de madeiras submetidas a tratamentos térmicos para estabilização dimensional. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.TD-. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Marcella Hermida de Paula

TÍTULO: Propriedades tecnológicas de madeiras submetidas a tratamentos térmicos para estabilização dimensional.

GRAU: Doutor ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Marcella Hermida de Paula

Endereço eletrônico: marcellahermida@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

E nesses quatro anos me mantive na firmeza do propósito de concluir o último degrau com a mesma força que iniciei o primeiro. Durante essa jornada aprendi a valorizar mais o processo do que apenas o resultado, com muita gratidão. Concluo a escrita dessa tese e mais despida de vaidade possível, ciente de que o verdadeiro conhecimento é o poder de enxergar a sua imensidão. Meus sinceros agradecimentos:

A Deus.

Aos meus pais, Neuza e Wilson, que me ensinaram o valor do aprendizado. Por todo o apoio, incentivo, amor e dedicação.

Aos meus irmãos André Ricardo e Pedro Gustavo, minhas fontes inesgotáveis de perseverança.

Ao meu orientador professor Dr. Joaquim Carlos Gonzalez, exemplo de conhecimento e sabedoria, pelos ensinamentos, amizade e participação essenciais durante toda a jornada acadêmica.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal pela dedicação e inspiração. Tenho muito orgulho da minha formação acadêmica graças a vocês. Ao professor Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi pelo enorme auxílio com as análises estatísticas. Aos professores Dr. Alexandre Florian da Costa e Dr. Ailton Teixeira do Vale, por todos os valiosos ensinamentos e acompanhamento constantes.

Aos servidores do Laboratório de Produtos Florestais que viabilizaram boa parte do trabalho.

Aos colegas de pós-graduação, em especial Mírian de Almeida Costa, Loyane Fernandes da Silva e Gabriela de Souza Neves, pela ajuda, conselhos, força, boas risadas e inestimável amizade.

À Universidade de Brasília (UnB) pela oportunidade de desenvolver essa tese.

À CAPES pelo suporte financeiro.

A todos que, direta e indiretamente, fizeram esse sonho se concretizar e estiveram presentes durante a realização deste trabalho.

RESUMO

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE MADEIRAS SUBMETIDAS A TRATAMENTOS TÉRMICOS PARA ESTABILIZAÇÃO DIMENSIONAL

Autora: Marcella Hermida de Paula

Orientador: Joaquim Carlos Gonzalez

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, agosto de 2021.

Este estudo teve como objetivo analisar o efeito de tratamentos térmicos nas propriedades tecnológicas das madeiras de *Dipteryx odorata* (cumaru), *Manilkara bidentata* (maçaranduba) e *Couratari oblongifolia* (tauari) utilizando-se dois equipamentos (estufa e prensa) e diferentes temperaturas e tempos. As madeiras foram tratadas em uma estufa adaptada e em uma prensa hidráulica (sem o uso de pressão) a 180 e 200°C por 30 e 60 minutos. Foram obtidos os valores de densidade, perda de massa, efetividade de repelência à água, taxa de absorção de água, inchamentos lineares, coeficiente de inchamento volumétrico, coeficiente de anisotropia de inchamento, eficiência anti-inchamento, retratibilidades, coeficiente de anisotropia de retratibilidade, módulos de elasticidade dinâmicos obtidos pelo stress wave e ultrassom, além dos parâmetros colorimétricos. Adicionalmente, foi realizada a microscopia de varredura eletrônica na superfície das amostras para verificar a integridade superficial das madeiras tratadas termicamente. Para as madeiras de cumaru e tauari, a densidade básica não apresentou variação significativa nos tratamentos térmicos em relação à testemunha enquanto a densidade aparente apresentou redução apenas nos tratamentos realizados na prensa nas condições mais severas para a madeira de cumaru. A madeira de maçaranduba em relação à densidade apresentou redução significativa em todos os ensaios, exceto para os tratamentos a 30 minutos da estufa. A perda de massa foi mais acentuada nos ensaios da prensa. A taxa de absorção de água, a efetividade de repelência à água e a eficiência anti-inchamento apresentaram valores que demonstraram que todos os tratamentos foram eficientes na redução da higroscopicidade das espécies, com reduções mais expressivas nos tratamentos da prensa. As espécies cumaru e maçaranduba apresentaram escurecimento das duas faces (tangencial e radial) em todos os tratamentos, enquanto o tauari teve o mesmo efeito apenas para a prensa e para o ensaio mais severo na estufa. As três espécies não apresentaram alteração significativa dos módulos de elasticidade obtidos pelo ultrassom e stress wave, com exceção da madeira de maçaranduba no ensaio a 200°C por 60 minutos. A análise fatorial do efeito isolado do tempo e temperatura indicou que a maioria das propriedades físicas, incluindo os parâmetros

colorimétricos, foi afetada pelas duas fontes de variação. O efeito isolado dos equipamentos também mostrou que a maneira de aquecer as amostras influenciou significativamente nos resultados das propriedades físicas. De acordo com os resultados, os dois equipamentos reduziram expressivamente a higroscopicidade das espécies estudadas, reduzindo sua instabilidade dimensional.

Palavras-chave: Modificação da madeira, retratibilidade, estabilidade dimensional, tratamento térmico.

ABSTRACT

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF WOOD SUBMITTED TO THERMAL TREATMENTS FOR DIMENSIONAL STABILIZATION

Author: Marcella Hermida de Paula

Advisor: Joaquim Carlos Gonçalez

Forestry Post-Graduation Program.

Brasilia, august of 2021.

This study aimed to analyze the effect of heat treatments on the technological properties of wood of *Dipteryx odorata* (cumaru), *Manilkara bidentata* (maçaranduba) and *Couratari oblongifolia* (tauari) using two equipments and different temperatures and times. The woods were treated in an adapted oven and in a hydraulic press (without the use of pressure) at 180 and 200°C for 30 and 60 minutes. The values of density, mass loss, effective water repellency, water absorption rate, linear swelling, volumetric swelling coefficient, swelling anisotropy coefficient, anti-swelling efficiency, shrinkage, shrinkage anisotropy coefficient, dynamic modulus of elasticity obtained by stress wave timer and ultrasound, in addition to colorimetric parameters, were obtained. Additionally, scanning electron microscope was used on the surface of the samples to verify the surface integrity of the heat-treated woods. For cumaru and tauari woods, the basic density did not show significant variation in the heat treatments in relation to the control and the apparent density showed a reduction only in the treatments performed in the press under the most severe conditions for the cumaru wood. The wood of maçaranduba in relation to density showed a significant reduction in all tests, except for treatments at 30 minutes in the oven. The loss of mass was more accentuated in tests performed on the press. The water absorption rate, the effective water repellency and the anti-swelling efficiency showed values that showed that all treatments were efficient in reducing the hygroscopicity of the species, with more expressive reductions in the tests performed on the press. Cumaru and maçaranduba showed darkening on both sides (tangential and radial) in all treatments, while tauari had the same effect only for the press and for the more severe test in the adapted oven. The three species did not show significant changes in the modulus of elasticity obtained by ultrasound and stress wave, with the exception of maçaranduba wood in the test at 200°C for 60 minutes. Factor analysis of the isolated effect of time and temperature indicated that most physical properties, including colorimetric parameters, were affected by the two sources of variation. The isolated effect of the equipment also showed that the way of heating the woods significantly influenced

the results of physical properties. According to the results, the two equipments significantly reduced the hygroscopicity of the studied species, reducing their dimensional instability.

Key words: Wood modification, shrinkage, dimensional stability, heat treatment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 OBJETIVOS	25
2.1 OBJETIVO GERAL	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3 HIPÓTESE	25
4 REVISÃO BILIOGRÁFICA	26
4.1 ESPÉCIES ESTUDADAS	26
4.1.1 Cumaru (Dipteryx odorata)	26
4.1.2 Maçaranduba (Manilkara bidentata)	27
4.1.3 Tauari (Couratari oblongifolia)	28
4.2 PROPRIEDADES E ESTRUTURA DA MADEIRA	30
4.3 PROPRIEDADES ANATÔMICAS DA MADEIRA	32
4.3.1 Efeito do tratamento térmico na anatomia da madeira	33
4.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	34
4.4.1 Teor de Umidade - Higroscopicidade	35
4.4.2 Estabilidade dimensional	36
4.4.2.1 Efeito do tratamento térmico na higroscopicidade e na estabilidade dimensional da madeira	38
4.4.3 Densidade	40
4.4.3.1 Efeito do tratamento térmico na densidade da madeira	42
4.5 MÓDULOS DE ELASTICIDADE DA MADEIRA	43
4.5.1 Efeito do tratamento térmico nas propriedades térmicas da madeira	45
4.6 AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA	49
4.6.1 Ondas ultrassônicas - Ultrassom	51
4.6.2 Temporizador de ondas de tensão – Stress Wave Timer	52
4.6.3 Ondas ultrassônicas e ondas de tensão em madeiras modificadas termicamente	53
4.6.4 Colorimetria aplicada à madeira	53
4.6.4.1 Efeito do tratamento térmico na cor da madeira.....	57
4.7 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA	60
4.7.1 Celulose	61
4.7.2 Hemicelulose	62
4.7.3 Lignina	63
4.7.4 Extrativos	64
4.7.4.1 Extrativos orgânicos.....	65
4.7.4.2 Extrativos Inorgânicos	66
4.7.5 Efeito do tratamento térmico nos constituintes químicos da madeira	66
4.7.5.1 Efeito do aquecimento sobre a celulose	68

4.7.5.2 Efeito do aquecimento sobre as hemiceluloses	69
4.7.5.3 Efeito do aquecimento sobre a lignina.....	71
4.7.5.4 Efeito do aquecimento sobre os extrativos.....	71
4.8 MODIFICAÇÃO DA MADEIRA	72
4.8.1 Tratamento térmico da madeira	73
4.8.1.1 Principais processos industriais de tratamento térmico da madeira	74
5 MATERIAL E MÉTODOS	80
5.1 ORIGEM E CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	80
5.2 TRATAMENTOS EM ESTUFA	81
5.3 TRATAMENTOS EM PRENSA HIDRÁULICA.....	83
5.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E MÓDULOS DE ELASTICIDADE DINÂMICOS	85
5.4.1 Taxa de absorção de água	85
5.4.2 Efetividade de repelência à água (ER).....	86
5.4.3 Inchamentos lineares e coeficiente de inchamento volumétrico.....	86
5.4.4 Eficiência anti-inchamento (EA).....	87
5.4.5 Coeficiente de anisotropia de inchamento	88
5.4.6 Perda de Massa.....	88
5.4.7 Densidade básica e aparente	89
5.4.8 Retratibilidade e coeficiente de anisotropia de retratibilidade	89
5.4.9 Colorimetria.....	90
5.4.10 Módulo de Elasticidade Dinâmico - Ultrassom e Ondas de tensão.....	91
5.5 MICROSCOPIA DE VARREDURA ELETRÔNICA (MEV)	92
5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	92
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
6.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MÓDULOS DE ELASTICIDADE DINÂMICOS	
(ULTRASSOM E STRESS WAVE TIMER).....	93
6.1.1 Cumaru	93
6.1.2 Maçaranduba.....	104
6.1.3 Tauari.....	113
6.2 COLORIMETRIA	122
6.2.1 Cumaru	122
6.2.2 Maçaranduba.....	128
6.2.2 Tauari.....	134
6.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	142
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	152
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
APÊNDICE 1 – TESTES DE DUNNETT	180
APÊNDICE 2 – ANÁLISES DE VARIÂNCIA FATORIAL	214

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1. Tratamentos em função da temperatura e tempo.....	80
Tabela 5.2. Dimensão dos corpos de prova e respectivos ensaios.....	81
Tabela 5.3. Classificação da variação total da cor de madeiras (hikita et al.,2001).	91
Tabela 6.1. Valores médios das propriedades físicas da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.	93
Tabela 6.2. Valores médios das propriedades físicas da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.	95
Tabela 6.3. Valores médios das propriedades físicas da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.	97
Tabela 6.4. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades físicas da madeira de cumaru.....	98
Tabela 6.5. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades físicas da madeira de cumaru.....	98
Tabela 6.6. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades físicas da madeira de cumaru.	100
Tabela 6.7. Valores médios dos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.	101
Tabela 6.8. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de cumaru.....	103
Tabela 6.9. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de cumaru.....	103
Tabela 6.10. Efeito isolado dos equipamentos nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de cumaru.....	104
Tabela 6.11. Valores médios das propriedades físicas da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	104
Tabela 6.12. Valores médios das propriedades físicas da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	106
Tabela 6.13. Valores médios das propriedades físicas da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	107
Tabela 6.14. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades físicas da madeira da maçaranduba.....	108
Tabela 6.15. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades físicas da madeira de maçaranduba.....	109

Tabela 6.16. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades físicas da madeira de maçaranduba.....	110
Tabela 6.17. Valores médios dos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	110
Tabela 6.18. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de maçaranduba.....	112
Tabela 6.19. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de maçaranduba.....	112
Tabela 6.20. Efeito isolado dos equipamentos nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de maçaranduba.....	113
Tabela 6.21. Valores médios das propriedades físicas da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.	113
Tabela 6.22. Valores médios das propriedades físicas da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.	115
Tabela 6.23. Valores médios das propriedades físicas da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.	116
Tabela 6.24. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades físicas da madeira de tauari.	117
Tabela 6.25. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades físicas da madeira de tauari.	118
Tabela 6.26. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades físicas da madeira de tauari.	119
Tabela 6.27. Valores médios dos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.	120
Tabela 6.28. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari.	121
Tabela 6.29. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari.	121
Tabela 6.30. Efeito isolado dos equipamentos nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari.....	122
Tabela 6.31. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face tangencial da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	123
Tabela 6.32. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face radial da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	123
Tabela 6.33. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades colorimétricas da madeira de cumaru.....	125

Tabela 6.34. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades colorimétricas da madeira de cumaru.....	125
Tabela 6.35. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades colorimétricas da madeira de cumaru.....	126
Tabela 6.36. Variação da cor da madeira de cumaru para os tratamentos térmicos.....	127
Tabela 6.37. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face tangencial da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	129
Tabela 6.38. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face radial da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	129
Tabela 6.39. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades colorimétricas da madeira de maçaranduba.....	131
Tabela 6.40. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades colorimétricas da madeira de maçaranduba.....	131
Tabela 6.41. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades colorimétricas da madeira de maçaranduba.....	132
Tabela 6.42. Variação da cor da madeira de maçaranduba para os tratamentos térmicos.....	133
Tabela 6.43. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face tangencial da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	135
Tabela 6.44. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face radial da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.....	135
Tabela 6.45. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades colorimétricas da madeira de tauari.....	138
Tabela 6.46. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades colorimétricas da madeira de tauari.....	138
Tabela 6.47. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades colorimétricas da madeira de tauari.....	139
Tabela 6.48. Variação da cor da madeira de tauari para os tratamentos térmicos.....	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. Representação do cerne e alburno.....	30
Figura 4.2 eixos de corte da madeira	31
Figura 4.3. Espectro eletromagnético	54
Figura 4.4. Exemplos de absorbância dentro do intervalo de luz visível (380-800 nm) fonte.	54
Figura 4.5. Espaço de cor tridimensional do sistema cie-l*a*b*	56
Figura 4.6. Mudanças decorrentes da secagem e do tratamento térmico nos componentes da madeira de acordo com a temperatura	67
Figura 4.7. Formação de acetil a partir de um grupo éster na hemicelulose (polyose)	70
Figura 5.1. Estufa adaptada.	81
Figura 5.2. Programa de temperatura e tempo aplicado aos tratamentos das amostras das duas espécies de madeira.....	82
Figura 5.3. Disposição das amostras para o tratamento térmico. (a) resistências elétricas (b) ventilador para circulação de ar.....	83
Figura 5.4. Prensa hidráulica.	84
Figura 5.5. Amostras entre os pratos metálicos para ensaio com a prensa hidráulica.	85
Figura 6.1. Testemunha e tratamentos térmicos da madeira de cumaru. T0 – testemunha; t1 – tratamento t1; t2 – tratamento t2; t3 – tratamento t3; t4 – tratamento t4; t5 – tratamento t5; t6 – tratamento t6; t7 – tratamento t7; t8 – tratamento t8.....	128
Figura 6.2. Testemunha e tratamentos térmicos da madeira de maçaranduba. T0 – testemunha; t1 – tratamento t1; t2 – tratamento t2; t3 – tratamento t3; t4 – tratamento t4; t5 – tratamento t5; t6 – tratamento t6; t7 – tratamento t7; t8 – tratamento t8.....	134
Figura 6.4. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru não tratada (testemunha), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente. ...	142
Figura 6.5. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na estufa à 180°C por 30 minutos (t1), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	143
Figura 6.6. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na estufa à 200°C por 30 minutos (t2), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	143
Figura 6.7. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na estufa à 180°C por 60 minutos (t3), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	143

Figura 6.8. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na estufa à 200°C por 60 minutos (t4), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	144
Na figura 6.9 observa-se o efeito do tratamento na prensa à 180°C por 30 minutos (t5). O efeito da transição dos extrativos para a superfície com a formação de uma película é pouco evidente para a prensa nessa condição mais branda de ensaio.	144
Figura 6.9. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na prensa à 180°C por 30 minutos (t5), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	144
Nas figuras 6.10 e 6.11, em que as amostras foram tratadas à 200°C e 30 minutos (t6) e 180°C por 60 minutos (t7) o efeito da película é observado, mas de forma mais fragmentada que os ensaio à mesma temperatura e tempo na estufa. É possível nessas imagens, principalmente nas de menor aumento (50x), visualizar com mais clareza os poros da madeira.	144
Figura 6.10. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na prensa à 200°C por 30 minutos (t6), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	144
Figura 6.11. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na prensa à 180°C por 60 minutos (t7), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	145
Figura 6.12. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na prensa à 200°C por 60 minutos (t8), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	145
Figura 6.14. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na estufa à 180°C por 30 minutos (t1), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	146
Figura 6.15. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na estufa à 200°C por 30 minutos (t2), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	146
Figura 6.16. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na estufa à 180°C por 60 minutos (t3), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	147
Figura 6.17. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na estufa à 200°C por 60 minutos (t4), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	147
Figura 6.18. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na prensa à 180°C por 30 minutos (t5), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	147

Figura 6.19. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na prensa à 200°C por 30 minutos (t6), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.....	148
Figura 6.20. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na prensa à 180°C por 60 minutos (t7), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.....	148
Figura 6.21. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na prensa à 200°C por 60 minutos (t8), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.....	148
Figura 6.22. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari não tratada (testemunha), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente...	149
Figura 6.23. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na estufa à 180°C por 30 minutos (t1), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	149
Figura 6.24. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na estufa à 200°C por 30 minutos (t2), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	149
Figura 6.25. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na estufa à 180°C por 60 minutos (t3), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	150
Nas figuras 6.26 e 6.27, os poros são mais evidentes, apesar de obstruídos. O brilho da espécie continua nítido em todos os tratamentos e percebe-se que os tratamentos tornam a madeira mais lisa pela diminuição da rugosidade superficial. Nas figuras 6.28 e 6.30, que mostram os tratamentos com temperatura de 200°C, esse efeito parece ainda mais expressivo.	150
Figura 6.26. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na estufa à 200°C por 60 minutos (t4), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	150
Figura 6.27. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na prensa à 180°C por 30 minutos (t5), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	150
Figura 6.28. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na prensa à 200°C por 30 minutos (t6), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	151
Figura 6.29. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na prensa à 180°C por 60 minutos (t7), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.	151

Figura 6.30. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na prensa à 200°C por 60 minutos (t8), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente. 151

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

a^* = eixo cromático vermelho-verde

ANOVA = análise de variância

b^* = eixo cromático amarelo-azul

C = cromaticidade

C_o = Comprimento dos corpos de prova

CA_i = coeficiente de anisotropia de inchamento

CA_r = coeficiente de anisotropia de retratibilidade

CI = coeficiente de inchamento

CIE = Commission International d'Eclairage

cm = centímetros

COPANT = La Comisión Panamericana de Normas Técnicas

D_{ap} = densidade aparente

D_b = densidade básica

D_s = dimensão linear (face tangencial ou radial) da amostra em condição seca

D_u = dimensão linear (face tangencial ou radial) da amostra em condição saturada

EA = eficiência anti-inchamento

ER = eficiência de repelência à água

FAL = fazenda água limpa

FTA = Finnish thermowood association

g = gramas

g/cm^3 = gramas por centímetro cúbico

h^* = ângulo de tinta

IBDF = Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

IFB = Serviço Florestal Brasileiro

IL = inchamento linear

IPT = Instituto de pesquisa tecnológica

Ir = inchamento radial

Ir = inchamento radial

It = inchamento tangencial

It = inchamento tangencial

IV = coeficiente de inchamento volumétrico

IV1 = coeficiente de inchamento volumétrico das amostras não tratadas

IV2 = coeficiente de inchamento volumétrico das amostras tratadas

kg/cm² = quilogramas por centímetro metro quadrado

kg/m³ = quilogramas por metro cúbico

kgf/cm² = quilograma força por centímetro quadrado

kHz = quilohertz

kN = quilonewton

kV = quilovolt

L* = claridade ou luminosidade

LPF = Laboratório de Produtos Florestais

Ls = dimensão tangencial ou radial após a secagem em estufa a 60°C

Lu = dimensão tangencial ou radial após imersão em água por 24h

m = metros

m/s = metros por segundo

MEV = microscópio eletrônico de varredura

mf = massa da madeira após o tratamento térmico

mi = massa inicial da madeira

min = minutos

mm = milímetros

MOE = módulo de elasticidade estático à flexão estática

MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo equipamento de stress wave

MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo equipamento de ultrassom

MOR = módulo de ruptura

MPa = megapascal

Ms = massa das amostras secas em estufa a 60°C

ms = massa seca da madeira antes dos tratamentos térmicos

Mu = massa após imersão em água por 24 h

N/mm² = newtons por milímetro quadrado

nm = nanômetro

°C = graus Celsius

°C/minuto = graus celsius por minuto

PM = perda de massa

PSF = ponto de saturação das fibras

Rr = retratibilidade linear radial

Rt = retratibilidade linear tangencial

Rv = retratibilidade volumétrica

s = segundos

SPSS = software aplicativo do tipo científico

T1 = tratamento térmico a 180°C e 30 minutos na estufa

T2 = tratamento térmico a 200°C e 30 minutos na estufa

T3 = tratamento térmico a 180°C e 60 minutos na estufa

T4 = tratamento térmico a 200°C e 60 minutos na estufa

T5 = tratamento térmico a 180°C e 30 minutos na prensa hidráulica

T6 = tratamento térmico a 200°C e 30 minutos na prensa hidráulica

T7 = tratamento térmico a 180°C e 60 minutos na prensa hidráulica

T8 = tratamento térmico a 200°C e 60 minutos na prensa hidráulica

TA = taxa de absorção de água

TA1 = taxa de absorção de água das amostras não tratadas

TA2 = taxa de absorção de água das amostras tratadas

U = teor de umidade inicial da madeira

USDA = United States department of agriculture

V = velocidade da propagação das ondas acústicas

V1 = volume da amostra após a secagem em estufa a 60°C

V2 = volume da amostra após imersão em água por 24h

VS = velocidade média obtida pelo stress wave

Vs = volume da amostra seca

VU = velocidade média obtida pelo ultrassom

Vu = volume da amostra em condição de saturação

Δa^* = variação da coordenada vermelho-verde

Δb^* = variação da coordenada amarelo-azul

ΔE^* = variação total da cor

ΔL^* = variação da luminosidade ou claridade

Δt = tempo que a onda demorou para percorrer o corpo de prova

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais utilizados pela civilização desde os primórdios por sua disponibilidade e versatilidade em relação aos múltiplos usos em que pode ser empregada. É um recurso presente em diversos segmentos industriais como o de energia, celulose e papel, móveis e construção civil.

A madeira apresenta várias vantagens em relação a outros materiais como sua facilidade de processamento, ser um material renovável, ser má condutora de calor e ter alta razão resistência/massa. Apresenta, porém, alguns aspectos negativos como a instabilidade dimensional e a baixa durabilidade natural quando comparada a materiais não orgânicos e isotrópicos (OZAKI, 1999).

Com o intuito de diminuir a higroscopicidade e principalmente aumentar a vida útil de espécies empregadas no setor madeireiro são usados tratamentos com produtos preservantes tóxicos, o que implica em dificuldade no destino adequado dos seus resíduos. Esse fato abre espaço para uso de outras técnicas, como por exemplo o tratamento térmico, que ao aquecer amostras de madeira em faixas de temperaturas e tempos inferiores àquelas da carbonização melhora as propriedades da madeira sem comprometer seu uso final (ESTEVES, 2016; CONTE et al., 2014).

A madeira frente à elevação da temperatura causada pelo tratamento térmico degrada principalmente as hemiceluloses (STAMM et al., 1946), seu constituinte mais hidrófilo. Esta redução no conteúdo de hemicelulose reduz a capacidade da madeira de permutar água com o meio, minimizando problemas de contração e inchamento (AYTIN et al., 2015; BORGES e QUIRINO, 2004) e, ainda, aumenta sua vida útil frente ao ataque de organismos xilófagos (SANDBERG e KUTNAR, 2015; PONCSÁK et al., 2006). Tais tratamentos podem, entretanto, causar alteração das propriedades mecânicas da madeira, podendo torná-la mais frágil (PERÇIN et al., 2015; KOCAEFE et al., 2008; KIM et al., 1998; STAMM, 1964) e mais escura, com menor porosidade e condutividade térmica (KOCAEFE et al., 2015; LOPES et al., 2014; ESTEVES e PEREIRA, 2008).

Os Vikings, antes do século 16, empiricamente já tratavam a madeira com calor, observando que aquecendo as extremidades das toras sua durabilidade natural aumentava (LARENSTEIN, 2009). De acordo com Stamm et al. (1946), na década de 40, nos Estados Unidos, foram os precursores no estudo do tratamento térmico como método de diminuir

a permutação de água na madeira, aumentando sua estabilidade dimensional. No Brasil, Brito (1993) publicou os primeiros trabalhos sobre o tratamento térmico da madeira, descrevendo a influência da temperatura na redução da massa e na alteração das propriedades físicas e químicas para o eucalipto.

Atualmente existem diversos processos industriais conhecidos e amplamente usados para tratar a madeira, principalmente na França, Finlândia, Alemanha e Holanda (ZAWADZKI et al., 2016). Alguns desses tratamentos utilizam o gás nitrogênio, como o francês “Bois Perdure” e outros, óleo quente, como o alemão “OHT”, uma vez que estas atmosferas inertes contribuem para a manutenção das altas temperaturas ou controlam as reações de oxidação (RAPP, 2001; JOHANSSON, 2008). Encontram-se na literatura estudos que procuram tornar o processo mais econômico e tecnológico tentando superar a inconveniente diminuição da resistência mecânica (TJEERDSMA e MILITZ, 2005; BRITO et al., 2020).

Outros tratamentos de estabilização dimensional da madeira como a modificação química e a de superfície apresentam a desvantagem de usar uma grande quantidade de produtos químicos, comprometendo o meio ambiente e elevando o custo do processo (ESTEVES e PEREIRA, 2009). Neste sentido, diferentes estudos vêm sendo realizados e, dentre eles, o tratamento térmico é um dos que tem crescido. Esse método é um dos mais antigos, simples e econômicos para melhorar propriedades físicas como a higroscopicidade e a estabilidade dimensional, sem o uso de produtos químicos nocivos (ARAÚJO, 2010).

Os segmentos industriais que utilizam a madeira em seus produtos têm várias espécies à disposição. Os segmentos da construção civil, mobiliário e ainda pontes, dormentes e vários outros tem usado com frequência as espécies cumaru (*Dipteryx odorata*) e maçaranduba (*Manilkara* sp.) (IBDF, 1983; IPT, 2011; IPT, 2013). No entanto, tem enfrentado problemas com estas espécies, principalmente quanto às suas estabilidades dimensionais. São frequentes as consultas recebidas pela Universidade de Brasília/Departamento de Engenharia Florestal provenientes da construção civil demandando soluções para os problemas de instabilidades dimensionais apresentados por estas espécies. As pesquisas desenvolvidas nesta direção contribuirão significativamente para mitigar os problemas apresentados por estas espécies.

Complementarmente este estudo contemplou uma espécie de densidade média que também apresenta problemas de instabilidade dimensional, - o tauari (*Couratari oblongifolia*) – utilizado na construção civil interna em ripas, caibros, e para estruturas mais leves, como esquadrias e mobiliário em geral. Nesse sentido, o estudo fornecerá informações adicionais do comportamento de uma espécie de média densidade submetida a tratamentos para estabilização dimensional.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o efeito de tratamentos térmicos nas propriedades tecnológicas das madeiras de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd (cumaru), *Manilkara bidentata* (maçaranduba) e *Couratari oblongifolia* Ducke & Knuth (tauari), utilizando estufa e prensa e diferentes tempos e temperaturas, visando a estabilização dimensional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Determinar e comparar as propriedades físicas (taxa de absorção de água, eficiência de repelência à água, inchamentos lineares, coeficiente de inchamento volumétrico, densidade aparente e básica e os parâmetros colorimétricos L*, a*, b*, C e h*) da madeira “in natura” e tratada termicamente para os diferentes tratamentos realizados;
- Determinar e comparar o módulo de elasticidade dinâmico utilizando os métodos de ultrassom e de ondas de tensão da madeira “in natura” e tratada das três espécies estudadas para os diferentes tratamentos realizados;
- Analisar a integridade da superfície das madeiras após os tratamentos térmicos utilizando o microscópio eletrônico de varredura (MEV).
- Comparar a eficiência dos tratamentos utilizados em relação ao tempo, temperatura e equipamento quanto à estabilidade dimensional alcançada.

3 HIPÓTESE

É possível supor que o tratamento térmico aplicado por estufa e por prensa em diferentes espécies de madeiras afetem suas características, principalmente reduzindo sua instabilidade dimensional, de forma a se tornarem melhores para várias utilizações.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 ESPÉCIES ESTUDADAS

4.1.1 Cumaru (*Dipteryx odorata*)

O cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd) é uma Fabaceae, espécie arbórea de grande porte, atingindo até 30 metros de altura na floresta primária, cujas sementes aromáticas produzem um óleo essencial e industrial que a torna importante para o extrativismo. Também é tida como importante para reflorestamentos, frutificando precocemente aos quatro anos de idade (LESCURE e CASTRO, 1992; CLAY et al., 1999).

Esta espécie ocorre em toda a Floresta Amazônica, da Venezuela ao Estado do Mato Grosso. Apresenta cerne e alburno distintos pela cor, cerne castanho-claro-amarelado; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptíveis, densidade alta; dura ao corte; grã revessa; textura fina a média, aspecto fibroso atenuado; superfície pouco lustrosa. O cerne apresenta alta resistência ao ataque de organismos xilófagos e massa específica aparente a 15% de umidade de 1.090 kg/m³ (IPT, 2011).

Consoante Souza et al. (1997) a madeira de cumaru apresenta cerne marrom-amarelado, distinto do alburno marrom pálido. Anéis de crescimento distintos, grã revessa, textura média a fina, brilho ausente e cheiro imperceptível.

Lescure e Castro (1992) dissertam que a madeira de cumaru é muito pesada (0,95 a 1,00 g/cm³ de densidade aparente) e muito resistente, apresentando-se como uma das melhores madeiras para dormentes, não apenas pela durabilidade, como também por não apresentar fendilhamento quando exposta ao sol. Segundo Loureiro et al. (1979) é utilizada para produção de implementos agrícolas, na construção naval, na confecção de cabos de ferramentas, de moirões, de dormentes, de carroças, de estacas, esteios, tacos para assoalhos, de vigamentos, de artigos para laminados de marcenaria bem como buchas de hélices de embarcações.

De acordo com Chichignoud et al. (1990) seus usos mais frequentes são em pontes, instalações portuárias, madeiramento pesado, painéis de madeira, construção civil e trabalhos hidráulicos. Segundo o IBDF (1983) a madeira é indicada para construção pesada, pontes e construções marítimas, barcos, embarcações e similares, laminados e

compensados, dormentes, pontes, estacas e moirões, assoalhamento, marcenaria e mobília, implementos agrícolas e esportes e atletismo (IBDF, 1983).

Conforme o IBDF (1983) e Souza et al. (1997) é considerada relativamente fácil de secar, considerando sua densidade, com ocorrência de algumas rachaduras superficiais em alguns casos. Sua secagem ao ar livre é lenta, enquanto em estufa é rápida. Quanto à preservação, seu alburno é considerado parcialmente impermeável e seu cerne impermeável, não sendo tratável com creosoto e nem com CCA-A, mesmo em tratamentos sob pressão. Sobre sua trabalhabilidade, os mesmos autores complementam que a espécie é considerada difícil de serrar, furar e colar, mas apresenta bom acabamento com pintura, verniz, lustre e emassamento. É considerada resistente ao ataque de fungos, insetos e brocas marinhas. Para dormentes, em solo bem drenado em experimento realizado em Belém, sua durabilidade foi de 10 a 22 anos.

A madeira de cumaru apresenta densidade aparente a 12% de 1,070 g/cm³ (considerada muito pesada). Contração linear total tangencial de 7,9% e radial de 5,5%. Módulo de elasticidade à flexão estática (12%) de 22.000 N/mm² (CHICHIGNOUD, et al., 1990). De acordo com o IBDF (1983) sua densidade básica de 0,91 g/cm³, contração tangencial de 8,3%, radial de 5,8%. Módulo de ruptura variando de 1350 a 1754 kg/cm² e módulo de elasticidade entre 158000 e 177000 kg/cm³ em flexão estática (IBDF, 1983).

O IPT (2013) cita os valores para a madeira de densidade aparente a 15% de umidade de 1,090 g/cm³ e básica de 0,908 g/cm³. Contração tangencial de 8,2%, radial de 5,3% e volumétrica de 13,6%.

4.1.2 Maçaranduba (*Manilkara bidentata*)

Maçaranduba, como é conhecido o gênero *Manilkara* (Sapotaceae) é um conjunto composto por cerca de 70 espécies distribuídas nas regiões tropicais do mundo, com grande importância ecológica e econômica devida à alta resistência da madeira (SUJII et al., 2009).

As espécies desse gênero são arbóreas de grande porte, fuste longo e retilíneo, com altura geralmente variando de 30 a 40 metros, podendo atingir alturas ainda mais elevadas, como 50 metros (LOUREIRO et al., 1979). Consoante SUDAM (1979) são espécies de ampla distribuição, ocorrendo nos estados do Pará, Amazonas, Mato Grosso,

Roraima, Rondônia, Maranhão e Amapá. São mais frequentes em mata de terra firme, mas podem ser encontradas em várzeas pouco inundadas.

Souza et al. (2014) descreve a maçaranduba como uma espécie de elevado interesse econômico, de ocorrência generalizada em toda a região amazônica, em zonas de terra firme, planalto e flanco. Schulze et al. (2005) também comentam sua importância econômica, relatando que a espécie está entre as mais exportadas da região do Pará, com uma madeira valiosa para o mercado dos Estados Unidos, Japão e alguns países europeus.

De acordo com a Embrapa (2004) sua madeira é pesada, com cerne vermelho-escuro e grã direita. De textura fina, insípida e inodora. Gomes et al. (2005) relatam que possui alta durabilidade natural em contato com o solo de terra firme, sendo indicada para utilização em cercas, postes, assoalhos e outras variadas aplicações. De acordo com o IBDF (1983) é indicada para torneamento, laminados e compensados, dormentes, pontes, estacas e moirões, assoalhamento, marcenaria e mobília.

Segundo Souza et al. (1997) a madeira possui cerne vermelho-claro, quando recém cortado, distinto do alburno rosado e marrom pálido. Anéis de crescimento distintos, grã direita, textura fina, brilho ausente e cheiro imperceptível. A madeira é pesada, com densidade a 12% de teor de umidade em torno de 1,00 g/cm³ e densidade verde em torno de 1,26 g/cm³. Sua secagem em estufa é rápida, com tendência moderada a rachaduras e forte encanoamento médio. Quanto à trabalhabilidade é fácil de serrar, laminar, torneiar, colar e parafusar. Seu cerne não é tratável com CCA-A, mesmo quando preservado sob pressão.

Conforme o IPT (2011) é usada comumente em construção civil, tanto na parte pesada externa que inclui dormentes ferroviários, como pontes, cruzetas e estacas e na parte pesada interna, como tesouras, vigas e caibros. Também é usada em assoalhos, em mobiliário de alta qualidade, como em partes decorativas de móveis (puxadores, entalhes) e ainda em peças torneadas, instrumentos musicais (arcos de violinos) lâminas e tacos de bilhar.

4.1.3 Tauari (*Couratari oblongifolia*)

Tauari corresponde às espécies de três gêneros de Lecythidaceae: *Allantoma*, *Cariniana* e *Couratari*, desta forma agrupadas devido às suas características dendrológicas. A árvore da espécie *Couratari oblongifolia* Ducke & Knuth tem de 30 a

45 metros de altura. A base do tronco tem sapopemas altas, tabulares retas e côncavas, ramificadas. O fuste é cilíndrico, a casca com ritidoma marrom-avermelhado à cinza. (PROCÓPIO e SECCO, 2008).

A espécie *Couratari oblongifolia* também é conhecida como imbirema, estopeiro, toari e tauari-amarelo. Ocorre nas matas de terra firme, principalmente nos estados de Amazonas, Roraima, Amapá e Pará (GARCIA et al., 2012).

De acordo com o IPT (2013) o cerne e o alburno são indistintos pela cor e branco-amarelado a bege-amarelado-claro, de brilho moderado, cheiro variável de pouco perceptível a perceptível, neste caso, desagradável, gosto levemente amargo, macia ao corte, grã direta e textura média.

Consoante Garcia et al. (2012) a madeira de tauari possui grande aceitação no mercado interno e no exterior. Possui cerne e alburno indiferenciados quanto à cor, sendo branco-palha levemente rosado. É classificada de acordo com sua densidade, resistência mecânica e retratibilidade como de classe média, com densidade a 15% de teor de umidade de 0,660 g/cm³.

A madeira de tauari apresenta baixa resistência ao ataque de fungos e cupins. É permeável às soluções preservantes quando submetida a tratamento sob pressão. É muito fácil de ser tratada tanto com creosoto como com CCA. Quanto à trabalhabilidade é moderadamente macia ao corte, apresentando bom acabamento, embora às vezes a superfície fique com aparência de felpuda. A velocidade de secagem ao ar é moderada, com leve tendência ao empenamento e rachaduras superficiais. A secagem em estufa é rápida, sem defeitos significativos. Sua densidade aparente a 12% de umidade é de 0,610 g/cm³ e básica de 0,500 g/cm³. Contração tangencial de 6,6%, radial de 4,2% e volumétrica de 10,9% (IPT, 2013).

De acordo com Souza (1994) a espécie é indicada para construção civil e naval, móveis, artigos decorativos, utensílios domésticos, brinquedos, instrumentos musicais, caixas, engradados, embalagens, peças encurvadas, marcenaria, lâminas, compensados e outros. O IBDF (1983) menciona como uma madeira indicada para construção geral, dormentes, pontes e construções marítimas, barcos e embarcações similares, assoalhamento, postes, estacas e moirões.

4.2 PROPRIEDADES E ESTRUTURA DA MADEIRA

A madeira é um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células com propriedades específicas. As camadas mais externas e fisiologicamente ativas são ligadas ao alburno da madeira, desempenhando as funções de condução de líquidos, transformação e armazenamento, bem como transporte de substâncias nutritivas. As camadas mais internas se distanciam do câmbio vascular e são ligadas ao cerne, vão perdendo gradativamente sua atividade fisiológica e sustentando o vegetal, adquirindo para várias espécies coloração mais escura (USDA, 2010).

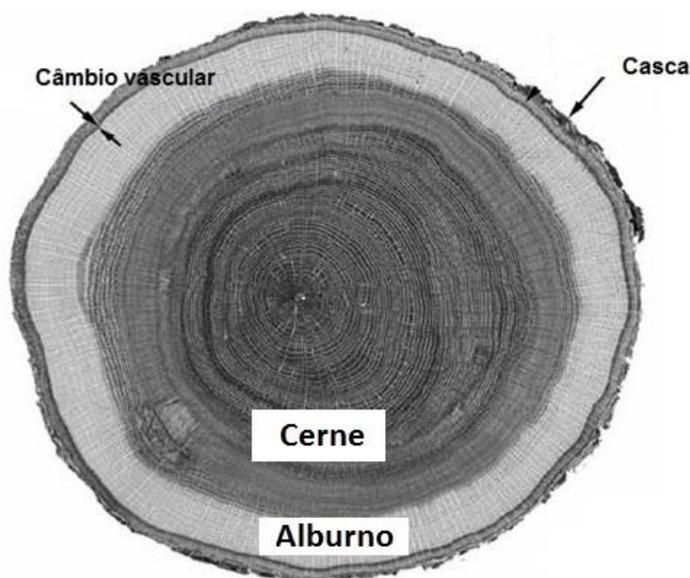


Figura 4.1. Representação do cerne e alburno

Fonte: adaptado de USDA (2010).

A madeira é um material complexo, caracterizado pela quantidade, disposição, orientação e composição química de seus elementos anatômicos. Neste sentido, a caracterização tecnológica é o instrumento essencial para se entender o comportamento da madeira sob diferentes solicitações, determinar suas propriedades e possíveis utilizações. Compreende-se como caracterização tecnológica a determinação das propriedades físicas, mecânicas e químicas e todas as características que englobam estes aspectos, como o comportamento à secagem, a durabilidade e a trabalhabilidade da madeira (MELO, 2002).

As árvores podem ser classificadas em dois grupos: coníferas (gimnospermas) e folhosas (angiospermas). As madeiras de coníferas apresentam uma estrutura menos complexa do que as folhosas. Os traqueídeos nas coníferas e as fibras nas folhosas

constituem a maior parte da parede celular e essas estruturas são responsáveis pela maioria das propriedades químicas e físicas da madeira (STAMM, 1964).

A parede celular da madeira é composta de uma parede primária e uma parede secundária. Esta última é composta de três camadas denominadas de S1, S2 e S3. A camada mais externa é a S1, seguida ontogeneticamente pela S2 e S3. À medida que a parede secundária é formada as microfibrilas são depositadas de tal maneira que são espiraladas ao redor do interior da célula com seu eixo longitudinal perpendicular ao eixo da célula. Assim, a parede secundária é importante no entendimento do comportamento físico e mecânico da madeira, principalmente por causa da sua espessa camada S2 (SILVA et al., 1994).

De acordo com a descrição macroscópica da madeira, ela é definida como um material de natureza anisotrópica, ou seja, que apresenta reações diferentes segundo a direção considerada. Para o estudo da madeira torna-se necessário considerar três seções segundo planos ortogonais: transversal, normal ao eixo correspondente ao topo das toras; longitudinal radial, que corresponde a um plano de corte passando pelo eixo e longitudinal tangencial, que resulta de cortes paralelos ao eixo do tronco e tangencial às camadas de crescimento (MORESCHI, 2012).

De maneira simplificada, o plano transversal é perpendicular ao eixo da árvore, o longitudinal radial é paralelo aos raios e perpendicular aos anéis de crescimento e o longitudinal tangencial é tangente aos anéis de crescimento e perpendicular aos raios (HATHER, 2000).

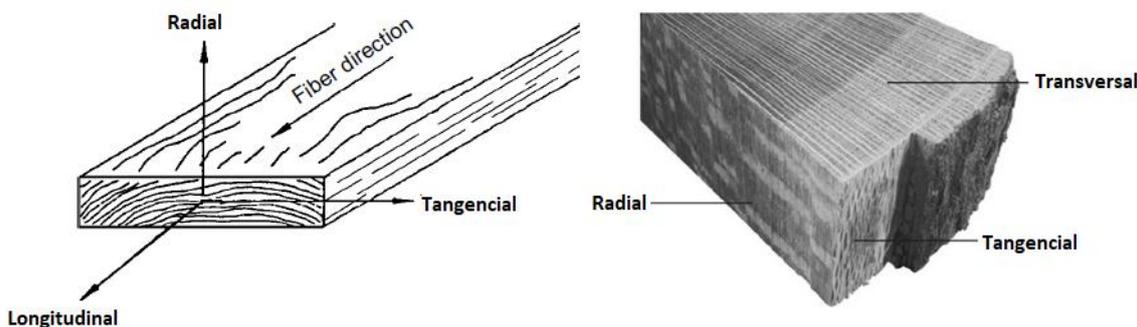


Figura 4.2 Eixos de corte da madeira
Fonte: Coradin (2002); USDA (2010).

Enquanto o corte transversal apresenta características bem distintas, como os anéis de crescimento que comumente tomam a forma de anéis concêntricos (FOELKEL, 1977). As faces tangencial e radial apresentam características mecânicas e algumas vezes colorimétricas distintas, sendo importante diferenciá-las na caracterização, avaliação e utilização da madeira.

4.3 PROPRIEDADES ANATÔMICAS DA MADEIRA

Anatomia da madeira é um ramo da ciência botânica que estuda a estrutura interna do lenho (xilema secundário), sua composição celular e as funções de cada elemento que constitui esse tecido (SILVA, 1994). De acordo com Burger e Ritcher (1991) a anatomia da madeira tem como objetivos: conhecer a madeira visando um emprego correto; identificar espécies; distinguir madeiras aparentemente idênticas; prever utilizações adequadas de acordo com as características anatômicas da madeira; prever e compreender o comportamento da madeira no que diz respeito à sua utilização.

O comportamento mecânico da madeira (secagem, colagem de peças, trabalhabilidade, resistência, rigidez e outros) está intimamente associado a sua estrutura celular. Por meio da anatomia é possível diferenciar espécies, identificando corretamente a madeira. O estudo da anatomia do lenho, sem dúvida alguma, tem por principal finalidade o reconhecimento microscópico da madeira. As vantagens resultantes dessa verificação de identidade são de real alcance para o comércio e indústria madeireira. O seu exame anatômico representa o único meio seguro para identificá-las, fornecendo, aos vendedores e compradores, a necessária garantia de que carecem, quanto à lisura da transação (COSTA, 2001).

As madeiras de coníferas apresentam uma estrutura anatômica menos complexa do que as de folhosas. A principal diferença em relação à anatomia da madeira nesses dois grupos é a presença de vasos nas folhosas, assim como a pequena quantidade relativa de parênquima, sobretudo axial, nas coníferas. Nas coníferas não encontramos vasos, mas ocorre a presença de traqueídeos que são células que fazem condução e suporte, de forma análoga aos vasos (SILVA, 1994).

De acordo com Fahn (1985) a estrutura básica do xilema secundário possui dois sistemas de elementos, que diferem na orientação dos seus eixos longitudinais, sendo um

vertical e outro horizontal. O sistema vertical é formado por vasos, fibras e parênquima e o horizontal compreende os raios.

Os traqueídeos, com origem nas células fusiformes iniciais, são células muito estreitas e compridas, com função de transporte e suporte. Nas folhosas, os vasos existem com função de transporte e as fibras são células de parede mais espessa, com função de suporte. Os raios têm origem nas células iniciais radiais e aparecem em maior quantidade nas folhosas que nas coníferas. Os fibrotraqueídeos, com origem nas células iniciais fusiformes, têm mais função de suporte que de transporte, pois possuem um lúmen menor e maior espessamento de parede. O parênquima, tecido com função de armazenamento, é geralmente mais abundante nas folhosas que nas coníferas e sua distribuição é muito importante para a identificação das madeiras (ESAU, 1974; BUTTERFIELD, 2006).

4.3.1 Efeito do tratamento térmico na anatomia da madeira

De acordo com Boonstra et al. (2006) a modificação térmica da madeira altera a estrutura anatômica de forma estreitamente dependente da espécie e das variáveis utilizadas no processo. As alterações observadas são decorrentes, principalmente, dos defeitos que o tratamento térmico acarreta, tais como rachaduras radiais e colapso, causados pelos elevados esforços de secagem e a baixa resistência mecânica de algumas espécies.

Segundo Fengel e Wegener (1989) a movimentação dimensional da madeira é decorrente da contração e inchamento da parede celular. As paredes celulares da madeira modificada termicamente realizam contração adicional durante o processo, por causa dos espaços vazios deixados pelos constituintes após a perda de massa. Como estas são diferentes entre as camadas, bem como a madeira exhibe anisotropia de contração, conseqüentes fissuras e compressões podem se originar nas paredes celulares. Estas fissuras na parede celular decorrentes da modificação térmica ocorrem notadamente na região das quinas das células, entre as camadas S1 e S2, que são as porções mais frágeis. O autor complementa que estes defeitos também são causados pelo amolecimento da parede celular causado pela temperatura, e não somente pela perda de massa.

Em uma mesma amostra as dimensões dos elementos celulares podem variar consideravelmente, de forma que a heterogeneidade é uma característica da madeira que dificulta afirmações conclusivas a respeito do efeito da modificação térmica nas

dimensões destes elementos (BATISTA, 2012). Mburu et al. (2007) no sentido de sanar a dificuldade analisa microscopicamente a mesma região de amostras de madeira de *Grevillea robusta* antes e depois da modificação térmica a 250°C por 4 horas e verifica que a estrutura anatômica foi pouco alterada pela ação do processo, em que vasos, fibras e parênquimas longitudinal e radial mantiveram suas formas naturais. Os autores relatam como principal alteração do tratamento a eliminação de extrativos depositados nos vasos.

Reiterando o supracitado, Boonstra et al (2006) discutem que mesmo estruturas frágeis, tais como a membrana de pontoação de células de parênquima radial (folhosas) e a membrana de pontoação aerolada de traqueídeos (coníferas), não foram danificadas pelo tratamento térmico em temperaturas entre 160 e 190°C. Assim, espera-se que não ocorram alterações na forma da parede celular decorrentes do processo de modificação térmica, além daquelas que tenham origem em defeitos e anormalidades da própria madeira (nós, colapso, lenho de reação, por exemplo) (BATISTA, 2012).

4.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

As propriedades físicas da madeira englobam características intrínsecas da madeira (como teor de umidade, cor, densidade básica e aparente) ou alterações dimensionais nas trocas de água com o meio, na reação à eletricidade e reação ao calor (MENEZES, 2017).

Conhecer as propriedades físicas e mecânicas possibilita um uso mais racional da madeira (CALDERAZZO, YAMAJI, 2010). De acordo com Shimoyama e Barrichelo (1990) todas as propriedades da madeira se relacionam à sua densidade, sendo, portanto, este parâmetro físico o ponto de partida no estudo da madeira, para as mais diversas formas de utilização. A caracterização física e mecânica da madeira se faz imprescindível à sua utilização para a construção civil, fabricação de chapas ou à utilização na indústria de móveis (HELLMEISTER, 1982).

As propriedades físicas mais importantes que caracterizam a madeira são a densidade, a higroscopicidade e a retratibilidade (WIEDENHOEFT e MILLER, 2005). Skaar (1988) corrobora, citando as propriedades físicas que melhor caracterizam a madeira, em ordem de importância em: a densidade aparente, que trata da relação entre a massa e o volume da madeira; o teor de umidade, que expressa a quantidade de água

presente na madeira; e a contração e inchamento, que são a quantificação da instabilidade dimensional, associada ao fenômeno de sorção da água na madeira.

4.4.1 Teor de Umidade - Higroscopicidade

Moreschi (2012) define o teor de umidade da madeira como a relação entre a massa da água contida no seu interior e a sua massa no estado completamente seco.

De acordo com Melo (2002) a madeira é considerada um material semiporoso, de forma que absorve umidade quando o ambiente está úmido e perde quando o ambiente está seco. Seu comportamento higroscópico é uma das características mais importantes no estudo do comportamento da madeira, influenciando nas propriedades físicas e mecânicas, na secagem e preservação, na durabilidade natural, trabalhabilidade, acabamentos e produtos derivados.

A madeira apresenta basicamente dois tipos principais de água: a capilar ou livre localizada nos vasos, nos canais e no lúmen, que evapora inicialmente quando a madeira é exposta à diferentes condições de umidade, até atingir o chamado ponto de saturação das fibras (PSF); e a água de adesão ou higroscópica, localizada no interior das paredes celulares, que é liberada quando o teor de umidade da madeira está abaixo do PSF (POTULSKI, 2010). A água livre localizada nos vasos, canais e lúmen das células está sujeita a forças capilares, e teoricamente é fácil ser retirada. A água higroscópica, no entanto, é de mais difícil remoção na madeira, pois está aderida por ligações de ponte de hidrogênio aos grupos hidroxílicos nas cadeias da celulose, hemicelulose e, em menor extensão, na lignina (SKAAR, 1972).

O ponto de saturação das fibras diz respeito então à condição em que a água livre contida no lúmen das células é removida e a parede celular está ainda saturada de água. Esse ponto varia de espécie para espécie, com valores normalmente entre 28 e 30% (HAYGREEN e BOWYER, 1996).

A umidade de equilíbrio é uma medida da higroscopicidade da madeira, e é expressa em porcentagem da massa seca da madeira. A madeira está em umidade de equilíbrio quando se encontra em equilíbrio higroscópico com o meio, de forma que não troca umidade com a atmosfera circundante (TSOUMIS, 1991)

A higroscopicidade da madeira é basicamente ocasionada pelos grupos hidroxílicos (OH) que nela ocorrem. Eles atraem e retêm moléculas de água através de

pontes de hidrogênio. Desta forma, a quantidade de água higroscópica presente na madeira é limitada pelo número de sítios de sorção disponíveis e pelo número de moléculas de água que podem ser retiradas destes sítios (SIAU, 1995).

4.4.2 Estabilidade dimensional

A variação no teor de umidade ocasiona alterações nas dimensões da madeira. Esse fenômeno é denominado de retração e inchamento higroscópico, porque as alterações volumétricas ocorrem como consequência de variações no teor de água higroscópica. Assim, a madeira exposta às variações da atmosfera de temperatura e umidade relativa está constantemente ganhando ou perdendo moléculas de água, propriedade conhecida como higroscopicidade (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985; TSOUMIS, 1991).

De forma geral, à medida que a madeira perde água ela se retrai, ao passo que o inchamento caracteriza a adsorção. Praticamente toda a movimentação ocorre entre a umidade de saturação do ar e 0% de umidade, isso significa que as variações dimensionais correspondem à dessorção ou adsorção da água higroscópica localizada nas paredes celulares, entre 0% de umidade e o ponto de saturação das fibras (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

A estrutura anatômica da madeira é a razão básica para a sua anisotropia de contração e inchamento, em que a maior variação dimensional ocorre na direção tangencial aos anéis de crescimento. O fenômeno é mais importante na direção tangencial, de forma que a retração neste sentido varia de 5 a 10% da dimensão verde, conforme as espécies. A retratibilidade na direção radial é cerca da metade da direção tangencial. Na direção longitudinal, a retração é menos pronunciada, valendo apenas 0,1% a 0,3% da dimensão verde, e por isso diversos estudos não a contabilizam. A retração volumétrica é aproximadamente igual à soma das três retrações lineares ortogonais (PFEIL e PFEIL, 2003).

A razão entre a retratibilidade tangencial e radial (relação T/R), chamada de fator ou coeficiente de anisotropia, geralmente varia de 1,5 a 2,5, e tornou-se um índice muito importante nos estudos de contração da madeira; quanto maior essa relação, maior será a tendência ao fendilhamento e empenamento da madeira. Para usos que envolverem

estabilidade dimensional da madeira, a mais recomendada é aquela que apresentar a menor taxa T/R (OLIVEIRA e SILVA, 2003).

O coeficiente de anisotropia, segundo Nock et al. (1975) é utilizado na indicação da qualidade da madeira quanto aos defeitos oriundos da secagem e um coeficiente anisotrópico igual a 1 representaria uma alteração igual de dimensões nos sentidos radial e tangencial, situação hipotética considerada ideal e que não provocaria a formação de tensões internas.

Em resumo, a capacidade da madeira de trocar água com o meio acarreta nas alterações que a tornam instável dimensionalmente e a densidade é um dos fatores que afeta mais esta característica, de forma que quanto maior a densidade, maior a movimentação dimensional da madeira (TSOUMIS, 1991). Isto ocorre, ainda de acordo com Tsoumis (1991), devido a maior concentração de células de paredes espessas, resultando em um maior número de sítios de sorção de água, o que resulta em uma maior modificação das dimensões celulares durante as trocas de umidade com o meio.

De acordo com Galvão e Jankowsky (1985), em menor grau que a densidade, outro fator que interfere na anisotropia é o teor de extrativos. Esta influência é proporcional ao espaço ocupado pelos extrativos na parede celular, de forma que sua remoção aumenta a contração e o inchamento. De acordo com Tsoumis (1991) a composição química das paredes celulares na contração e no inchamento é pequena, dada a pouca variação em seus teores entre as espécies. O autor ressalta que a lignina exerce um efeito restritivo à movimentação dimensional, por sua menor higroscopicidade em relação aos demais constituintes primários da parede celular. As relações entre a estrutura anatômica, composição química, principalmente em relação aos teores de extrativo e lignina e a densidade são responsáveis pelas diferentes contrações e inchamentos entre as espécies.

O principal problema da madeira, para uso estrutural, é a característica da variação dimensional. Essas variações são desiguais devido à anisotropia da madeira, como mencionado anteriormente, e por este motivo ocorrem na madeira empenamentos, encanoamentos, rachaduras internas e superficiais, de forma que estudar o comportamento das variações dimensionais da madeira é essencial para sua utilização industrial, de forma a aproveitar a madeira de forma mais eficiente (STAMM, 1964; MENEZES, 2017).

4.4.2.1 Efeito do tratamento térmico na higroscopicidade e na estabilidade dimensional da madeira

O processo patenteado nos EUA, ainda na década de 1940, derivado de estudos iniciais sobre o tratamento térmico da madeira, já carrega em si um dos seus principais efeitos requeridos: "Staybwood" - madeira estável, ou seja, a estabilização dimensional da madeira (HILL, 2006).

O tratamento térmico reduz a higroscopicidade da madeira através da degradação de seu constituinte mais hidrófilo, que é a hemicelulose. Ao reduzir a capacidade da madeira de permutar água com o meio, minimizam-se problemas de contração e inchamento. A menor variação dimensional da peça agrega valor ao produto comercializado permitindo utilização de madeiras antes descartadas, além da obtenção de um produto com maior qualidade (BORQUES e QUIRINO, 2004).

Stamm (1964) salienta que a hemicelulose é menos resistente termicamente quando comparada à celulose e à lignina, em razão do baixo peso molecular e estrutura ramificada. A degradação térmica das hemiceluloses gera furfural e outros polímeros, provenientes da quebra dos açúcares, que são naturalmente menos higroscópicos que as hemiceluloses que os formaram. A madeira tratada termicamente torna-se, assim, mais estável dimensionalmente quando comparada à original, pela redução dos grupos hidrofílicos, que são os pontos de adsorção das moléculas de água.

O aumento da temperatura em um tratamento térmico leva à redução do ponto de saturação das fibras. Os efeitos na redução da umidade de um longo tempo de exposição para madeiras em baixas temperaturas parecem ser equivalentes aos efeitos de um curto tempo de exposição para madeiras em alta temperatura, de acordo com Reppellin e Guyonnet (2005).

Cabe ressaltar que a redução na estabilidade dimensional é largamente dependente do processo associado, temperatura final e espécie (MENEZES, 2017). De acordo com a COST ACTION E22 (2001) o processo industrial ThermoWood reduz drasticamente a higroscopicidade da madeira, reduzindo a contração e o inchamento em torno de 50%; o processo Plato reduz a contração de forma próxima, em 50%; o Retification apresenta reduções de contração de 25 a 43% e a Menz OHT reduções de 40 a 68%.

Huller et al. (2017) trataram termicamente a madeira de *Eucalyptus cloeziana* aplicando temperaturas finais de 160 e 210°C durante 1 hora em estufa elétrica com circulação de ar e verificaram que no tratamento de maior temperatura (210°C) houve a maior redução na umidade de equilíbrio (70,76%). Os autores concluíram que os tratamentos diminuíram significativamente o fator anisotrópico da madeira.

Zablonsky et al. (2017) trataram termicamente a madeira de *Pinus* sp. em uma "fritadeira" industrial elétrica, de forma que as amostras ficaram em imersão em óleo de soja aquecido a temperaturas de 80 e 160°C por 20 e 40 minutos com e sem imersão posterior em óleo frio. Os autores observaram que o tratamento associado à imersão em óleo frio resultou em menores contrações e empenamentos e no aumento dos valores da densidade, porém resultou em uma maior variação dimensional. Os autores recomendam a imersão em óleo de soja aquecido como um tratamento térmico para melhorar a estabilidade dimensional da madeira.

Pertuzzatti et al. (2016) avaliaram a modificação da madeira de *Pinus elliottii* tratada em banho de óleo de soja e em estufa com circulação de ar durante 4 horas a 180°C. Os autores relatam que os tratamentos causaram alterações favoráveis nas propriedades físicas da madeira, e que o tratamento em óleo apresentou melhores resultados sobre a higroscopicidade da madeira, recomendando o uso deste tratamento em ambientes que rotineiramente oscilam a umidade, como no caso de aberturas, esquadrias e móveis de jardins, bem como para fins estéticos e decorativos.

Junior et al. (2015) trataram termicamente a madeira de *Eucalyptus grandis* em uma estufa Eletrolab a temperaturas de 160, 180, 200 e 215° durante 2 e 4 horas. A madeira apresentou de acordo com os resultados encontrados pelos autores redução da umidade de equilíbrio e variação volumétrica em função do aumento da temperatura e tempo.

Dos Anjos e De Sousa (2015) trataram a madeira de *Goupia glabra* Aubl. (cupiúba) em estufa com ventilação forçada a 140, 160 e 180°C durante 3 horas. Os autores relatam que as madeiras quando tratadas se tornaram menos higroscópicas, atingindo umidade de equilíbrio menor que as sem tratamento térmico, principalmente as aquecidas a 180°C, por conta da maior perda de componentes hidrófilos da estrutura da madeira.

Soares et al. (2018) avaliaram a madeira de *Pinus* sp. em tratamento combinado de impregnação com resina termoplástica a base de breu, pelos métodos de vácuo-imersão e pressão hiperbárica, seguido de tratamento térmico a 180° em uma estufa laboratorial com exaustão de ar no interior. Os autores relatam que os tratamentos combinados tornaram a superfície das peças tratadas mais hidrofóbicas, diminuíram a taxa de absorção de água, reduzindo em até 3 vezes a capacidade da madeira de reter água.

Menezes (2017) tratando termicamente a madeira de *Tectona grandis* de acordo com o processo industrial VAP HolzSysteme®, utilizando temperatura final de 160°C relata que o teor de umidade de equilíbrio diminuiu, devido à perda de massa da hemicelulose e aumento dos extrativos totais e, ainda, o inchamento total e anisotropia de inchamento da madeira decresceu em função da degradação da hemicelulose, melhorando a estabilidade dimensional da madeira.

4.4.3 Densidade

A densidade é a propriedade física mais significativa para caracterizar madeiras destinadas à construção civil, fabricação de chapas ou à utilização na indústria de móveis e ainda para o uso energético ou fabricação de celulose (HELLMEISTER, 1982). Moreschi (2012) corrobora e acrescenta, afirmando que a densidade constitui uma das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira. De forma geral, madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves. Porém, em paralelo a estas vantagens, são de mais difícil trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade.

Batista (2012), ainda sobre o disposto, complementa que dentre as diversas propriedades da madeira, a densidade é a mais utilizada, pois se correlaciona diretamente com a massa, composição celular, demais propriedades físicas, mecânicas, térmicas, acústicas, elétricas, além de ser determinada facilmente. Assim, a densidade é uma propriedade indicativa da qualidade e aplicação da madeira.

A densidade é descrita, em relação ao seu conceito físico, como a quantidade de massa contida na unidade de volume. É expressa no Sistema Internacional de Unidades (SI) em quilograma por metro cúbico (kg.m⁻³) e no sistema CGS (centímetro, grama, segundo) em grama por centímetro cúbico (g.cm⁻³) (MORESCHI, 2012).

No caso da madeira, como a massa e o volume englobam tanto a parte sólida (madeira) quanto a parte líquida (água) e vazios celulares e intercelulares, os valores de densidade variam em função das condições de umidade. Desta forma, dependendo da condição de umidade da amostra, a densidade pode ser descrita de diferentes formas. As formas mais usuais de determinação são a densidade básica e a densidade aparente (MELO, 2002).

Cabe salientar que na área de tecnologia da madeira alguns estudos utilizam o termo "densidade" e outros "massa específica" sem distinção. No entanto, a massa específica é definida como a relação entre a densidade de uma substância e a densidade da água a uma temperatura específica de referência. Assim, massa específica e densidade são numericamente iguais no sistema CGS, embora a massa específica seja adimensional (GLASS e ZELINKA, 2010). Neste estudo o termo utilizado será "densidade".

A densidade básica relaciona a massa da madeira completamente seca em estufa com o seu respectivo volume saturado (OLIVEIRA, 1997). Trugilho et al. (1989) comparando os diferentes métodos para determinar a densidade básica observaram que os resultados estimaram médias semelhantes, expressando confiabilidade.

A densidade determinada a um dado teor de umidade é denominada "densidade aparente" da madeira. Para esta finalidade foram estabelecidos os teores de umidade fixos de 0%, 12% e 15% de umidade, correspondendo o primeiro ao teor de umidade aproximado da madeira seca em estufa, o segundo ao teor de umidade de equilíbrio da madeira seca em condições climáticas padronizadas, a 20°C e 65% de umidade relativa do ar, e o terceiro ao teor de umidade de equilíbrio aproximado da madeira, que ocorre espontaneamente em muitas situações geográficas do Brasil (MORESCHI, 2012).

De acordo com Oliveira (1997) a densidade aparente na prática é aquela de maior interesse, devido ao fato desta ter influência da porosidade da madeira, é feita com determinação da massa e volume a um mesmo valor de teor de umidade, sendo para as condições internacionais esse teor de 12%.

De acordo com Tsoumis (1991) a densidade varia principalmente em relação a espécie, teor de umidade, estrutura celular (lenho inicial e tardio, adulto e juvenil cerne e alburno), composição química e extrativos. Além dessas, características genéticas e todos os fatores relativos ao ambiente que afetam o desenvolvimento das árvores também irão

influenciar na densidade da madeira. Dentre eles encontram-se o clima (temperatura, umidade relativa, regime de chuvas), solo (fertilidade natural, adubação e características físicas), tratos silviculturais e manejo (BATISTA, 2012).

Silva et al. (2014) complementam que a densidade varia segundo um gradiente de umidade, pois madeiras mais porosas possuem uma maior capacidade de absorver e perder água para o meio, de forma que, em geral, quanto maior a umidade, maior será a densidade da madeira. De acordo com Panshin e De Zeeuw (1964) a densidade, em termos gerais, depende do tamanho das células, da espessura da parede celular e da interrelação entre o número de diferentes células em relação ao seu tamanho e espessura da parede.

4.4.3.1 Efeito do tratamento térmico na densidade da madeira

O processo de modificação térmica naturalmente ocasiona na madeira a perda de sua massa, devido à degradação dos constituintes fundamentais da parede celular e os extrativos. Essa perda de massa ocasiona alteração da densidade da madeira (HILL, 2006).

De acordo com Esteves e Pereira (2009) a degradação das hemiceluloses, em produtos voláteis, e a evaporação de extrativos são as principais razões para a redução da densidade da madeira. Durante a modificação térmica, de forma geral para a madeira, há uma perda de umidade de aproximadamente 30% de massa, constituída pelos subprodutos, provenientes da degradação da madeira e da umidade contida na mesma, sendo esta massa composta por cerca de 50,4% de água, 20,7% de condensáveis (ácido pirolenhoso, furfural e ácido acético) e 28,9% de gases não condensáveis (CO₂, N₂, CO).

Consoante Pinheiro et al. (2008) e Tsoumis (1991) o teor de extrativos voláteis é importante no processo de modificação térmica, pois nas temperaturas comumente utilizadas nestes processos (160°-220°) estes já se volatilizam, de forma a resultar na permanente redução da densidade.

Poubel et al. (2013) verificaram para a madeira de *Pinus caribaea* tratada em estufa com circulação de ar durante 2 horas a 200 e 220°C que o tratamento térmico causou redução significativa na densidade aparente, principalmente quando tratadas com maiores temperaturas.

Juizo et al. (2018) submetendo a madeira de eucalipto ao tratamento térmico em um forno com sistema fechado em temperaturas e tempos de exposição que variaram de 180 a 240°C e 2 e 4 horas verificaram redução perda de massa e conseqüente redução da densidade aparente, com tendência a uma maior diminuição com o aumento da temperatura, atingindo redução em torno de 16,43% em relação a madeira não tratada para a temperatura de exposição mais elevada, de 240°C.

Ferreira et al. (2019) trataram termicamente a madeira de angelim pedra utilizando as temperaturas de 180°C e 200°C com tempos de exposição variando de 2 a 4 horas em estufa com circulação forçada de ar e não obtiveram significativa redução na densidade da madeira tratada.

Freitas et al. (2017) analisaram o comportamento madeira de *Eucalyptus grandis* em tratamento hidrotérmico, em um reator Parr, e de congelamento, em um freezer doméstico, nas temperaturas de -20, 60 e 100°C durante 5, 10 e 15 horas. Os autores relatam que não houve alteração significativa na densidade aparente da espécie para os tratamentos realizados.

Brito (2018) em dissertação sobre a modificação térmica nas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis* realizou o processo utilizando um programa específico e de propriedade da empresa TWBrazil (Paraná), caracterizado como hidrotérmico e composto de cinco fases, com temperatura de 160°C e duração total de 16 horas (incluindo 8 horas de resfriamento). A autora observou redução da densidade aparente (12%) para a *Tectona grandis*, ao passo que para o *Eucalyptus grandis* esse feito ocorreu apenas em termos absolutos, sem diferença estatística significativa.

Nabil et al. (2018) estudaram o efeito do tratamento térmico em um forno a 160, 180, 200 e 220°C durante os tempos de exposição de 2, 4 e 6 horas nas madeiras de cedro e sicômoro. Os autores observaram redução da densidade aparente, principalmente no tratamento sob temperatura e tempo de exposição mais severos.

4.5 MÓDULOS DE ELASTICIDADE DA MADEIRA

As propriedades mecânicas da madeira são aquelas determinadas pelo seu comportamento quando solicitada por forças externas, sendo divididas em propriedades de elasticidade (rigidez) e de resistência (CALIL et al., 2002).

A madeira é descrita como um material ortotrópico, ou seja, possui propriedades mecânicas únicas e independentes nos diferentes eixos mutuamente perpendiculares - longitudinal, radial e tangencial. Desta forma, tanto as propriedades de elasticidade quanto as de resistência diferem de acordo com a direção das fibras em relação à direção de aplicação da força na madeira, sendo padrão mensurar as propriedades paralelas às fibras e as propriedades perpendiculares a estas (MELO, 2002).

De acordo com Winandy e Rowel (1984) o conceito físico de esforço ou tensão de um material mede sua resposta a aplicação de forças externas. Na madeira existem três tipos de esforços: compressão, tração ou cisalhamento. O esforço de flexão é uma combinação dos três anteriores, sendo caracterizado pela flexão do corpo ou distorção rotacional.

A alteração dimensional resultante da atuação de esforços é chamada de deformação, e a relação entre o esforço e a deformação é proporcional dentro do chamado regime elástico. O limite de proporcionalidade delimita o ponto em que, acima dele, o aumento da carga causa uma deformação maior e não proporcional (plástica), irreversível, até a ruptura do material (WINANDY e ROWEL, 1984).

Elasticidade é então a propriedade da madeira sólida que a possibilita retornar à sua forma original após a remoção da carga aplicada que causou certa deformação, de forma que tais deformações produzidas por esforços de pequena magnitude são completamente recuperadas (MORESCHI, 2012).

De acordo com Moreschi (2012) o módulo de elasticidade expressa a carga necessária para distender um corpo de 1 cm² de seção transversal a uma distância igual ao seu próprio comprimento. Como é impossível distender a madeira nestas proporções, sem que antes ela chegue à ruptura, o módulo de elasticidade calculado é apenas um valor teórico, utilizado para obter facilidade em cálculos e como um indicador de qualidade para classificação de peças deste material.

A madeira neste sentido possui módulos de elasticidade em todas as direções estruturais, que são comumente determinados em ensaios de compressão e flexão estática. Um elevado valor de módulo de elasticidade indica que o material é rígido, ou seja, difícil de flexionar e que pode resistir a grandes cargas sem apresentar deformação permanente. Desta forma, em síntese, quanto mais elevado o módulo de elasticidade, mais alta é a

resistência da madeira, mais baixa será sua deformabilidade e melhor será a sua qualidade para fins de construção civil (MORESCHI, 2012; TSOUMIS, 1991).

Quanto à resistência da madeira, sua capacidade máxima de carga antes da ruptura é obtida normalmente por um ensaio de flexão estática, sendo o valor caracterizado como o módulo de ruptura da madeira, variando de 55 e 160 MPa (WINANDY e ROWEL, 1984). Em relação à resistência da madeira existe uma relação direta com sua densidade, de forma que madeiras mais densas são normalmente mais resistentes (MELO, 2002).

Melo (2002) complementa que ensaios analisando o comportamento da madeira frente à compressão, tração e cisalhamento serão utilizados dependendo da demanda deste material, de acordo com as altas deformações originadas, de forma que para dimensionamento de treliças e dormentes normalmente se analisa o comportamento da madeira à compressão perpendicular às fibras; e para pilares a compressão paralela às fibras. De forma análoga, estruturas em arco exigirão um estudo quanto à tração perpendicular às fibras.

Desta forma, em resumo, as propriedades mecânicas são primárias para selecionar produtos ou estabelecer funções para diferentes materiais. Essas propriedades incluem módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) e como a madeira se comporta quando flexionada, tensionada ou comprimida (USDA, 2010). Os módulos de ruptura e de elasticidade, por sua vez, são dois parâmetros normalmente determinados em testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, porque ambos estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça (SCANAVACA JUNIOR e GARCIA, 2004).

4.5.1 Efeito do tratamento térmico nas propriedades térmicas da madeira

Stamm (1964) afirma que a curta exposição da madeira ao calor intenso ou, ainda, a sua longa exposição a temperaturas elevadas causa mudanças químicas e estruturais permanentes, principalmente pela perda de massa e redução das hemiceluloses, que por sua vez reduzem a higroscopicidade com consequente redução da resistência mecânica. O autor salienta que o aquecimento da madeira até o ponto em que ocorre perda de massa seca causa considerável redução permanente da resistência mecânica (e em especial a tenacidade), de forma que a madeira se torna mais friável.

Gunduz et al. (2009) afirmam que um dos fatores que contribui para a perda de resistência é que o tratamento térmico resulta em perda de massa pela madeira, dependendo da temperatura e tempo de exposição ao calor. De acordo com os mesmos autores alguns processos de tratamento térmico provocam forte redução da resistência ao impacto e flexão, enquanto outros promovem pouco ou nenhum efeito sobre essas propriedades.

Esteves e Pereira (2009) referem-se à redução da resistência mecânica como a maior limitação da madeira modificada termicamente, de forma que um dos mais importantes objetivos dos estudos é otimizar o processo para se obter uma perda mínima destas propriedades.

Em relação a isto, Kocafe et al. (2010) frisa que a diminuição da resistência mecânica depende das variáveis utilizadas no processo, principalmente a temperatura máxima, o tempo de tratamento, a taxa de aquecimento e o meio de transferência de calor. Resultados dos estudos que demonstram o efeito da temperatura nas propriedades mecânicas da madeira podem ser desta forma contraditórios, notadamente no que diz respeito aos benefícios ou prejuízos causados pela temperatura. Essa divergência nos resultados está relacionada principalmente às diferentes formas de condução dos tratamentos, confirmando o citado pelos autores (AZEVEDO e QUIRINO, 2006).

Em relação às propriedades de resistência, considerando ensaios de exposição ao calor prolongada, o efeito sobre o módulo de elasticidade é menor, enquanto maior é sobre a resistência ao impacto e à flexão estática, de acordo com Unsal et al. (2003).

Conforme Silva et al. (2008) as mudanças ocorridas na estrutura da madeira em temperaturas inferiores a 160°C podem ser consideradas desprezíveis. Vernois (2001) acrescenta que, dependendo da espécie, tratamentos que utilizam temperaturas até 210°C não afetam significativamente suas propriedades mecânicas, enquanto temperaturas de 230°C já acarretam em decréscimos nos módulos de ruptura, que podem diminuir em até 40%, tornando a madeira mais frágil e quebradiça. O autor complementa que para espécies de maior densidade essa redução é mais acentuada, devido à tendência do tratamento com calor induzir à formação de rachaduras nestas peças.

Segundo Garcia et al. (2012) a modificação térmica causa pequenos acréscimos no módulo de elasticidade na flexão estática em algumas condições de processamento,

porém à medida que os tratamentos se tornam mais severos em relação à temperatura e tempo, a mesma também é reduzida. De acordo com Esteves e Pereira (2009) este aumento do módulo de elasticidade deve-se ao aumento da cristalinidade da celulose com a redução do conteúdo de umidade. Os autores ainda reiteram, assim como Garcia et al. (2012) que o efeito da cristalinidade prevalece no início do tratamento, mas com a continuidade do mesmo, a estrutura da madeira é alterada pelo efeito da temperatura, levando a uma redução desta variável.

Boonstra et al. (2007) de forma similar explicam essa maior resistência atribuída ao tratamento térmico pelo aumento da quantidade de celulose cristalina altamente ordenada, devido à degradação e/ou cristalização da celulose amorfa. Essa celulose cristalina mostra significativa anisotropia, e sua estrutura rígida pode ser responsável pelo aumento da resistência à compressão longitudinal.

Outra explicação plausível, segundo Boonstra et al. (2007), é de que talvez seja devido a um aumento nas ligações cruzadas da rede polimérica da lignina. Eles explicam que a lignina atua como um reforçador das microfibrilas de celulose, e um aumento da ligação cruzada desse polímero parece impedir ou limitar o movimento perpendicular às fibras. Além disso, a lignina é o principal componente da lamela média e um aumento desse fenômeno melhora a resistência da lamela média que, conseqüentemente, afeta as propriedades de resistência da peça de madeira como um todo.

Com relação a este aumento de algumas propriedades mecânicas verificadas na madeira, Sundqvist (2004) cita que parece possível aumentar ligeiramente a resistência e dureza da madeira em comparação com a madeira em condições normais dentro de certos domínios da relação tempo/temperatura. O autor complementa de forma análoga ao supracitado por outros autores que um aumento inicial na resistência e dureza pode ser decorrente dos processos de condensação da lignina e celulose como moléculas degradadas, podendo formar novas ligações químicas.

De acordo com Batista (2012) os pesquisadores têm utilizado notadamente os módulos de elasticidade e ruptura na flexão estática para analisarem o efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira, sendo estas, de fato, as principais propriedades avaliadas para a madeira e seus derivados em geral.

Juizo et al. (2018) submetendo a madeira de eucalipto ao tratamento térmico em um forno com sistema fechado em temperaturas e tempos de exposição que variaram de 180 a 240°C e 2 e 4 horas verificaram melhora nas propriedades de resistência, de forma que houve um aumento do módulo de elasticidade e diminuição nas propriedades de rigidez e tensão em dureza Janka.

Ferreira et al. (2019) modificando termicamente a madeira de angelim pedra utilizando as temperaturas de 180°C e 200°C com tempos de exposição variando de 2 a 4 horas não verificaram alterações para as propriedades mecânicas.

Huller et al. (2017) trataram termicamente a madeira de *Eucalyptus cloeziana* aplicando temperaturas finais de 160 e 210°C durante 1 hora em estufa elétrica. Avaliaram a propriedade mecânica de resistência máxima ao impacto, por meio do ensaio de flexão estática que utiliza o pêndulo de Charpy e obtiveram como resultado redução expressiva nesta propriedade.

Modes et al. (2017) investigaram o efeito do tratamento térmico em estufa a $160\pm 1^\circ\text{C}$ por 3 horas e um tratamento combinado de autoclave, à $130\pm 3^\circ\text{C}$ e pressão de 2 kgf/cm^2 por 3 horas, e estufa elétrica, após um período de acondicionamento, a $160/\pm 1^\circ\text{C}$ durante o mesmo tempo para as madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. Os autores determinaram os módulos de elasticidade e ruptura em flexão estática, resistência máxima à compressão paralela à grã e dureza Janka, além da resistência ao impacto por meio de um Pêndulo de Charpy.

Como resultado, os autores obtiveram que as espécies se comportaram diferentemente em cada ensaio, de forma que para a madeira de *Pinus taeda*, o tratamento térmico reduziu os valores de resistência máxima à compressão paralela, e em maior grau essa redução foi verificada para o tratamento em estufa. Em relação ao módulo de elasticidade, o tratamento combinado aumentou ligeiramente os valores desta propriedade, enquanto o tratamento em estufa reduziu. O módulo de ruptura em flexão estática foi menor nos dois tratamentos térmicos em relação à madeira não tratada, sendo encontrada maior redução no tratamento em estufa. Quanto à resistência ao impacto, a madeira de pinus apresentou maiores valores depois de tratada, principalmente no tratamento de combinação, e quanto à dureza Janka, os tratamentos promoveram redução nas resistências das peças, mais pronunciada pelo tratamento combinado.

Para o módulo de elasticidade da madeira de eucalipto, Motes et al. (2017) relataram que os tratamentos pelas duas metodologias forneceram um acréscimo nos valores dessa propriedade, principalmente em estufa. Para o módulo de ruptura foram observadas reduções de carga requerida para ruptura, sendo as maiores reduções no tratamento combinado. A resistência ao impacto e a dureza para esta espécie tratada sofreram redução significativa, principalmente pelo tratamento combinado (MODES et al., 2017).

Carvalho et al. (2017) modificaram termicamente amostras de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus oocarpa*, previamente secas em estufa, em autoclave a 150, 175, 200 e 225°C com a taxa de aquecimento de 5°C/minuto durante 4 horas sob pressão atmosférica e presença de ar. Os autores relatam que o tratamento reduziu os valores do módulo de ruptura e de elasticidade, de forma que salientam a importância de encontrar um ponto ótimo em que as espécies tratadas aumentem sua estabilidade dimensional com o menor comprometimento das propriedades mecânicas.

4.6 AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA

Os métodos de avaliação não destrutiva da madeira permitem estimar propriedades tecnológicas importantes sem alterar sua estrutura, preservando o material e desta forma não comprometendo seu uso. O desenvolvimento e utilização de tecnologias não destrutivas têm permitido muitos avanços na classificação da madeira e de seus subprodutos, em aplicações estruturais e não estruturais (PELLERIN e ROSS, 2002).

Os ensaios não destrutivos são baseados no pressuposto de que algumas propriedades físicas simples podem indicar de maneira satisfatória características físicas, mecânicas ou químicas que são determinantes na qualidade da madeira (BUCUR, 2006). Neste sentido, o uso de propriedades acústicas, como a propagação de ondas de tensão e propriedades elétricas, como a resistência elétrica, são comuns em técnicas não destrutivas (DUNDAR et al., 2012).

De acordo com Matos (1997) a hipótese fundamental para avaliação não destrutiva de produtos de madeira foi inicialmente proposta por Jayne em 1959, ao verificar que as propriedades de armazenamento e dissipação de energia da madeira, que podem ser medidas de forma não destrutiva, por meio de uma série de técnicas estáticas e dinâmicas, são controladas pelos mecanismos que determinam as propriedades

mecânicas deste material. Estas propriedades, especialmente o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) são relacionados, nesta teoria, com a energia armazenada e com a dissipação de energia, respectivamente. Assim, relações matemáticas entre essas propriedades puderam ser estabelecidas. A medição dos fatores de dissipação sob condições de baixa tensão torna possível a estimativa das propriedades de resistência, que são, normalmente, determinadas pela completa ruptura do material, no caso dos métodos destrutivos (ROSS e PELLERIN, 1985).

De acordo com Shimoyama (2005) os métodos mais usuais contemplam o ultrassom, radiografia, análise de vibrações, emissão acústica, entre outros. Na área de pesquisas, as avaliações não destrutivas, utilizando vibrações e ultrassom, são empregadas para a determinação das propriedades físicas e mecânicas de materiais. Para alguns materiais, como os metais, essa técnica tem sido bastante usada, uma vez que pode detectar defeitos e descontinuidade nesses materiais. No caso da madeira, como esses problemas são característicos do material, os ensaios não destrutivos são usados, quase sempre, para verificar como essas ocorrências afetam as suas características físicas e mecânicas.

Desta forma, diversos métodos podem ser empregados na avaliação dos parâmetros de qualidade da madeira e a avaliação não destrutiva tornou-se, nos últimos anos, uma importante ferramenta na inferência de propriedades físicas e mecânicas da madeira, devido, principalmente, ao baixo custo dos equipamentos, rapidez e praticidade dos testes (SILVA, 2010).

Testes clássicos determinam o módulo de elasticidade estático (MOE), utilizando uma máquina de ensaio universal, equipamento caro que exige custos de manutenção elevados e demora uma média de 5 a 15 minutos por amostra, dependendo das espécies e condições de ensaio utilizadas. Portanto, em busca de mais rapidez, métodos alternativos que utilizam outras técnicas surgem com importância fundamental no contexto da ciência e tecnologia da madeira. Trabalhos que realizem os ensaios convencionais e os ensaios não destrutivos e comparem as duas técnicas são essenciais no sentido de atestar tais métodos para diferentes madeiras e desta forma difundi-los (LEITE, 2012).

4.6.1 Ondas ultrassônicas - Ultrassom

O método ultrassônico se apoia na análise da propagação de uma onda e sua relação entre a resposta ao ultrassom e às constantes elásticas da madeira. Em geral, o método consiste em gerar, no interior de um corpo de prova, uma ou várias ondas elásticas com a ajuda de uma sonda "piezoelétrica". As ondas se propagam com velocidades que dependem da direção de propagação e das constantes elásticas do material. A medição do tempo de propagação da onda, isto é, de sua velocidade, permite determinar estas constantes (NOGUEIRA e BALLARIN, 2003).

As ondas ultrassônicas se propagam por meio de um circuito eletrônico que emite pulsos elétricos. Esses pulsos são conduzidos por cabos coaxiais e convertidos em ondas elásticas pelo cristal piezoelétrico, localizado nos transdutores. As vibrações mecânicas então se deslocam pelo material que atenua o sinal emitido pelo gerador. O sinal retardado é recuperado por outro cristal piezoelétrico, que passa a ser amplificado e transformado novamente em pulsos elétricos, de modo a permitir a medição do tempo de propagação da onda. A partir do tempo e distância do percurso percorrido pela onda sonora, calcula-se a velocidade da mesma (CALEGARI, 2006).

Bucur e Bohnke (1994) relatam que os fatores que influenciam a propagação de ondas ultrassônicas na madeira são: propriedades físicas do substrato, características geométricas da espécie, condições do meio (temperatura e umidade) e procedimento utilizado para a tomada das medidas.

Na vibração causada a uma determinada espécie de madeira, a força elástica restaurada é proporcional ao deslocamento e a força dissipativa é proporcional à velocidade. Portanto, quando a força é aplicada com curta duração, o material se comporta como um sólido elástico, enquanto que para uma longa duração o comportamento é igual ao de um líquido viscoso. Esse comportamento é mais proeminente no ensaio de flexão estática, o qual apresenta longa duração se comparado ao ensaio de ultrassom. Como consequência, a constante elástica dinâmica obtida em ensaio de ultrassom é, em geral, maior que o módulo de elasticidade à flexão estática (OLIVEIRA et al., 2003).

Stangerlin et al. (2010) analisando a estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium* relatam que apesar dos valores dos módulos de elasticidade obtidos pelo método destrutivo e não destrutivo serem diferentes em razão

da natureza viscoelástica da madeira, o método ultrassonoro é eficiente por avaliar, de forma rápida e eficaz, as diferenças relativas à qualidade da madeira.

3.6.2 Temporizador de ondas de tensão – *Stress Wave Timer*

O *Stress Wave Timer* (temporizador de ondas de tensão) é um equipamento que se utiliza do método de propagação de ondas de tensão, usado como técnica de avaliação não destrutiva, da mesma forma que o ultrassom. Primeiramente, uma onda de tensão é induzida no exemplar da madeira através de um dispositivo, que mantém contato com a mesma. Este dispositivo possui um acelerômetro, que emite os sinais de partida do impulso. Concomitantemente, um segundo acelerômetro, o qual é mantido no outro lado do objeto (madeira) serve para propagar as ondas de tensão de uma ponta à outra da madeira, e após isso enviar um sinal de parar para o temporizador. O tempo levado para as ondas de tensão se propagarem entre o acelerômetro é registrado no temporizador (GONÇALEZ et al., 2012).

Em suma, um dispositivo (martelo) exerce uma determinada pressão no exemplar da madeira, chocando-se com ela. Na madeira, acopla-se um acelerômetro, que possui um ponto de partida e um ponto de chegada. As ondas de tensão geradas pelo impacto do dispositivo na madeira serão registradas no acelerômetro, que por sua vez passará a informação ao temporizador, que registra quanto tempo levou a onda de tensão para sair do ponto inicial (de partida) e chegar no ponto de chegada (final) (ROSS e HUNT, 2000).

Del Menezzi et al. (2010) estimando as propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica de propagação de ondas de tensão, relatam que o método é adequado para prever as propriedades de flexão onde há variação, por exemplo, entre espécies.

Shimoyama (2005) concluiu, estimando as propriedades da madeira de pinus através do método de emissão de ondas de tensão, que a qualidade dos produtos de madeira pode ser estimada aplicando a técnica de propagação de ondas de tensão não somente em amostras de madeira, mas em árvores em pé e em toras, podendo ser utilizada como ferramenta na seleção do melhor material para diversas finalidades, dentre elas, a produção de celulose, pastas, papel, madeira serrada e laminados.

3.6.3 Ondas ultrassônicas e ondas de tensão em madeiras modificadas termicamente

Consoante Carvalho et al. (2017) avaliações não destrutivas para aferição das propriedades mecânicas, apesar de apresentarem elevada precisão, rapidez e baixo custo ainda são pouco estudados para a madeira tratada termicamente. Esses autores utilizaram o método de vibrações transversais para estimar o módulo de elasticidade dinâmico, e encontraram relação com o módulo de elasticidade estático e módulo de ruptura para as madeiras de *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus urophylla* tratadas termicamente, de forma a defenderem que esta análise não destrutiva se apresenta como uma alternativa para determinação das propriedades mecânicas.

Missio et al. (2013) tratando termicamente a madeira de *Pinus taeda* estimaram o módulo de elasticidade por meio do equipamento de ultrassom e concluíram que o módulo de elasticidade dinâmico foi bom estimador do módulo de elasticidade estático. Os autores também constataram que o tratamento térmico reduziu os valores encontrados de módulo de elasticidade dinâmico e estático utilizando o ultrassom.

Garcia et al. (2012) tratando a madeira de *Eucalyptus grandis* a quatro diferentes temperaturas (180, 200, 215 e 230°C) durante três tempos de duração (15 minutos, 2 e 4 horas) concluíram que o módulo de elasticidade dinâmico mensurado pelo equipamento de *stress wave timer* foi estatisticamente diferente da testemunha somente para o ensaio mais severo (230°C por 4 horas), onde diminuiu cerca de 13%. Ferreira (2012) mostra em sua pesquisa que o tratamento térmico aplicado a madeira de maçaranduba (*Manilkara* sp) promoveu uma redução significativa, em relação à testemunha, no módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo *stress wave timer*.

4.6.4 Colorimetria aplicada à madeira

A percepção da cor resulta da interpretação pelo olho-cérebro de uma sensação dos raios luminosos, em um intervalo que se localiza entre 400 e 700 nanômetros no espectro eletromagnético (CAMARGOS, 1999), como ilustra a Figura 3.3.

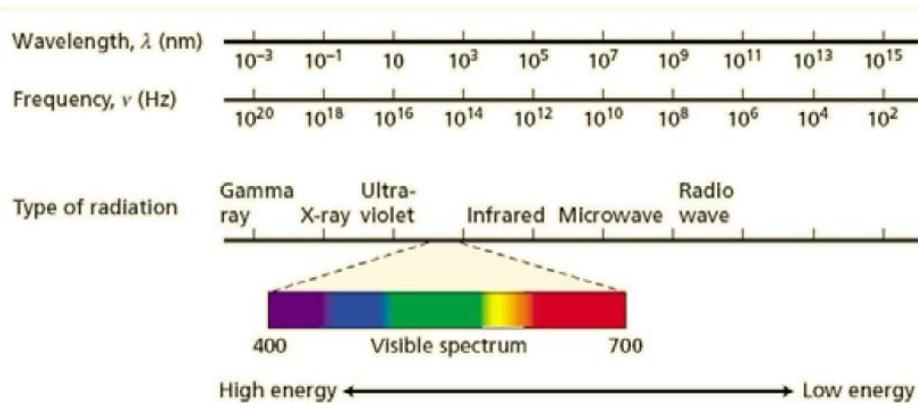


Figura 4.3. Espectro eletromagnético
 Fonte: Taiz e Zeiger (2002).

A cor de um objeto é determinada quando a radiação eletromagnética incide sobre o mesmo. Uma parte dessa radiação será absorvida e outra será refletida, e é justamente o comprimento de onda refletido que caracterizará a cor do material. No espectro visível destacam-se sete cores, que refletem a luz em intervalos de comprimento de onda característicos, denominados por domínios da cor (GONÇALEZ, 1993).

A Figura 3.4 ilustra o reconhecimento das cores de acordo com uma superfície refletora (*reflecting surface*) e de acordo com uma fonte de luz (*light source*) dentro do espectro da luz visível (380-800 nm). Uma absorbância forte para todo o intervalo é reconhecida como uma cor preta e uma fraca uma cor branca. A absorbância da cor azul e violeta (380-450 nm) são reconhecidas como de cor amarela e se alguma cor verde for também absorvida (380-550 nm), é reconhecida como de cor vermelha.

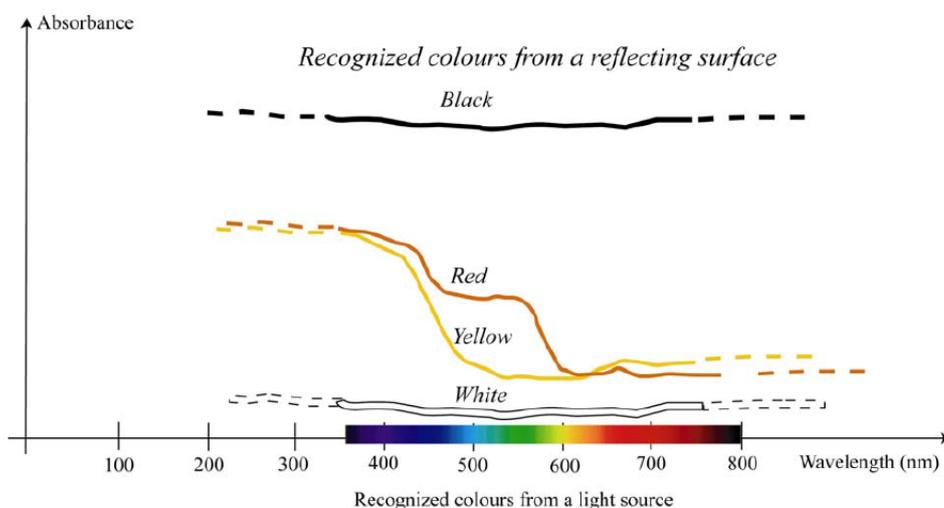


Figura 4.4. Exemplos de absorbância dentro do intervalo de luz visível (380-800 nm)
 Fonte: Sundqvist (2004).

A cor é considerada uma propriedade organoléptica da madeira, ou seja, que impressiona os órgãos sensitivos, junto a cor estão a grã, textura e desenho, bem como odor e sabor. Estas características são diretamente ligadas ao valor decorativo e ornamental, e aos usos onde o cheiro e gosto de produtos armazenados/embalados com a madeira possam ser alterados (MORESCHI, 2002).

A análise final da cor de qualquer produto lhe garante um padrão de qualidade no mercado, exigido mundialmente. Ela é um dos componentes mais importantes da estética, que se associa à superfície e ao desenho de uma peça de madeira. Por esta razão, essa propriedade deve ser incorporada ao planejamento visando à caracterização tecnológica para atender aos usos mais nobres desse material (MORI et al., 2004).

A cor da madeira é originada por substâncias corantes depositadas no interior das células que constituem o material lenhoso, bem como impregnadas nas suas paredes celulares. Entre estas substâncias podem-se citar resinas, gomas, derivados tânicos e corantes específicos, muitos dos quais ainda não foram suficientemente estudados sob o ponto de vista químico (MORESCHI, 2002).

A cor quando analisada qualitativamente apresenta-se como um parâmetro muito subjetivo para análises e comparações entre diferentes madeiras por isso é preciso caracterizá-la quantitativamente. A técnica que reproduz essa análise é a do sistema CIELAB. A Comissão Internacional de L'Eclairage (CIE) – cujo trabalho baseia-se no uso de luz e cor – desenvolveu métodos para expressar numericamente as cores, sendo que o de mensuração cromática $L^*a^*b^*$, descrito em 1976, considera três eixos espaciais perpendiculares entre si, cujos pontos fornecem diferenças numéricas mais uniformes em relação às diferenças visuais (GONÇALEZ, 1993).

A variável L^* representa a luminosidade ou claridade, a qual varia de zero (preto) a 100 (branco) enquanto que, a^* e b^* representam as coordenadas cromáticas, ambas variando entre -60 e +60. A saturação (C) é a distância radial entre a localização da cor e o centro do espaço, e está diretamente ligada com a concentração do pigmento. A tonalidade ou o ângulo de tinta (h^*) define a cor em si. No diagrama do sistema CIELAB, os sinais positivos e negativos significam: $+a^*$ aumento na cor vermelha, $-a^*$ aumento na cor verde, $+b^*$ aumento na amarela e $-b^*$ aumento na cor azul, representando a tonalidade (GONÇALEZ, 1993). A Figura 3.5 ilustra o sistema de cor CIELAB.

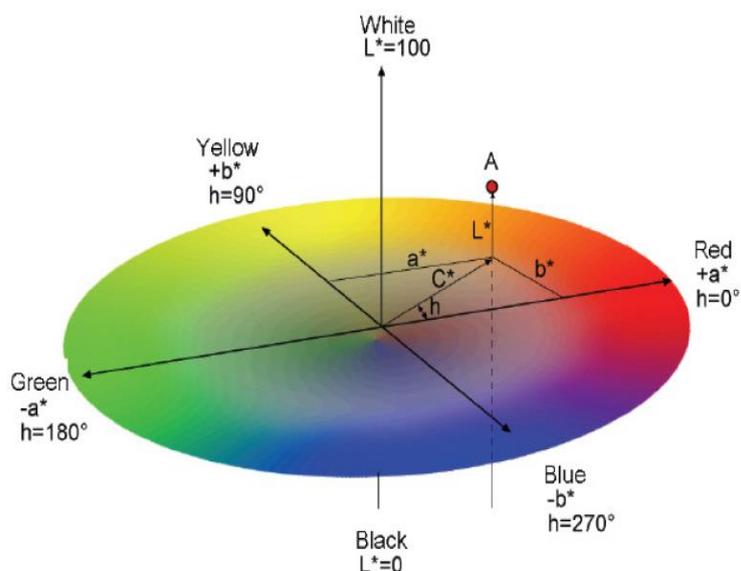


Figura 4.5. Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b*
 Fonte: Konica Minolta (2014).

Ainda que recente, a técnica para a determinação da cor da madeira por meio da colorimetria quantitativa mostra-se precisa e eficaz. O sistema CIELAB de 1976, que determina os parâmetros colorimétricos luminosidade ou brilho, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade já se mostra eficiente para a determinação da cor de diversas madeiras (AUTRAN e GONÇALEZ, 2006).

A cor para a madeira é um dos atributos estéticos mais importantes, sendo tão importante quanto suas outras propriedades físicas e pode ser influenciada por vários fatores, tais como estrutura anatômica, composição química, método de derrubada, posição da amostra na árvore, condições do meio ambiente, a altura, o diâmetro e a idade da árvore, além de fatores genéticos inerentes a cada espécie (GONÇALEZ, 1993). Além dos inúmeros fatores afetando a cor original da madeira, a cor é instável, sofrendo alterações importantes quando exposta às intempéries (sol, chuva, variação de temperatura e umidade), e esse fenômeno pode afetar o seu valor do ponto de vista estético (LOPES, 2012).

Camargos e Gonzalez (2001) estudaram a cor das madeiras de 350 espécies tropicais brasileiras e concluíram que os valores máximos do brilho (L^*), dos parâmetros a^* e b^* , da saturação (C^*) e da tonalidade (h^*) foram 86,44 (madeira de cor branca), 26,82, 46,59, 47,03 e 87,00 (madeira correspondente ao amarelo) e que os respectivos valores mínimos foram 26,93 (madeira de cor preta), 1,16, 1,92, 2,31 e 13,94 (madeira

correspondente ao vermelho). Os autores verificaram que as tonalidades (h^*) de todas as cores dessas madeiras se enquadram entre 0° e 90° (primeiro quadrante), e, portanto, variam entre o vermelho e o amarelo.

As espécies tropicais de alto valor econômico, cujas reservas naturais estão em declínio, apresentam excelentes características de aparência, que já são reconhecidamente apreciadas e têm lugar consolidado no mercado mundial. A cor e os padrões de desenho (grã) da madeira são os principais atributos de aparência a serem notados. Neste contexto, a cor é um critério importante de qualidade: sua descrição facilita a classificação e valoração dos produtos finais da madeira (MOURA e BRITO, 2011).

Marimonio (2011) avaliou o efeito da densidade e do teor de extrativos na variação da cor da madeira de *Tectona grandis*, proveniente de plantios de diferentes espaçamentos da região de Cáceres, Mato Grosso. As madeiras mais densas do cerne apresentaram mais pigmento amarelo (b^*) na seção radial, enquanto que na seção tangencial, as madeiras mais densas são mais escuras (menor L^*) e apresentam menos pigmento amarelo (b^*). Já as madeiras mais densas de alburno são mais escuras (menor L^*) e apresentaram mais pigmento vermelho (a^*) nas seções longitudinal, radial e tangencial.

4.6.4.1 Efeito do tratamento térmico na cor da madeira

De acordo com Kartal et al. (2007) em altas temperaturas, os grupos acetilas de hemiceluloses reagem formando ácido acético, o que divide as cadeias de celulose em partes menores. O calor ao mesmo tempo produz reações de desidratação e oxidação da celulose, promovendo a condensação da lignina. Estas reações alteram as propriedades mecânicas e químicas da madeira e o escurecimento da madeira se deve à combinação destas reações citadas.

O tratamento térmico torna a madeira mais homogênea quanto à cor e reduz os valores de L^* (claridade), escurecendo a madeira, o que de acordo com Pincelli et al. (2012) está relacionado com a decomposição das hemiceluloses e com a variação do conteúdo de extrativos durante o aquecimento da madeira, além da diminuição do ângulo de tinta (h). Mottonen et al. (2002) observaram que as características e a uniformidade da coloração da madeira representam um papel direto no estabelecimento do preço e no valor final do produto.

Segundo Menezes (2017) a empresa TWBrazil utiliza o processo de modificação térmica para basicamente uniformizar a cor da madeira (cerne e alborno) de teca (*Tectona grandis*), tornando-a mais valiosa. Neste sentido, Silva (2012) argumenta que em espécies de madeira de cor clara, que são geralmente consideradas menos atrativas, o escurecimento é uma importante vantagem do tratamento térmico, dando à madeira um tom tropical, que é valorizado em muitos países.

Mitsui et al. (2004) afirmam que o escurecimento da madeira modificada termicamente, com altas temperaturas, não possui correlação com os teores de lignina e apresenta relação direta com a degradação das hemiceluloses, corroborando o anteriormente citado.

Conforme Chen et al. (2012) o tratamento da madeira com calor ocasiona a condensação e/ou oxidação de proantocianidinas e de outros extrativos, que por sua vez absorvem a luz vermelha, contribuindo para o aumento da coloração avermelhada na madeira. O aumento da coordenada cromática b* está relacionado com a decomposição das hemiceluloses e aumento de açúcares de baixo peso molecular produzidos durante a degradação térmica, aumentando os tons de azul (GUNDUZ et al., 2010)

Quanto mais intensa é a condição do tratamento térmico, a que a madeira é exposta, maior é a sua degradação química e mais pronunciada é a mudança na sua cor (BEKHTA e NIEMZ, 2003).

Moura e Brito (2011) tratando com calor as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* em estufa em temperaturas de 140 a 200°C observaram que o incremento da temperatura causou escurecimento das madeiras, o qual se tornou mais drástico a partir de tratamentos a 180°C. No estudo a matiz vermelha foi gradualmente diminuída com o aumento da temperatura somente para o *Eucalyptus*, não sendo suficiente a faixa de temperaturas aplicadas para provocar alterações significativas na coloração vermelha da madeira de *Pinus*. Em relação a matiz amarela os autores relatam redução com o aquecimento, principalmente a temperaturas acima de 160°C, em que a diferença da coloração amarela entre as espécies tendeu a diminuir com o incremento das temperaturas máximas.

Pertuzzatti et al. (2016) avaliaram a modificação da madeira de *Pinus elliottii* tratada em banho de óleo de soja e em estufa com circulação de ar durante 4 horas a

180°C. Os autores relatam que os tratamentos causaram o escurecimento da espécie pelo decréscimo de sua claridade (L^*). Também verificaram acréscimo nos valores de a^* e de b^* e uma alteração total da cor semelhante para as diferentes atmosferas (entre 23,0 e 24,2). Os autores ainda classificaram as amostras de acordo com Camargos e Gonzalez (2001) tratadas como marrom-oliva, enquanto a não tratada como de coloração branca.

Calonego (2017) em tese sobre a modificação térmica da madeira de *Schizolobium parahyba*, tratou a espécie em estufa elétrica a 180, 200 e 220°C, sob taxa de aquecimento de 1,34°C/minuto durante 2,5 horas. O autor relata que o tratamento com calor promoveu seu escurecimento (DL^* de até -43,90) e avermelhamento (Da^* de até +4,81). O autor observou, ainda, que comparando a espécie não tratada e tratada submetidas ao intemperismo, a madeira sem tratamento ficou mais escurecida, avermelhada e amarelada, de forma que o tratamento aumentou sua resistência aos agentes abióticos.

Menezes (2017) tratando termicamente a madeira de *Tectona grandis* de acordo com o processo industrial VAP HolzSysteme®, utilizando temperatura final de 160°C relata que os parâmetros colorimétricos foram influenciados pela modificação térmica da madeira, por meio do escurecimento e aumento da tonalidade avermelhada, com decréscimo dos parâmetros b^* , C e L^* . O autor complementa que a empresa TWBrazil, que comercializa madeira utilizando o processo citado, o utiliza para basicamente uniformizar a cor da madeira (cerne e alburno) da madeira de teca (*Tectona grandis*).

Lazarotto et al. (2016) modificaram termicamente em autoclave vertical de esterilização, a 120°C com pressão nominal de 1,5 kgf/cm² durante 1 hora, e estufa laboratorial, sem utilizar sua circulação forçada de ar, a 180°C durante 4 horas as madeiras de *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora*. Um tratamento adicional combinado a autoclave e a estufa, nas mesmas condições que os tratamentos anteriores, foi também analisado. Os autores relatam que o tratamento em estufa se apresenta como alternativa para alteração das cores das espécies, visando seu escurecimento, ou seja, redução da variável claridade (L^*), e à queda das matrizes vermelho (a^*) e amarelo (b^*).

Conte (2015) tratou termicamente as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* submetidas a um banho de óleo laboratorial a 160, 190 e 220°C por 2, 4 e 6 horas em estufa de circulação de ar forçada. O autor observou que o fator temperatura foi preponderante para a diminuição do parâmetro L^* , quando comparado ao tempo. Para ambas as espécies a cromática a^* aumentou nas temperaturas mais brandas

e diminuiu conforme a severidade dos tratamentos. O autor complementa que a variação total de cor apresentou acréscimo conforme a severidade dos tratamentos, de forma que quanto maior a temperatura e o tempo maiores foram às alterações colorimétricas para as duas espécies.

Dzurenda (2018) tratou termicamente a madeira de *Quercus robur* em autoclave a 115, 130 e 140°C durante 5,5, 6,5 e 7,5 horas. O autor disserta que os tratamentos variaram significativamente a cor da espécie, e que a variação total da cor calculada variou de 3,0 a 20,1, aumentando de acordo com a severidade de temperatura e tempo de ensaio. A madeira tornou-se mais escura e mais avermelhada, apresentando redução nos valores da claridade (L*) e da matiz amarela (b*) e acréscimo nos valores da matiz vermelha (a*), principalmente a madeira tratada a 140°C.

Yan e Morrel (2019) impregnaram com borato e glicerol cerne de *Pseudotsuga menziesii* e depois trataram termicamente a espécie a 160 e 200° de 2 a 4 horas, em forno. Os autores relataram que a cor da espécie alterou e que a variação total na cor da madeira tratada tendeu a aumentar com a temperatura e tempo de aquecimento. Os autores complementam que o principal parâmetro afetado pela modificação térmica é a claridade (L*), sendo os efeitos em a* e b* menos expressivos.

4.7 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA

Burger e Richter (1991) argumentam que a composição química da madeira se relaciona as suas propriedades, no sentido de influenciar na sua adequação para os diferentes usos, de forma que por meio do conhecimento da composição e das características dos constituintes da madeira é possível entender seu comportamento.

De forma geral, as células da madeira são compostas por substâncias poliméricas de alto peso molecular: a celulose, hemiceluloses e lignina; e por substância de baixo peso molecular: os extrativos e a matéria inorgânica (FENGEL E WEGENER, 1984; ROWE, 1989).

A variação nas proporções desses componentes e na estrutura celular tornam as madeiras mais densas ou mais macias, mais rígidas ou flexíveis (USDA, 2010). Considerando as madeiras de coníferas e folhosas, verifica-se que ambas apresentam quantidades de celulose próximas, porém no primeiro grupo o teor de lignina é maior e o de hemiceluloses menor. Com relação à estrutura molecular, a celulose apresenta a

mesma estrutura, tanto nas coníferas como nas folhosas; entretanto, as estruturas das hemiceluloses e da lignina variam. Quanto aos extrativos encontrados nesses grupos de madeira, eles apresentam variação tanto na quantidade presente como na sua estrutura molecular. Na literatura há várias comparações entre as composições químicas da madeira de coníferas e de folhosas. Normalmente, os dados apresentados por um autor não coincidem com os de outro, pois dependem do estudo ou fonte em que cada um se respaldou (D'ALMEIDA et al., 2013).

4.7.1 Celulose

A madeira é um complexo polimérico natural, cujas principais moléculas poliméricas são as de celulose (BROWNING, 1967; VAN VLACK, 1990; SHACKELFORD, 1996). Esse polímero, de acordo com Fengel e Wegener (1989), é um esqueleto estrutural organizado na forma de microfibrilas, um polímero linear, de alto peso molecular constituído de unidades de anidroglucopiranoses.

Segundo Stamm (1964) e Browning (1967) a celulose se encontra na forma de microfibrilas, que é uma associação de moléculas de celulose contendo regiões ordenadas e não ordenadas. Ao longo da cadeia de celulose o número de grupos hidroxílicos é abundante, e estes, por ventura, tendem a formar pontes de hidrogênio intra e intermoleculares com as cadeiras adjacentes. As ligações intramoleculares se formam entre os grupos OH de monômeros de glucose e as ligações intermoleculares grupos OH de celulosas adjacentes (HON, 1991).

De acordo com Fengel e Wegener (1984), as unidades de repetição da celulose são chamadas de celobiose, com comprimento de 1,03 nm. Por sua estrutura supramolecular e suas propriedades químicas e físicas, é considerado o principal componente estrutural das paredes celulares dos vegetais. É organizada em fibrilas elementares (diâmetro de 1,2 a 4,8 nm) e as regiões com cadeias de celulose orientadas são chamadas de cristalitos. De forma geral, a celulose representa 50% da madeira, sendo deste total aproximadamente 65% formados por celulose cristalina em base seca.

Complementando o disposto, D'Almeida et al. (2013) discorre que as formas e arranjos da celulose geram nas fibras regiões altamente ordenadas e regiões desordenadas. Essas regiões não possuem fronteiras bem definidas, mas parece haver uma transição de um arranjo ordenado das cadeias de celulose para um estado desordenado, no qual estas

cadeias apresentam uma orientação menor. As regiões ordenadas são conhecidas como cristalinas, porque nelas é possível detectar uma cela unitária que se repete e tem dimensões bem definidas. Nas celulosas da madeira, a porcentagem de regiões cristalinas fica na faixa de 50% a 70%, enquanto na celulose do algodão a faixa chega a 95%.

4.7.2 Hemicelulose

A hemicelulose é definida, de acordo com Stamm (1964) e Browning (1967), como a substância matriz presente entre as microfibrilas de celulose, sendo polímeros de polissacarídeos de baixo peso molecular fortemente associados à celulose nos tecidos da madeira.

Fengel e Wegener (1984) complementam, afirmando que a hemicelulose se encontra em associação direta com a celulose na parede celular e funciona como agente de acoplamento entre a celulose e a lignina.

D'Almeida et al. (2013) definem as hemiceluloses como polissacarídeos constituídos por pelo menos duas unidades de açúcares, incluindo basicamente hexoses, pentoses, oxihexoses e ácidos urânicos, formando polímeros ramificados e de cadeias curtas. Desta forma, a hemicelulose não designa um composto químico definido, mas sim uma classe de componentes poliméricos presente em vegetais fibrosos, que possuem propriedades peculiares (HON, 1991).

Cabe salientar que a composição e estrutura das hemiceluloses difere entre coníferas e folhosas. Os monossacarídeos que formam as hemiceluloses na madeira são manose (hexose) e xilose (pentose), em que as coníferas apresentam o primeiro e as folhosas o segundo em maior concentração. Diferenças consideráveis também são observadas entre as hemiceluloses do tronco, galhos, raízes e casca (TSOUMIS, 1991, SJOSTROM, 1993).

As hemiceluloses de folhosas, grupo a que as espécies deste estudo pertencem, são representadas majoritariamente por glucouranoxilana e glucomanana. Embora as hemiceluloses de diferentes espécies de folhosas apresentem diferenças quantitativas e qualitativas umas das outras, o componente mais importante é a supracitada glucouranoxilana. As hemiceluloses compostas por monômeros de xilose são conhecidas como xilanas e dependendo da espécie de folhosas o teor de xilanas varia de 15 a 30% da massa seca da madeira (SJOSTROM, WESTERMARK, 1998).

Sjostrom e Westermark (1998) complementam que a cadeia principal é formada por unidades de beta-D-xilopiranosose e a maior concentração de xilana encontra-se na camada S1 da parede celular e na porção mais externa da camada S2. Além da xilana, as folhosas contêm de 2 a 5% da massa seca de glucomanana, que é composta por unidades de beta-D-glucopiranosose e beta-D-manopiranosose.

Cabe frisar que as hemiceluloses são quimicamente relacionadas com a celulose, como evidenciado anteriormente, porque ambas são carboidratos, e juntas formam a chamada holocelulose (TSOUMIS, 1991).

4.7.3 Lignina

Tsoumis (1991) resume a lignina como o componente da parede celular que diferencia a madeira dos demais materiais celulósicos produzidos na natureza. A lignina não é um carboidrato, sendo de natureza predominantemente aromática.

A lignina consiste em polímeros de natureza aromática compostos por unidades de fenilpropano com alto peso molecular. Há mais lignina em coníferas que em folhosas e nas folhosas a lignina apresenta-se com uma estrutura química mais complexa do que a observada nas coníferas. É um composto amorfo localizado na lamela média e na parede secundária. Durante o desenvolvimento das células a lignina é incorporada como o último componente, interpenetrando as fibrilas e fortalecendo as paredes celulares (FENGEL e WEGEMER, 1989).

As ligninas podem ser classificadas de acordo com seus três elementos estruturais básicos: álcool p-coumaril, álcool coniferil e álcool sinapil. As madeiras de folhosas contêm dois deles, o álcool coniferil (50-75%) e o álcool sinapil (25-50%), e as coníferas contêm somente o álcool coniferil. A polimerização do álcool coniferil produz ligninas guaiacil, enquanto que a polimerização dos alcoóis coumaril e sinapil produzem as ligninas siringil-guaiacil das folhosas (FENGEL e WEGENER, 1989; PASTORE, 2004).

A distribuição da lignina nos traqueídeos de coníferas e nas fibras de folhosas é o mesmo. A concentração mais elevada de lignina é observada na camada intercelular, formada pela lamela média e parede celular primária, especialmente nos cantos das células. Porém, pela maior espessura da camada S2, a maior porção global da lignina encontra-se na parede secundária, com cerca de 70 a 75% para coníferas e 80% para folhosas (SJOSTROM, WESTERMARK, 1998).

Sjostrom e Westermark (1998) ressaltam que a lignina apresenta espectro no ultravioleta típico de compostos aromáticos, o que facilita a sua determinação quantitativa. Vários grupos funcionais estão presentes tanto no anel aromático quanto na cadeia lateral de propano, afetando as propriedades e reatividade da lignina. Existem também ligações químicas entre a lignina e as hemiceluloses.

A estrutura tridimensional das ligninas explica a resistência às forças de compressão, pois gera uma estrutura resistente ao impacto ao conferir rigidez à parede da célula e agir como um agente de ligação permanente entre as células. Tecidos lignificados resistem mais ao ataque por micro-organismos impedindo a penetração de enzimas destruidoras da parede celular (PHILIPP e D'ALMEIDA, 1988). Sjostrom (1981) relata que devido às suas propriedades, a lignina também influencia as características de inchamento da madeira.

4.7.4 Extrativos

Os extrativos são os componentes hidrofóbicos ou lipofílicos que são extraídos da madeira com solventes neutros. Podem englobar, em uma classificação mais abrangente, as substâncias solúveis em água (hidrofílicas), expandindo a classificação a todos os componentes da madeira, com exceção da celulose, hemicelulose e lignina (HOLMBOM, 1999).

De acordo com Sjostrom (1993) os extrativos não são componentes estruturais da parede celular e são representados quase exclusivamente por substâncias extracelulares de baixo peso molecular, que raramente representam mais do que 10% da massa seca da madeira. Em alguns casos particulares, entretanto, podem representar até 40% da massa seca.

O autor salienta que os diferentes tipos de extrativos são necessários para manter a diversidade de funções biológicas na árvore. As gorduras, por exemplo, constituem a fonte de energia das células, enquanto os terpenóides, resinas e substâncias fenólicas protegem a madeira contra o ataque de organismos xilófagos. Traços e elementos de íons metálicos geralmente se fazem presentes como partes funcionais de enzimas, que são necessárias às reações de catálise e biossíntese (SJOSTROM, 1993).

Klock (2005) corrobora, salientando que a importância dos extrativos são frequentemente responsáveis por determinadas características da madeira como cor,

cheiro, resistência natural, gosto e propriedades abrasivas. De acordo com sua natureza química os extrativos são divididos sumariamente como orgânicos e inorgânicos.

4.7.4.1 Extrativos orgânicos

Os compostos orgânicos que podem ser extraídos da madeira com solventes orgânicos (etanol, acetona ou diclorometano) e água são chamados de extrativos orgânicos. O teor de extrativos e a sua composição varia muito de acordo com a espécie e entre as diferentes partes do vegetal. Por serem substâncias muito diversas podem ser divididos em três subgrupos: compostos alifáticos (principalmente gorduras e ceras), terpenóides e fenólicos (SJOSTROM, 1993).

Fengel e Wegener (1989) sugerem uma classificação em que os extrativos orgânicos são divididos em carboidratos, terpenos, esteroides, glicosídeos e substâncias aromáticas, alifáticas e nitrogenadas.

Rowell (2005) complementa que os extrativos são geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, esteroides, resinas, resinas ácidas, ceras e alguns outros compostos orgânicos. São compostos que existem na forma de monômeros, dímeros e polímeros.

Sjostrom e Westermarck (1998) relatam que os extrativos orgânicos de coníferas se localizam tanto nas células de parênquima radial quanto nos canais resiníferos. Nas folhosas os extrativos localizam-se predominantemente nas células do parênquima radial, pois não possuem canais resiníferos. Os extrativos do parênquima de coníferas e folhosas são compostos por gorduras e ceras, bem como por triterpenóides e esteroides. Coníferas e folhosas também diferem entre si em relação à composição dos extrativos fenólicos. Evidencia-se que espécies dentro da mesma família e gênero produzem substâncias fenólicas distintas específicas.

Apesar de se apresentarem normalmente em baixas concentrações na madeira, os extrativos constituem matérias-primas valiosas na geração de produtos químicos orgânicos e possuem importância significativa nos processos de industrialização da madeira (GRAF, et al. 2004).

4.7.4.2 Extrativos Inorgânicos

De acordo com Fengel e Wegener (1989) as substâncias inorgânicas da madeira são formadas pelos componentes minerais. O conteúdo de extrativos inorgânicos na madeira raramente excede 1% da massa seca, e são genericamente classificados como cinzas por sua forma de determinação.

Os principais componentes das cinzas são: fósforo, cálcio e magnésio, e são obtidos pela queima na forma de óxidos (KLOCK, 2005). Os cátions predominantes são cálcio, potássio e magnésio, presentes nas paredes e lumes celulares, notadamente na forma de depósitos de carbonatos, silicatos, oxalatos e fosfatos ou ainda ligados aos compostos ácidos da madeira. O elemento mais abundante na fração inorgânica da madeira é o cálcio, seguido pelo potássio e magnésio. Ferro e manganês ocorrem em quantidades muito inferiores, e dentre outros metais de transição, cobre e cobalto encontram-se como elementos-traço (KOLLMANN, COTÉ JUNIOR, 1968; SJOSTROM, 1993)

4.7.5 Efeito do tratamento térmico nos constituintes químicos da madeira

O efeito da modificação térmica na composição química da madeira, de acordo com Esteves et al. (2011) é consequência das diferentes resistências térmicas dos constituintes da parede celular. A taxa de degradação térmica dos compostos da madeira, considerados isoladamente, varia consideravelmente. As hemiceluloses são degradadas primeiro, seguidas por alfa celulose e, por último, a lignina (STAMM, 1964; FENGEL e WEGENER, 1989). Oliveira (2009) detalha que a celulose e a lignina se degradam mais lentamente e em temperaturas mais elevadas do que as hemiceluloses, enquanto os extrativos da madeira se degradam mais facilmente.

Figuroa e Moraes (2009) complementam o disposto argumentando que as macromoléculas apresentam diferentes níveis de degradação térmica em função da cristalinidade de cada uma. No caso da celulose, por exemplo, ocorre a temperaturas entre 200 e 280°C, com uma degradação progressiva que inclui despolimerização e desidratação. Outro ponto importante que os autores ressaltam é que a celulose, quando tratada termicamente, tem o teor de umidade retardando sua decomposição térmica. No caso da lignina, sua decomposição ocorre em ampla faixa de temperatura, porém apenas uma pequena parte se decompõe em faixas inferiores a 450°C.

Fengel e Wegener (1989) e Sundqvist (2004) ressaltam que os constituintes da madeira são bastante estáveis até 100°C, mesmo em tratamentos com 48 horas de duração. Porém, a temperaturas maiores, o teor de holocelulose decresce de forma gradativa, em que as hemiceluloses são mais susceptíveis ao aumento de temperatura do que a celulose. A lignina é menos susceptível do que a holocelulose, mantendo-se constante até cerca de 140-150°C, quando a sua proporção aparente na parede celular começa a aumentar. Desta forma, resumidamente, no intervalo de 100 a 150°C podem ser esperadas pequenas alterações na lignina, alguma degradação das hemiceluloses e volatilização de alguns extrativos.

A Figura 3.6, elaborada por Sundqvist (2004), ilustra as mudanças decorrentes da secagem e do tratamento térmico nos componentes da madeira de acordo com a temperatura, sob condições úmidas. O autor divide a mudança causada nos componentes em negligenciável, pequena e grande.

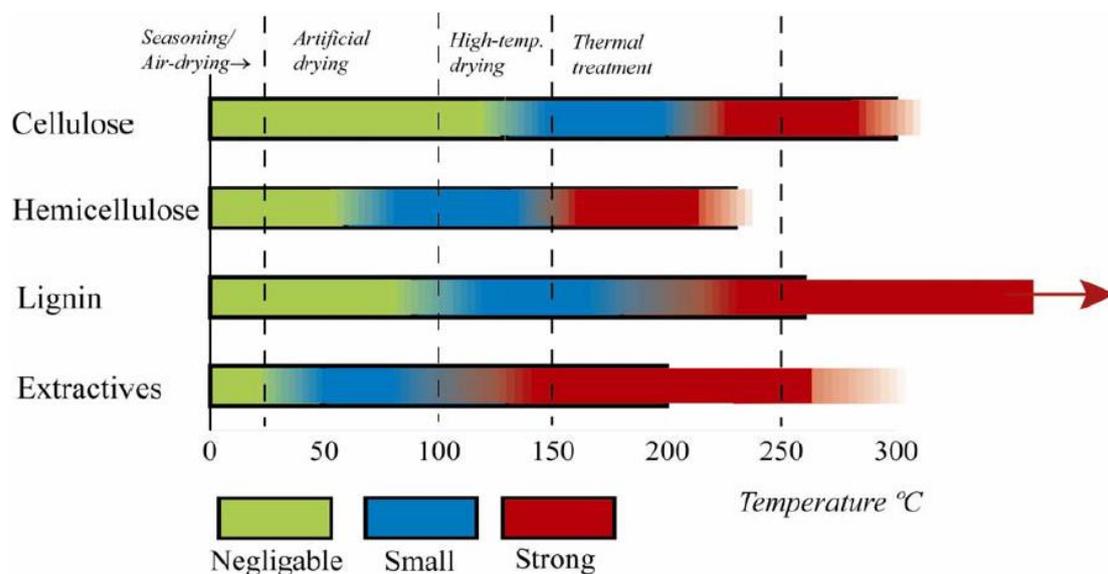


Figura 4.6. Mudanças decorrentes da secagem e do tratamento térmico nos componentes da madeira de acordo com a temperatura

Fonte: Sundqvist (2004).

Brito (1993) resalta que o aquecimento, isoladamente, não é o único responsável pelas transformações sofridas na madeira tratada. Existem outros fatores que influenciam no processo como o tempo de tratamento, a velocidade de aquecimento, a atmosfera, a pressão, a espécie de madeira utilizada, etc. Essas interações causam importantes alterações na estrutura da madeira.

Homan et al. (2000) resumem que a modificação térmica da madeira age sobre as regiões dos polímeros da madeira, provocando alterações, ora por fenômenos como recombinação (cross-linking), ora por substituição dos grupos hidroxílicos por outros de caráter hidrofóbico, ou ainda eliminando estes grupos. Essas alterações resultam em restrição da capacidade da madeira de trocar água com o meio circundante.

Juizo et al. (2018) submetendo a madeira de eucalipto ao tratamento térmico em um forno com sistema fechado em temperaturas e tempos de exposição que variaram de 180 a 240°C e 2 e 4 horas verificaram que o aumento da temperatura e tempo de exposição aumentaram o teor de lignina Klason, na medida que reduziram o teor de holoceluloses e extrativos totais na madeira. Os autores ressaltam que os tratamentos térmicos não ocasionaram a formação de lignina na madeira, mas que a elevação da temperatura causa a degradação de moléculas de hemiceluloses e celulosas, que se volatizam, tornando maior a acessibilidade e porcentual da lignina no balanço do material.

Calonego (2017) em tese sobre a modificação térmica da madeira de *Schizolobium parahyba*, tratou a espécie em estufa elétrica a 180, 200 e 220°C a 1,34°C/minuto durante 2,5 horas. O autor relata que os tratamentos provocaram reduções significativas de até 25,0% nos teores de holocelulose e um aumento proporcional de até 41,7% e 286,5% nos respectivos teores de lignina e extrativos totais da madeira.

Bellon (2013) modificou termicamente a madeira de *Tectona grandis* a 140 e 160°C pelo processo industrial VAP HolzSysteme®, relatando que o teor de holoceluloses reduziu 24,01% e o teor de extrativos totais aumentou 158,67% no tratamento mais severo.

Menezes (2017) tratando termicamente a madeira de *Tectona grandis* de acordo com o processo industrial VAP HolzSysteme®, utilizando temperatura final de 160°C relata que o teor extativos e alfa celulose aumentaram significativamente com a modificação térmica; a holocelulose e hemicelulose reduziram; e o teor de lignina Klason não sofreu alteração significativa.

4.7.5.1 Efeito do aquecimento sobre a celulose

Em temperaturas próximas e acima de 200°C iniciam-se as mudanças na estrutura da celulose, principalmente na região amorfa da parede celular. As regiões amorfas de celulose são mais susceptíveis à degradação térmica e provavelmente possuem

propriedades térmicas similares aos componentes das hemiceluloses e hexoses. Aumentando a temperatura acima de 200°C torna-se rápida a degradação da celulose e formação de compostos voláteis (FENGEL e WEGENER, 1989).

Desta forma, como dito anteriormente, a zona amorfa apresenta maior sensibilidade ao calor, enquanto a zona cristalina, devido à sua estrutura, é mais resistente. A celulose em sua forma cristalina é afetada pelo calor quando a temperatura alcança valores superiores a 300°C e a combinação de calor e água pode permitir que a região amorfa se convertesse em cristalina, tornando-a mais resistente (KIM et al. 2001). Hill (2006) sucinta que a perda de massa de hemiceluloses leva a um aumento do grau de cristalinidade da madeira, em adição às modificações relacionadas com a degradação e rearranjo da celulose amorfa.

A levoglucosana é o mais importante produto da degradação primária da celulose, outros compostos como anidroglucoses, furano e derivados de furano também são produzidos (FENGEL, WEGENER, 1989).

A degradação completa da celulose ocorre entre 300 e 340°C de acordo com Kim et al. (2001). Para as temperaturas comumente utilizadas na modificação térmica da madeira a celulose é pouco afetada, de acordo com Esteves et al. (2011).

Lin et al. (2018) trataram em um reator semi-industrial sob ambiente de vácuo as madeiras de *Populus nigra* e *Abies pectinata*. Os autores relatam por uma análise minuciosa dos estágios diferentes de degradação térmica na madeira um aumento da cristalinidade relativa da celulose.

4.7.5.2 Efeito do aquecimento sobre as hemiceluloses

As hemiceluloses são o constituinte químico da madeira que mais sofre alterações durante o tratamento térmico, sendo o primeiro constituinte da madeira a sofrer alterações sob ação do calor, resultando na produção de metanol, ácido acético e vários compostos heterocíclicos voláteis (ROWELL, 2005). D'Almeida (1988) frisa que a estabilidade térmica e química costuma ser menor nas hemiceluloses possivelmente por causa da falta de cristalinidade e do baixo grau de polimerização.

De acordo com Rowell (2005) a degradação da hemicelulose se inicia a 225°C, estando completamente degradada a 325°C. Sundqvist (2004) argumenta que a degradação deste constituinte inicia a uma temperatura inferior, de 150°C, aumentando

gradativamente com a temperatura e o tempo de exposição, sendo completamente consumida a 225°C. Kotilainen (2000) estabelece uma temperatura de decomposição das hemiceluloses abrangente, entre 200 e 260°C.

De acordo com Siau (1971) em geral as coníferas toleram melhor o aquecimento que as folhosas pela maior concentração de pentoses nas hemiceluloses das folhosas e por serem as hexoses presentes nas hemiceluloses das coníferas as mais tolerantes ao aquecimento. Kotilainen (2000) complementa como a quantidade de hemiceluloses nas folhosas é superior em relação às coníferas, mais fácil é sua degradação. Cabe ainda salientar que o rompimento de uma cadeia de hemiceluloses não reduz tanto a resistência da madeira, como faria a quebra de cadeias de celulose.

Segundo Sundqvist (2004) a perda de massa de hemiceluloses resulta da desacetilação (remoção do grupo acetila), seguida por despolimerização, desencadeando a liberação de ácido acético. Fengel e Wegener (1989) complementam que um fator significativo na degradação térmica de hemiceluloses é a presença de grupos acetil que são lábeis termicamente e conduzem à formação de ácido acético, causando a degradação catalisada por ácido dos polissacarídeos.

De acordo com Tjeerdsma e Militz (2005) a desacetilação das hemiceluloses é causada pela dissociação de um grupo acetil ligado como um grupo éster na hemicelulose. A reação de hidrólise ácida do éster em presença de água é mostrada na Figura 1.

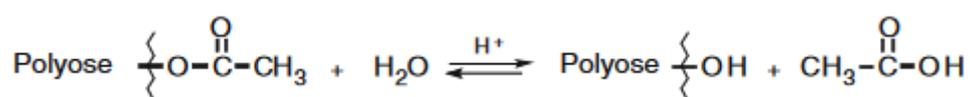


Figura 4.7. Formação de acetil a partir de um grupo éster na hemicelulose (polyose).
Fonte: Tjeerdsma e Militz (2005).

Brito et al. (2008) investigando a influência o tratamento térmico nas madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* tratou as espécies em estufa laboratorial a 120, 140, 160 e 180°C observando redução significativa nos teores de arabinose, manose, galactose e xilose, componentes das hemiceluloses. Relatam que a madeira de conífera tratada apresentou degradação de 32% da soma desses componentes, enquanto que na folhosa a perda foi de 39%, e explicam que tais diferenças são associadas a diferença de constituição química entre os dois grupos vegetais.

4.7.5.3 Efeito do aquecimento sobre a lignina

O que a literatura em geral apresenta é que na modificação térmica da madeira a lignina é o constituinte mais estável termicamente da parede celular. Sua degradação inicia antes da celulose, porém por ser mais latente, termina depois, acima de 300°C. A perda de massa de hemiceluloses leva a um aumento aparente do teor de lignina, que se mantém constante até 140-150°C (KANDEM et al., 2002; ESTEVES et al. 2011; FENGEL e WEGENER, 1989). A redução do teor de lignina em temperaturas mais elevadas é evidenciada pela formação de compostos fenólicos típicos da sua pirólise, como catecol, vanilina, ácido vanílico, 3-vanilil-propanol e aldeído coniferílico (ESTEVES et al., 2011)

De acordo com Duchez e Guyonnet (1998) a lignina começa a diminuir quando as ligações éter beta-aril começam a se quebrar, em temperaturas que ultrapassam 200°C. A elevada temperatura, o teor de metoxilas da lignina diminui e algumas das suas unidades não condensadas são transformadas em unidades do tipo difenil-metano, de forma que a condensação do difenil-metano é a reação mais típica no intervalo de temperatura entre 120 e 220°C. Esta reação tem um efeito significativo sobre as propriedades da lignina no tratamento térmico, como sua cor, reatividade e dissolução.

Em uma segunda etapa do tratamento a autocondensação da lignina deve ocorrer pela formação de pontes metilênicas conectando os anéis aromáticos. Os sítios dos anéis aromáticos são liberados pela desmetoxilação e pela divisão desses sítios livres dos anéis aromáticos levam à criação de novas ligações químicas entre as cadeiras poliméricas, aumentando o número de ligações duplas entre carbonos e diminuindo as hidroxilas, estas reações criam uma nova "pseudo-lignina", que seria mais hidrofóbica e rígida que a original (DUCHEZ e GUYONNET, 1998).

4.7.5.4 Efeito do aquecimento sobre os extrativos

De acordo com Sundqvist (2004), alguns extrativos são consumidos pelo processo de modificação térmica a 125°C. De acordo com o processo de modificação térmica formam-se novos extrativos derivados da degradação da holocelulose e lignina. Dependendo do processo, o teor de extrativos aumenta até um determinado ponto, em que passa a decrescer (ESTEVES, et al., 2008).

Por não serem componentes estruturais da madeira, a maioria dos extrativos se evaporam facilmente durante o tratamento térmico. Essas substâncias, quando submetidas ao calor, também podem ser observadas em algumas situações na superfície da madeira, como resina ou goma superficial (OLIVEIRA, 2009). Nupponem et al. (2003) observaram que substâncias que migraram para a superfície quando as amostras foram submetidas a tratamentos térmicos entre 100 e 160°C evaporaram completamente quando submetidas a temperaturas superiores, de 180°C.

4.8 MODIFICAÇÃO DA MADEIRA

A modificação da madeira é um método utilizado para alterar o material original, buscando superar ou melhorar uma ou mais características indesejáveis. O objetivo da modificação, por exemplo, pode ser tornar a madeira mais resistente à biodeterioração, mais estável dimensionalmente, reduzir a higroscopicidade ou aumentar a resistência ao intemperismo (HILL, 2006).

Contudo, a madeira modificada não pode tornar-se tóxica, pela adição de substâncias que já são naturalmente biocidas, como ocorre nas indústrias convencionais de preservação com produtos solúveis em água (HOMAN et al., 2000; HILL, 2006). Da mesma forma, para que um produto possa ser classificado como modificado, as propriedades melhoradas não podem ter perda de desempenho durante o ciclo de vida útil do mesmo. Por exemplo, o envernizamento acarreta em redução da higroscopicidade, porém a remoção do produto retorna-o ao estado original, não se adequando ao conceito de madeira modificada (HILL, 2006).

Resumindo o disposto, devido às limitações da madeira, os cientistas há muitos anos pesquisam novas técnicas para melhorar suas propriedades e assim aumentar sua utilização e durabilidade natural. Assim, diferentes estudos vêm sendo realizados e, dentre eles, surgiu o tratamento térmico. Esse método é um dos mais antigos, mais fáceis e mais baratos para melhorar propriedades físicas como a higroscopicidade e a estabilidade dimensional (ARAÚJO, 2010).

Stamm (1964) agrupou em cinco os métodos utilizados até aquele momento para conferir maior estabilidade dimensional à madeira e derivados, em que cada um possui subdivisões. Dentre eles, encontra-se o que preconiza a redução da higroscopicidade pela estabilização com calor (heat stabilization), em que a madeira contrai e incha menos, além

de se tornar mais resistente à degradação por fungos, como efeito secundário. Atualmente, os métodos de modificação da madeira dividem-se em: química, de superfície, por impregnação e térmica (HILL, 2006), e envolvem alguns, porém não todos, propostos por Stamm (1964). De particular importância encontra-se a estabilização com calor, classificada atualmente como modificação térmica.

4.8.1 Tratamento térmico da madeira

A técnica de tratar a madeira com calor foi desenvolvida pelos Vikings, que aqueciam as extremidades das toras observando que dessa forma a durabilidade do material aumentava. O tratamento térmico tem efeito sobre a composição química da madeira e dessa forma altera suas propriedades. A madeira tratada aumenta sua estabilidade dimensional e escurece sua cor, podendo torná-la mais próxima a espécies tropicais amplamente usadas (LARENSTEIN, 2009).

A modificação térmica da madeira começou a ser estudada cientificamente ainda na década de 1930, na Alemanha, por Stamm e Hansen (Stamm e Hansen, 1937), e nos Estados Unidos, em 1940, por White. Em 1950 os alemães Bavedam, Runkel e Buro deram continuidade às pesquisas no tema. Em 1990, estudos sobre o tema começaram a ser realizadas por toda a Europa. Outros autores como Kollman, Schneider, Rusche e Burmester publicaram importantes descobertas nos anos seguintes, mas no início dos anos 2000 é que a modificação térmica foi instalada em escala industrial e diversos processos surgiram com êxito na Europa (MILITZ, 2002).

A madeira termorretificada ou submetida a tratamentos térmicos pode ser considerada como um produto de uma pirólise controlada, interrompida antes de atingir o patamar das reações exotérmicas (a aproximadamente 280°C), quando se inicia a combustão espontânea da madeira. A ação do calor pode provocar diferentes níveis de transformação na estrutura da madeira, associados à pirólise, resultando na sua degradação térmica, que ocorre na ausência de agentes oxidantes ou de catalisadores, ou seja, sem combustão, apenas submetida à ação do calor (BORGUES e QUIRINO, 2004; BRITO, 1992).

Podem ser identificadas cinco fases no processo de pirólise da madeira de acordo com a perda de massa, provocadas pelas reações químicas verificadas com o aumento da temperatura: A primeira fase ocorre entre a temperatura ambiente e 100°C e corresponde

à saída da água livre e água de adesão da madeira, que permanecia retida ao lúmen ena parede celular. A segunda fase ocorre entre 100 e 250°C e também está associada à eliminação de água. Uma parte dessa água, ainda chamada de higroscópica, está retida pelas paredes celulares e adsorvida junto às hidroxilas das cadeias de polissacarídeos e lignina, a outra parte é chamada de água de constituição e sua eliminação é acompanhada por uma degradação não reversível da madeira, principalmente de seus grupos hidrofílicos. A terceira fase, em temperatura entre 250 e 330°C, em geral é acompanhada pela destruição da hemicelulose. A quarta fase, entre 330 e 370°C, supostamente destrói a celulose. A quinta e última fase ocorre a temperaturas acima de 370°C, onde já se produz carvão vegetal, é ligada ao início da degradação da lignina (GUEDIRA, 1988; VOVELLE e MELLOOTTEE, 1982).

Desta forma, a respeito dos tratamentos térmicos da madeira, também chamados de termorreificação, estão associados a aplicação de calor em temperaturas inferiores às que provocam o início da degradação dos componentes químicos fundamentais da madeira, situando-se em temperaturas entre 100 e 250°C, e que correspondem as primeiras duas fases do processo de pirólise da madeira descrito anteriormente (GUEDIRA, 1988; VOVELLE e MELLOOTTEE, 1982).

Cabe ressaltar que os efeitos nas propriedades da madeira da modificação térmica dependem das variáveis utilizadas no processo, principalmente a temperatura máxima, o tempo de tratamento, a taxa de aquecimento e o meio de transferência de calor. A utilização de calor úmido provoca maior degradação da madeira do que o calor seco. A energia de ativação necessária para degradação térmica da madeira é cerca de 50% menor quando se utiliza calor úmido, resultando em maior perda de massa do que nos processos que utilizam calor seco (STAMM, 1956).

4.8.1.1 Principais processos industriais de tratamento térmico da madeira

Os principais processos industriais utilizados atualmente são: Thermowood (Finlândia), Plato (Holanda), Bois Perdure e Retification (França) e Menz OHT (Alemanha) (HILL, 2006; ESTEVES e PEREIRA, 2009; XIE et al., 2002).

Os processos normalmente desenvolvem-se em quatro fases: aquecimento, tratamento, resfriamento ou arrefecimento e estabilização. Comumente os processos utilizam madeira maciça de coníferas e folhosas e temperaturas de 160 a 260°C. O

processo finlandês utiliza vapor, o holandês uma combinação de vapor e ar quente, o francês Retification um gás inerte e o Bois Perdure ar quente, e o alemão óleo aquecido (ESTEVEES e PEREIRA, 2009; RODRIGUES, 2009)

As principais diferenças entre esses tratamentos estão relacionadas ao teor de umidade inicial da madeira, ao número de etapas do processo, à utilização de oxigênio ou nitrogênio, à presença ou ausência de vapor, ao processo seco ou úmido e à utilização de óleos (MILITZ, 2002).

Le Bois Perdure

O processo de tratamento térmico Le Bois Perdure foi desenvolvido na França pela companhia BCI-MBS e, posteriormente adquirido pela indústria PCI Thecnhonologies Inc. A universidade de Quebec, localizada em Chicoutimi e a indústria PCI Thechnologies Inc. trabalharam em conjunto com o objetivo de dominar a tecnologia de tratamento térmico da madeira para as espécies no Canadá, abrindo em Quebec unidades em ST-Ambroise, Cacouna e Dolbeau, de forma a ser um processo importante no território canadense (VERNOIS, 2001; METSAS-KORTELAJNEN et al., 2005)

Esse processo consiste resumidamente em secar artificialmente a madeira verde e em seguida aquecer a temperaturas de até 230°C, sob atmosfera com vapor. No final do tratamento, antes da abertura da porta do forno, o resfriamento ocorre por injeção de água em seu interior, sendo que essa se transforma em vapor. Essa etapa tem por objetivo evitar o resfriamento brusco e deterioração do material (VERNOIS, 2001).

Retification

O processo Retification foi industrializado em 1997 pela Ecole des Mines de Saint Etienne, na França, e a madeira é vendida com a marca Retiwood pela atual detentora de sua patente, a companhia NOW (New Option Wood), também conhecida como RETITECH (VERNOIS, 2001). Foi o primeiro processo de modificação térmica da madeira a ser produzido em escala industrial no mundo, ainda em 1995, já contando naquele ano com quatro plantas em operação e uma capacidade instalada de 15.000 m³ por ano (JERMANNAUD et al., 2002)

No processo inicialmente há a secagem da madeira com temperatura entre 160° e 180°. Nesta temperatura, a madeira não sofre modificações irreversíveis. O processo de retificação será realizado em uma faixa de temperatura para cada madeira, dependendo

da sua temperatura de transição vítrea, de forma que a temperatura pode atingir 240°C em atmosfera inerte, usando nitrogênio. A madeira é resfriada após o tratamento por aspersão e, progressivamente, volta a sua temperatura normal (ESTEVES et al., 2008).

Thermowood

O processo Thermowood é um método desenvolvido pela VTT *Technical Research Centre of Finland* (Centro de Pesquisas Técnicas da Finlândia), na Finlândia, e registrado pela International ThermoWood Association, antigamente denominada de Finished Thermowood Association. De acordo com Esteves e Pereira (2009), é provavelmente o processo de tratamento térmico mais bem sucedido na Europa.

O processo é baseado no aquecimento da madeira a temperaturas entre 180 e 250°C com vapor de água em atmosfera controlada com vapor. O processo pode ser dividido, de acordo com a Finnish Thermowood Association (2003) em três fases: a primeira fase é de aquecimento e secagem em que usando o calor do vapor de 100° a 130°C a madeira é seca; a segunda fase é do tratamento térmico em si, de forma que a temperatura é elevada entre 185 e 215°C, permanecendo por duas ou três horas; a terceira fase diz respeito ao resfriamento e a reumidificação, em que as temperaturas são reduzidas entre 80 a 90°C, por meio de aspersão de água, com a finalidade de deixar a madeira protegida por um teor de umidade de 4 a 7%.

O processo Thermowood possui, ainda, dois tipos de tratamentos distintos, denominados de Thermo-S, em que a letra "S" indica estabilidade (stability) e Thermo-D, sendo a letra "D" indicativo de durabilidade (durability). No primeiro, a madeira é tratada com patamares de temperaturas inferiores (185-190°), produzindo uma madeira de cor marrom clara, utilizada em ambientes interiores ou onde a madeira não fica diretamente exposta ao contato direto com a água por períodos prolongados. No segundo, o Thermo-D, a madeira é tratada com patamares de temperaturas superiores (200-212°C), resultando em uma madeira com maior estabilidade dimensional, cor marrom escura e mais resistente ao ataque de microorganismos xilófagos (FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003).

A média tangencial do inchamento e contração previstas para as madeiras tratadas pelo processo Thermo-S é de 6 a 8% e pelo Thermo-D 5 a 6% (SYRJÄNEN e OY, 2001).

Platowood

O tratamento térmico Platowood foi desenvolvido na Holanda pela companhia Plato International BV, após estudos iniciais nos laboratórios da Royal Dutch Shell (SILVA, 2012).

O processo é baseado em quatro etapas, em que na primeira ocorre a hidrotermólise, sendo a madeira com a umidade de 14 a 20% aquecida em temperaturas entre 150 e 180°C, em ambiente úmido e com pressão de 7 atm. Na segunda etapa, que pode durar até uma semana, ocorre a secagem, em que a madeira é colocada em sua condição seca a partir de métodos convencionais e em uma atmosfera com umidade entre 8 e 10%. Na terceira etapa a madeira é novamente aquecida a temperaturas entre 150 e 190°C em um ambiente seco por um período de 12 a 16 horas. A última etapa diz respeito ao acondicionamento, em que a umidade é elevada entre 4 e 6%, podendo durar até 3 dias (MILITZ E TJEERDSMA, 2001).

Oil Heat Treatment (OHT)

O processo Oil Heat Treatment (OHT) é realizado pela empresa Menz Holz na Alemanha e pela Oléoboís na França, sendo bem distinto dos anteriores por usar óleo em altas temperaturas. Foi desenvolvido pelo pesquisador Andreas O. Rapp em cooperação com o *Federal Research Centre for Forestry* (Centro Federal de Pesquisas Florestais), em Hamburgo, Alemanha. A primeira fábrica a realizar o processo, na cidade de Reulbach (Alemanha), iniciou suas atividades em 2000 (GERÁRDIN, 2016; MENZ HOLZ, 2012).

De acordo com Menz (2014) a madeira tratada em óleo vegetal proporciona uma gama de utilizações, como por exemplo, o emprego da madeira em fachadas, janelas, portas externas, mobiliário de jardim, cercas, decks, bancos de saunas e design de embarcações. Todas essas aplicabilidades têm em comum a oscilação rotineira da umidade do ar, o que produz instabilidade ao material, caso a madeira não tenha sido tratada.

Em resumo, esse processo consiste na utilização de óleo aquecido entre 180° e 220°C que circula, de 2 a 4 horas, não considerando o tempo de aquecimento inicial e o resfriamento pós-tratamento, em torno de cargas de madeira acondicionadas no interior de uma autoclave, secas a 6%, sem uso de pressão (RAPP, 2001).

Existem ainda, segundo Esteves e Pereira (2009), outras duas companhias além da Menz Holz realizando processos parecidos, a Thermoholz e a Bad Essen (Hagensieker).

4.8.3 Tratamento térmico da madeira no Brasil

De acordo com Batista (2012) os estudos sobre a modificação térmica da madeira iniciaram no Brasil na década de 1980 em escala laboratorial, principalmente utilizando estufas elétricas, muflas e autoclaves.

Os trabalhos pioneiros de Vital e Della Lucia (1982) e Vital et al. (1983) investigaram a influência do aquecimento na higroscopicidade (umidade de equilíbrio) e em algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus saligna*, utilizando uma estufa e três temperaturas (105, 130 e 155°C) e diferentes tempos (10, 20, 40, 80 e 160 horas).

Posteriormente, como literatura pioneira de referência no Brasil do tema, temos o trabalho de Brito (1993), em que a madeira de *Eucalyptus saligna* é tratada em mufla, com taxa de aquecimento de 0, 02°C.min⁻¹ a temperaturas finais de 180, 200 e 220°C.

Estudo pioneiro posterior foi o de Quirino (1997) sobre o efeito do tratamento térmico em estacas e mourões de cerca em espécies nativas da Caatinga e *Eucalyptus* sp., com objetivo de aumentar sua durabilidade natural, com resultados promissores.

Pinceli (1999) avaliou as propriedades de envernizamento, colagem e cor das madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribea* tratadas em estufa nas temperaturas de 120 e 180°C.

A partir do ano 2000 muitos estudos sobre a modificação térmica da madeira surgiram, relatando resultados positivos e negativos do processo. Severo et al. (2001) avaliaram para a madeira de *Eucalyptus dunnii* o tratamento a temperatura de 100°C, observando redução significativa no teor de umidade de equilíbrio. Quirino e Vale (2002) trataram termicamente a madeira de *Eucalyptus grandis* em um forno com ambiente inerte pela utilização de gás argônio em busca de informações sobre sua transição viscoelástica.

Picenlli et al. (2002) modificaram termicamente a madeira de *Pinus caribea* em temperaturas de 120 a 180°C, observando a influência do aquecimento na redução do cisalhamento na linha de cola para essa madeira tratada a temperatura superior a 140°C.

Pessoa et al. (2006) utilizando uma estufa e as temperaturas finais entre 120 e 200°C avaliaram a resistência ao ataque de cupins na madeira de *Eucalyptus grandis* tratada e constataram que esta apresentou menores danos quando atacada pelos insetos, de forma que a elevação da temperatura aumenta a mortalidade destes.

Borges e Quirino (2004) trataram a madeira de *Pinus caribaea* com temperaturas finais entre 120 e 180°C utilizando uma autoclave para avaliar a diminuição da higroscopicidade. Brito et al. (2006) avaliaram as propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus grandis* tratada em estufa em temperaturas entre 120 e 200°C.

Gouveia (2008) estudou o efeito do tratamento na redução da variação da cor da superfície de espécies nativas, tratando-as combinando as temperaturas de 150 e 200°C em ciclos de uma e duas horas em estufa.

Muitos outros estudos realizados no Brasil dos últimos dez anos podem ser citados, como Miranda (2010), Lengowski (2011), Batista (2012) e Griebeler (2013) com espécies nativas e de reflorestamento, de forma a avançar as pesquisas sobre o tema. Estudos recentes também pode ser citados, como o de Ferreira et al. (2019), que avaliaram as propriedades físicas e mecânicas da madeira de angelim pedra tratada termicamente em estufa a temperaturas de 180° e 200° em tempos de exposição variando de 2 a 4 horas; Juízo et al. (2018) que submeteram a madeira de eucalipto ao tratamento térmico em um forno com sistema fechado em temperaturas e tempos de exposição que variaram de 180 a 240°C e 2 e 4 horas, analisando os efeitos nas propriedades físicas, químicas e mecânicas.

Cabe ressaltar que em muitos dos estudos do tema o termo muitas vezes utilizado para o processo é o de "retificação térmica" ou "termorretificação". Esses termos, no entanto, pouco esclarecem sobre o processo e ainda sugerem uma correção, de acordo com o sentido do verbo "retificar", da madeira. Este trabalho, desta forma, faz o uso do termo "modificação térmica da madeira" ou "tratamento térmico da madeira", tanto para citar outros trabalhos quanto para elucidar o realizado, de forma a padronizar sua redação. Batista (2019) em um artigo de revisão sobre a nomenclatura do tema recomenda o uso dos termos "modificação térmica" e "modificada termicamente", para o processo e a madeira processada/produto originado, respectivamente.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ORIGEM E CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A madeira utilizada nesta pesquisa foi doada pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB). As espécies *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd (cumaru), *Manilkara bidentata* (maçaranduba) e *Couratari oblongifolia* Ducke & Knuth (tauari) encontravam-se identificadas e armazenadas em um galpão em peças de diferentes tamanhos. Esse material foi proveniente da coleta de, no mínimo, três árvores por espécie.

As peças foram aplainadas, orientadas e posteriormente desdobradas em 100 amostras de 2 cm x 2 cm x 30 cm (largura, espessura e comprimento), 100 amostras de 2 cm x 2 cm x 10 cm (largura, espessura e comprimento) e 100 amostras de 2 cm x 3 cm x 5 cm (largura no sentido tangencial, espessura no sentido radial e comprimento) de cada espécie, considerando que ensaios preliminares utilizaram parte das amostras. As amostras foram colocadas em câmara climatizada (20°C \pm 2 e 65% \pm 2 de umidade relativa) até atingirem massa constante.

Os tratamentos térmicos das madeiras foram realizados em uma estufa adaptada e em prensa hidráulica, sem uso de pressão, com diferentes temperaturas e tempos de ensaio, adotados de acordo com ensaios preliminares. Dessa forma, o trabalho consistiu na realização de nove tratamentos distintos (incluindo a testemunha, cujas amostras não foram tratadas) de acordo com a Tabela 4.1.

Tabela 5.1. Tratamentos em função da temperatura e tempo.

Equipamento	Tratamento	Temperatura final (°C)	Tempo no patamar (minutos)
-	Testemunha	-	-
Estufa	T1	180	30
	T2	200	30
	T3	180	60
	T4	200	60
Prensa	T5	180	30
	T6	200	30
	T7	180	60
	T8	200	60

Utilizou-se em cada tratamento 10 amostras de dimensões 2 cm x 3 cm x 5 cm, 10 amostras de 2 cm x 2 cm x 30 cm e 10 amostras de 2 cm x 2 cm x 10 cm de dimensões

tangencial, radial e longitudinal, respectivamente, para cada espécie, de acordo com a Tabela 4.2.

Tabela 5.2. Dimensão dos corpos de prova e respectivos ensaios.

Dimensões dos corpos de prova	Ensaio realizado
2 cm x 3 cm x 5 cm	Taxa de absorção de água
	Inchamentos lineares
	Coefficiente de inchamento volumétrico
	Coefficiente de anisotropia de inchamento
	Microscopia de varredura eletrônica
2 cm x 2 cm x 10 cm	Densidade aparente e densidade básica
	Retratibilidade
	Coefficiente de anisotropia de retratibilidade
2 cm x 2 cm x 30 cm	Ultrassom e Ondas de tensão
	Colorimetria

5.2 TRATAMENTOS EM ESTUFA

Os ensaios na estufa foram realizados no setor de Energia e Biomassa do LPF/SFB, utilizando uma estufa adaptada para ensaios de pirólise branda (Figura 4.1), limitada a temperatura máxima de 320°C.



Figura 5.1. Estufa adaptada.

Fonte: A autora (2019).

A estufa utilizada pode ser programada com diferentes rampas e patamares de aquecimento por estar interligada a controladores e a um computador pelo software

labview. A seção de tratamento térmico é composta por uma câmara com duas resistências elétricas e um pequeno ventilador para circulação do ar. O controlador PID (proportional-integral-derivative) programável controla as temperaturas e a taxa de aquecimento da estufa.

O equipamento possui entrada para quatro termopares, capazes de medir temperaturas em diferentes posições dentro da estufa a cada 30 segundos. Dois termopares foram utilizados, colocados próximos às madeiras ensaiadas.

Esses ensaios consistiram em uma primeira fase, definida como Fase 1, em que as amostras foram inseridas na estufa e aquecidas até um determinado patamar, em que a temperatura permaneceu constante durante um tempo pré-determinado – chamado de patamar final, definido de t_1 a t_2 e denominado de Fase 2, que foi o tempo de ensaio efetivo. Em seguida o equipamento foi desligado e passou para a etapa de resfriamento até atingir temperatura ambiente – Fase 3, momento em que as amostras foram retiradas do equipamento e seguiram para estabilização da temperatura para as posteriores medições e testes a Figura 4.2 ilustra o programa adotado para os tratamentos térmicos.

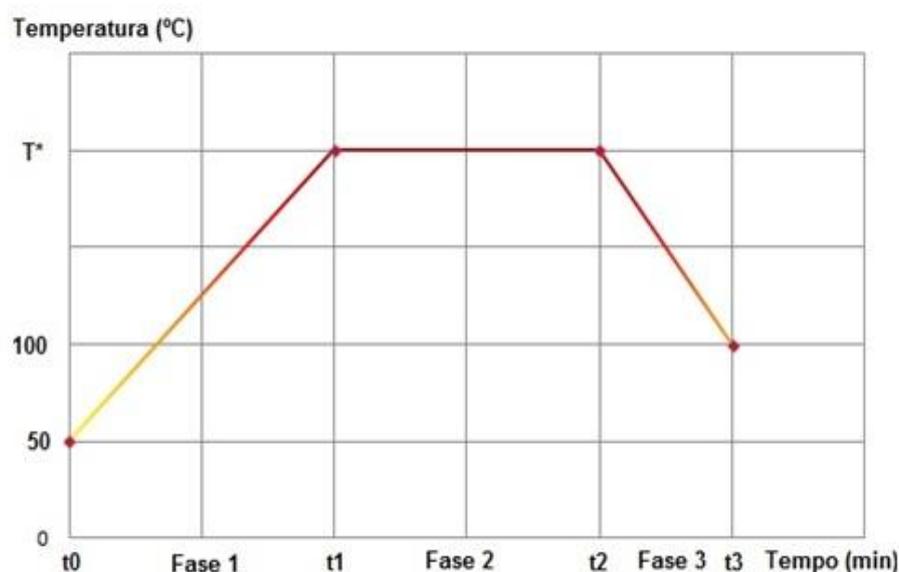


Figura 5.2. Programa de temperatura e tempo aplicado aos tratamentos das amostras das duas espécies de madeira

Fonte: A autora (2019).

Os tratamentos foram iniciados a uma temperatura de 50°C e na etapa de resfriamento as amostras foram retiradas da estufa quando o equipamento atingiu uma temperatura de cerca de 100°C. A taxa de aquecimento adotada foi de 2°C/minuto, de

acordo com de Paula (2016) e ensaios preliminares, em que as taxas de 1°C/minuto, 1,5°C/minuto e 2°C/minuto foram testadas.

De acordo com a limitação espacial do equipamento, foram feitos dois ensaios para cada tratamento, de forma que no primeiro as amostras de 2 cm x 2 cm x 30 cm foram ensaiadas e no segundo as amostras de 2 cm x 2 cm x 10 cm e 2 cm x 3 cm x 5 cm, para as três espécies, foram as ensaiadas.

Os corpos de prova foram dispostos na estufa de forma que não entrassem em contato direto com as paredes internas do equipamento, sendo estes empilhados utilizando pequenos pedaços de madeira como separadores, de acordo com a Figura 4.3.

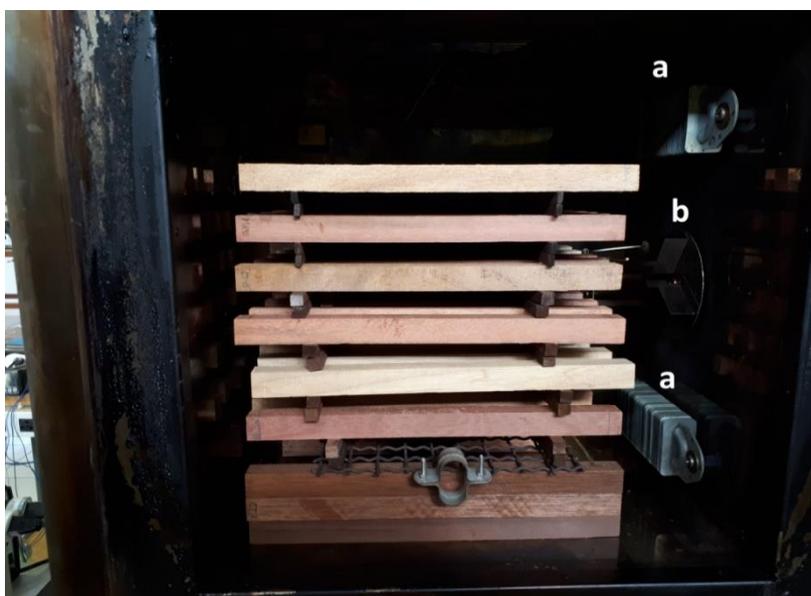


Figura 5.3. Disposição das amostras para o tratamento térmico. (a) Resistências elétricas (b) ventilador para circulação de ar.

Fonte: A autora (2019).

5.3 TRATAMENTOS EM PRENSA HIDRÁULICA

Os ensaios na prensa hidráulica foram realizados no laboratório de Engenharia e Tecnologia de Produtos Florestais, na Fazenda Água Limpa – FAL/UnB. Foi utilizada uma prensa hidráulica (INDUMEC, 1000kN) com controle de pressão e temperatura e dimensões 60 x 60 cm, além do conjunto datalogger ICEL Manaus TD-890 e termopar tipo K para registro da temperatura interna na madeira (Figura 4.4).



Figura 5.4. Prensa hidráulica.

Fonte: A autora (2019).

Esses ensaios consistiram em uma primeira fase em que as amostras foram colocadas, de forma espaçada, entre dois pratos metálicos de 50 cm x 50 cm (Figura 4.5), de forma que as amostras não entrassem em contato direto com a prensa. O conjunto foi inserido na prensa e essa acionada, porém sem exercer pressão, cuja checagem foi feita visualmente e pelo monômetro, e então aquecidos até um determinado patamar, em que a temperatura permaneceu constante durante um tempo pré-determinado, que foi o tempo de ensaio efetivo. O termopar tipo K foi colocado em um pequeno orifício em uma das amostras, de forma aleatória, para acompanhamento da temperatura do ensaio.

Em seguida o equipamento foi desligado e passou para a etapa de resfriamento até atingir temperatura ambiente, momento em que as amostras foram retiradas do equipamento e seguiram para estabilização da temperatura para as posteriores medições e testes.



Figura 5.5. Amostras entre os pratos metálicos para ensaio com a prensa hidráulica.

Fonte: A autora (2019).

Os tratamentos foram iniciados a uma temperatura de 50°C e na etapa de resfriamento as amostras foram retiradas da prensa quando o equipamento atingiu uma temperatura de cerca de 100°C.

De acordo com a limitação espacial do equipamento, foram feitos dois ensaios para cada tratamento, de forma que no primeiro as amostras de 2 cm x 2 cm x 30 cm das três espécies foram ensaiadas e no segundo as amostras de 2 cm x 2 cm x 10 cm e 2 cm x 3 cm x 5 cm foram as ensaiadas, de forma análoga aos ensaios na estufa.

5.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E MÓDULOS DE ELASTICIDADE DINÂMICOS (ULTRASSOM E STRESS WAVE TIMER)

Os ensaios que determinaram as propriedades físicas e os módulos de elasticidade das madeiras tratadas e da testemunha foram realizados após a estabilização de massa do material tratado e não tratado em câmara climatizada a 20°C \pm 2 e 65% \pm 2 de umidade relativa, até massa constante, quando atingiu a umidade de equilíbrio. A taxa de absorção de água, efetividade de repelência à água, inchamentos lineares e coeficiente de inchamento volumétrico, eficiência anti-inchamento e coeficiente de anisotropia de inchamento foram realizados de acordo com Soares et al. (2018) e Juizo et al., (2018).

5.4.1 Taxa de absorção de água

As amostras foram submetidas a quatro ciclos de imersão/secagem e a média dos valores obtidos em cada ciclo originou os resultados obtidos. Os ciclos consistiram em:

imersão total das amostras em água por 24 horas seguida de secagem do material em estufa a 60°C até massa constante. As massas, as dimensões lineares e os volumes das amostras de cada tratamento para cada espécie foram medidos antes e depois da exposição à água. A capacidade de absorção de água foi considerada como a diferença percentual de absorção de água da madeira baseada nas massas medidas antes e após a submersão em água, de acordo com a Equação 1.

$$TA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

Equação 1

Em que:

TA = taxa de absorção de água das amostras (%);

Mu = massa das amostras após imersão em água por 24 h (g);

Ms = massa das amostras secas em estufa a 60°C (g).

5.4.2 Efetividade de repelência à água (ER)

Com base nos valores de taxa de absorção das amostras tratadas e testemunha, calculou-se a efetividade de repelência à água, atribuída aos tratamentos, de acordo com a Equação 2.

$$ER = \frac{TA_1 - TA_2}{TA_1} \times 100$$

Equação 2

Em que:

ER = eficiência de repelência à água (%)

TA1 = taxa de absorção de água das amostras não tratadas (%);

TA2 = taxa de absorção de água das amostras tratadas (%).

5.4.3 Inchamentos lineares e coeficiente de inchamento volumétrico

Os inchamentos lineares foram determinados nas direções radial e tangencial. Ao final das etapas de imersão das amostras em água, bem como ao final das etapas de secagem em estufa a 60°C, foram tomadas as medidas das amostras nos dois sentidos das peças, com auxílio de paquímetro digital. A diferença percentual das dimensões expressa os inchamentos lineares (Equação 3). Enquanto o coeficiente de inchamento volumétrico

trata da diferença percentual dos volumes nas condições após secagem em estufa e após imersão em água (Equação 4).

$$IL = \frac{Lu - Ls}{Ls} \times 100$$

Equação 3

Em que:

IL = inchamento linear (%);

Lu = dimensão tangencial ou radial após imersão em água por 24h (cm);

Ls = dimensão tangencial ou radial após a secagem em estufa a 60°C (cm);

$$IV = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100$$

Equação 4

Em que:

IV = coeficiente de inchamento volumétrico (%)

V2 = volume da amostra tratada após imersão em água por 24h (cm³);

V1 = volume da amostra após secagem em estufa a 60°C (cm³).

5.4.4 Eficiência anti-inchamento (EA)

Por meio da determinação do coeficiente de inchamento volumétrico foi determinada a eficiência de redução do inchamento das amostras, dados os tratamentos de estabilização dimensional, de acordo com a Equação 5.

$$EA = \frac{IV_1 - IV_2}{IV_1} \times 100$$

Equação 5

Em que:

EA = eficiência anti-inchamento (%)

IV2 = coeficiente de inchamento volumétrico das amostras tratadas (%);

IV1 = coeficiente de inchamento volumétrico das amostras não tratadas (%).

5.4.5 Coeficiente de anisotropia de inchamento

Com base no inchamento linear dos planos tangencial e radial calculou-se o coeficiente de anisotropia ao final de cada ciclo de avaliação (imersão/secagem), de acordo com a Equação 6.

$$CA_I = \frac{It}{Ir}$$

Equação 6

Em que:

CAI = coeficiente de anisotropia de inchamento;

It = inchamento tangencial (%);

Ir = inchamento radial (%);

5.4.6 Perda de Massa

A umidade das peças de madeira antes do tratamento térmico era de 12%. Para avaliar a perda de massa foi necessário, inicialmente, calcular a massa seca da madeira, com base em sua umidade, de acordo com a Equação 7.

$$Ms = \frac{100 * mi}{U + 100}$$

Equação 7

Em que:

ms = Massa seca da madeira antes do tratamento térmico (g);

mi = Massa inicial da madeira (g);

U = Teor de umidade inicial da madeira (%);

Com o resultado da massa seca, a perda de massa foi calculada com base na equação 8.

$$PM = \frac{ms - mf}{mf} \times 100$$

Equação 8

Em que:

PM= Perda de massa (%);

ms = Massa seca da madeira antes do tratamento térmico (g);

mf = Massa seca da madeira após o tratamento térmico (g).

5.4.7 Densidade básica e aparente

A densidade básica foi determinada pelo método estereométrico, correspondendo à relação entre a massa das madeiras secas em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem massa constante e seu volume saturado, obtido pela mensuração das suas faces, tangencial e radial, em seu estado de total saturação (após permanecerem submersos em água até saturação). A densidade aparente foi determinada de acordo com a mesma técnica, desta vez sendo igual à relação entre a massa e volume das amostras em equilíbrio (12% de umidade), antes dos ensaios físicos.

5.4.8 Retratibilidade e coeficiente de anisotropia de retratibilidade

Para determinar a retratibilidade das amostras foi utilizada a norma ASTM D143-09 (2009). Os corpos de prova de cada tratamento tiveram suas medidas de dimensões radial, tangencial e longitudinal obtidas depois dos tratamentos em condição seca em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e em condição de completa saturação das fibras, depois de submersas até massa constante. As Equações 9 e 10 foram usadas para calcular as retrações lineares (radial e tangencial) e a retratibilidade volumétrica, respectivamente.

$$Rt \text{ ou } Rr = \frac{Dur - Dsr}{Dur} \times 100$$

Equação 9

Em que:

Rt = retratibilidade tangencial (%);

Rr = retratibilidade radial (%);

Du = dimensão linear (face tangencial ou radial) da amostra em condição saturada (cm);

Ds = dimensão linear (face tangencial ou radial) da amostra em condição seca (cm);

$$Rv = \frac{V_{\text{sat}} - V_s}{V_{\text{sat}}} \times 100$$

Equação 10

Em que:

Rv = retratibilidade volumétrica (%);

Vu = volume da amostra em condição saturada (cm³);

Vs = volume da amostra em condição seca (cm³);

O coeficiente de anisotropia de retratibilidade será determinado para cada amostra com base na retratibilidade linear nos planos tangencial e radial, de acordo com a Equação 11.

$$CA_R = \frac{Rt}{Rr}$$

Equação 11

Em que:

CA_r = coeficiente de anisotropia de retratibilidade;

It = inchamento tangencial (%);

Ir = inchamento radial (%);

5.4.9 Colorimetria

Foram realizadas 10 leituras por face (radial e tangencial) nas amostras de todos os tratamentos, incluindo a testemunha, utilizando um espectrofotômetro da marca X-Rite Color Eye XTH com resolução de 3nm, equipado com uma esfera integradora de refletância difusa, iluminante D65 e ângulo de 10°, em temperatura ambiente, acoplado a um microcomputador. A metodologia adotada para a determinação dos parâmetros colorimétricos foi o sistema CIELAB 1976, conforme Gonzalez (1993).

Os parâmetros colorimétricos determinados foram L* (claridade), coordenadas a* (coloração vermelho-verde) e b* (coloração amarelo-azul), C (saturação) e h* (ângulo de tinta). Para o cálculo dos parâmetros C e h* foram utilizadas equações complementares conforme procedimento descrito por Gonzalez (1993).

Para quantificar a alteração total da cor (ΔE^*) foi utilizada a Equação 12, de acordo com a norma ASTM D 2244 (2009).

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

Equação 12

Em que:

ΔE^* = alteração total da cor;

ΔL^* = alteração da claridade: L* das amostras tratadas menos L* das amostras não tratadas (testemunha);

Δa^* e Δb^* = alteração das coordenadas cromáticas: a^* e b^* das amostras tratadas menos a^* e b^* das amostras não tratadas (testemunha);

Para classificar a variação da cor foi usada a Tabela 4.3, elaborada por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção de cor visual.

Tabela 5.3. Classificação da variação total da cor de madeiras (Hikita et al.,2001).

Alteração total da 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

5.4.10 Módulo de Elasticidade Dinâmico - Ultrassom e Ondas de tensão

Para o estudo de ondas ultrassônicas foram utilizados corpos de prova de 2cm x 2cm x 30cm, respectivamente, de largura, altura e comprimento. Para aferição das ondas foi utilizado o aparelho de ultrassom com dois transdutores de face plana, frequência de 45 KHz e gel medicinal como acoplante.

Com os valores dos tempos de propagação registrados pelo equipamento e a distância percorrida, igual ao comprimento dos corpos de prova, foram calculadas as velocidades de propagação para cada uma das amostras de acordo com a Equação 13.

$$V = \frac{Co}{\Delta t}$$

Equação 13

Em que:

V = velocidade de propagação de ondas (m/s);

Co = Comprimento dos corpos de prova (m);

Δt = tempo que a onda demorou a percorrer o corpo de prova (s).

O ensaio de ondas de tensão foi realizado com o equipamento *Stress Wave Timer* nos mesmos corpos de prova utilizados no ensaio de ultrassom. O equipamento possui dois acelerômetros que são posicionados nas extremidades longitudinais da peça, o

primeiro produz um impacto gerando a onda e o segundo absorve, no lado oposto. O tempo de propagação começa a ser contado quando a onda de tensão chega ao acelerômetro de partida e termina quando atinge o acelerômetro de parada.

De posse dos dados de velocidade da propagação de ondas obtidos por ambos os métodos (ultrassom e ondas de tensão) foi calculado o módulo de elasticidade dinâmico para cada equipamento no sentido longitudinal dos corpos de prova (paralelo às fibras), segundo a Equação 14.

$$MOEdu \text{ ou } MOEds = V^2 \times Dap$$

Equação 14

Em que:

MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico utilizando o ultrassom (kgf/cm²);

MOEds = módulo de elasticidade dinâmico utilizando o stress wave (kgf/cm²);

V = velocidade da propagação das ondas (m/s);

Dap = densidade aparente (g/cm³).

5.5 MICROSCOPIA DE VARREDURA ELETRÔNICA (MEV)

Para a análise da integridade da superfície das amostras após os tratamentos foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV) Hitachi TM4000Plus, localizado setor de Anatomia do LPF/SFB. O MEV de bancada usado trabalha com tensões de aceleração de 5 kV, 10kV, 15 kV e 20kV. Possui detectores para elétrons retro espalhados (BSE), elétrons secundários (SE) e EDS (energy dispersive spectroscopy) que possibilita análise elementar.

5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise estatística dos resultados foi realizada no programa SPSS versão 23. Foi feita a análise de variância e quando constatada variação significativa pelo teste F ($\alpha = 0,05$), para cada espécie, foi feito o teste de Dunnett a 5% de significância para comparar as médias das amostras tratadas com a média das amostras testemunha, par a par.

Foi realizada também uma Análise de variância fatorial com dois fatores (temperatura e tempo) e dois níveis cada (180°C e 200°C; 30 e 60 minutos) para os dois equipamentos. Essa análise foi usada para identificar o efeito isolado de cada um dos fatores e a interação entre eles, de acordo com o equipamento usado e para cada espécie.

Adicionalmente foi realizada uma Análise de variância fatorial com um fator (equipamento) e dois níveis (estufa e prensa) para estimar o efeito da variação do equipamento/forma de tratamento para cada uma das espécies.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MÓDULOS DE ELASTICIDADE DINÂMICOS (ULTRASSOM E STRESS WAVE TIMER)

6.1.1 Cumaru

A Tabela 6.1 apresenta os valores médios das propriedades físicas da madeira de cumaru de acordo com os oito tratamentos térmicos e a testemunha.

Tabela 6.1. Valores médios das propriedades físicas da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	Dap (g/cm ³)	Db (g/cm ³)	PM (%)	TA (%)	ER (%)
TESTEMUNHA	1,020 (0,038)	0,863 (0,034)		5,50 (0,31)	
T1 (estufa) 180°C 30min	0,994 (0,043)	0,854 (0,029)	0,50 (0,06)	3,58* (0,30)	34,89
T2 (estufa) 200°C 30min	1,007 (0,028)	0,86 (0,028)	5,25 (0,85)	2,40* (0,27)	56,45
T3 (estufa) 180°C 60min	1,006 (0,039)	0,869 (0,025)	5,00 (0,79)	2,65* (0,24)	51,81
T4 (estufa) 200°C 60min	0,997 (0,032)	0,877 (0,024)	6,25 (0,65)	1,70* (0,20)	69,24
T5 (prensa) 180°C 30min	0,996 (0,013)	0,874 (0,012)	8,12 (0,64)	1,53* (0,17)	72,11
T6 (prensa) 200°C 30min	0,964* (0,033)	0,873 (0,033)	10,67 (1,14)	1,36* (0,18)	75,19
T7 (prensa) 180°C 60min	0,966* (0,036)	0,862 (0,026)	9,58 (0,81)	1,38* (0,12)	74,99
T8 (prensa) 200°C 60 min	0,949* (0,031)	0,868 (0,022)	12,49 (1,42)	1,46* (0,15)	73,47

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; ER = efetividade de repelência à água.

A densidade básica encontrada para a madeira de cumaru in natura foi de 0,863 g/cm³ e a densidade aparente a 12% de 1,020 g/cm³ de acordo com a Tabela 6.1. Segundo Chichignoud et al. (1990) essa espécie apresenta densidade aparente a 12% de 1,070 g/cm³ (considerada muito pesada). De acordo com o IBDF (1983) sua densidade básica é de 0,910 g/cm³, e o IPT (2013) cita os valores para a madeira de densidade aparente a 15% de umidade de 1,090 g/cm³ e básica de 0,908 g/cm³. Dessa forma, o estudo apresentou valores semelhantes aos da literatura e corrobora com a constatação da elevada densidade da madeira da espécie.

Em comparação à testemunha, os tratamentos térmicos não apresentaram variação significativa de densidade básica. Em relação à densidade aparente, os tratamentos com a prensa em temperatura de 200°C (T6 e T8) ou a 180 °C no tempo de 60 minutos (T7) apresentaram redução estatisticamente significativa. A densidade constitui uma das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira (MORESCHI, 2012).

Hill (2006) explicando os fatores que influenciam os tratamentos térmicos analisa que a densidade não apresenta alteração nos casos em que a variação da massa e de volume acontecem de maneira semelhante, pois tal propriedade é descrita, em relação ao seu conceito físico, exatamente como a quantidade de massa contida por unidade de volume. Tal preceito fundamenta a ausência de alteração da propriedade (densidade básica) em relação aos tratamentos térmicos estudados.

Brito et al. (2006), assim como neste estudo, não detectaram alteração significativa na densidade básica da madeira de eucalipto tratada termicamente. Ferreira et al. (2019) trataram termicamente a madeira de angelim pedra utilizando as temperaturas de 180°C e 200°C com tempos de exposição variando de 2 a 4 horas em estufa com circulação forçada de ar e da mesma forma não obtiveram significativa redução na densidade da madeira tratada.

Freitas et al. (2017) analisaram o comportamento madeira de *Eucalyptus grandis* em tratamento hidrotérmico, em um reator Parr, e de congelamento, em um freezer doméstico, nas temperaturas de -20, 60 e 100°C durante 5, 10 e 15 horas. Os autores

relatam que não houve alteração significativa na densidade aparente da espécie para os tratamentos realizados em relação à testemunha. Para este estudo, a prensa usada a temperaturas mais elevadas ou em tempo mais prolongado, mesmo em temperatura menor, aparenta ter influenciado no valor da densidade aparente.

A taxa de absorção de água (TA) para todos os tratamentos térmicos em relação à testemunha apresentou redução estatisticamente significativa, mostrando que todos os tratamentos foram eficientes em reduzir a capacidade da madeira de cumaru em absorver água, que passou de uma absorção média de 5,50% a valores de até 1,35%, com redução média de até 4,14%.

De acordo com Juízo et al. (2018) a redução na taxa de absorção de água evidencia a degradação das moléculas de hemicelulose. Esses autores trataram termicamente a madeira de *Eucalyptus* sp. em forno cerâmico a 180°C, 210°C e 240°C durante 2 e 4 horas e para todos os tratamentos obtiveram redução expressiva na taxa de absorção de água (em média de 6% em relação à testemunha).

Quanto à efetividade de repelência à água (ER), os resultados evidenciam que os tratamentos foram eficazes, corroborando com os resultados encontrados para a taxa de absorção. Resultados sobre a mesma propriedade encontrados por Modes (2010) sugerem que os tratamentos térmicos contribuem para o aumento na estabilidade dimensional da madeira.

As Tabela 6.2 e 6.3 mostram os valores médios de outras propriedades físicas da madeira de cumaru não tratada e tratada termicamente.

Tabela 6.2. Valores médios das propriedades físicas da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	It (%)	Ir (%)	CI (%)	EA (%)	CAi
TESTEMUNHA	1,46 (0,12)	0,84 (0,09)	1,74 (0,22)		1,76 (0,20)
T1 (estufa) 180°C 30min	0,83* (0,04)	0,65* (0,05)	1,57* (0,16)	10,21	1,29* (0,15)
T2 (estufa) 200°C 30min	0,55* (0,04)	0,50* (0,03)	1,48* (0,08)	14,89	1,09* (0,06)
T3 (estufa) 180°C 60min	0,47* (0,05)	0,36* (0,03)	1,52* (0,05)	12,63	1,29* (0,14)
T4 (estufa) 200°C 60min	0,36* (0,02)	0,30* (0,03)	1,39* (0,01)	20,01	1,20* (0,15)

T5 (prensa)	0,45*	0,35*	1,29*	25,91	1,28*
180°C 30min	(0,03)	(0,03)	(0,01)		(0,16)
T6 (prensa)	0,36*	0,33*	1,21*	30,33	1,09*
200°C 30min	(0,02)	(0,02)	(0,07)		(0,08)
T7 (prensa)	0,25*	0,22*	1,27*	27,25	1,15*
180°C 60min	(0,02)	(0,02)	(0,02)		(0,16)
T8 (prensa)	0,26*	0,24*	1,23*	31,53	1,08*
200°C 60 min	(0,01)	(0,01)	(0,04)		(0,05)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; EA = eficiência anti-inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento.

O inchamento tangencial, radial, o coeficiente de inchamento (que se trata do inchamento volumétrico ou total) e o coeficiente de anisotropia de inchamento foram reduzidos de forma significativa em todos os tratamentos térmicos para a madeira de cumaru de acordo com a Tabela 6.2. Esses valores representam importante efeito do tratamento térmico na estabilização dimensional da espécie. Tais resultados corroboram com a diminuição da taxa de absorção de água e se refletem na eficiência anti-inchamento, que apresentou índices mais elevados para a madeira tratada e indicam a eficiência de todos os tratamentos térmicos.

Pertuzzatti et al. (2015) trataram termicamente a madeira de canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium*) em estufa laboratorial em temperaturas entre 130 e 210°C por 3 horas. Os autores verificaram eficiência anti-inchamento de 7,65% para o ensaio mais brando (130°C), 25,79% para o ensaio a 180°C e 45,23% para o ensaio a 210°C, efeito similar ao encontrado nesse estudo, com tendência de elevação da eficiência anti-inchamento nos tratamentos mais severos.

A retração e o inchamento da madeira, de acordo com Barbosa (2011), determinam a estabilidade dimensional da madeira, de forma que sua redução é uma das propriedades mais importantes no estudo do tratamento térmico da madeira.

A Tabela 6.3 apresenta os valores das retratibilidades e do seu coeficiente de anisotropia da madeira de cumaru.

Tabela 6.3. Valores médios das propriedades físicas da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	Rt (%)	Rr (%)	RI (%)	Rv (%)	CAR
TESTEMUNHA	5,93 (0,40)	4,69 (0,37)	0,17 (0,10)	10,8 (0,62)	1,27 (0,13)
T1 (estufa) 180°C 30min	5,99 (0,58)	4,71 (0,46)	0,22 (0,13)	10,93 (0,98)	1,27 (0,13)
T2 (estufa) 200°C 30min	6,04 (0,57)	4,97 (0,49)	0,2 (0,15)	11,2 (0,97)	1,22 (0,11)
T3 (estufa) 180°C 60min	5,79 (0,68)	4,55 (0,55)	0,12 (0,06)	10,47 (1,13)	1,27 (0,11)
T4 (estufa) 200°C 60min	5,35 (0,47)	4,14 (0,51)	0,11 (0,06)	9,60* (0,90)	1,30 (0,11)
T5 (prensa) 180°C 30min	5,52 (0,55)	4,37 (0,42)	0,09 (0,06)	9,99 (0,92)	1,27 (0,09)
T6 (prensa) 200°C 30min	4,56* (0,59)	3,63* (0,60)	0,12 (0,11)	8,31* (1,06)	1,21 (0,14)
T7 (prensa) 180°C 60min	4,63* (0,47)	3,84* (0,43)	0,09 (0,06)	8,56* (0,75)	1,22 (0,15)
T8 (prensa) 200°C 60 min	3,34* (0,29)	2,78* (0,49)	0,08 (0,06)	6,20* (0,69)	1,26 (0,19)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; RI = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAR = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

Os valores encontrados para a madeira não tratada neste estudo foram de 5,93%, 4,69% e 10,80% para as retratibilidades tangencial, radial e volumétrica, respectivamente, de acordo com a Tabela 5.3. Chichignoud et al. (1990) relatam para a madeira de cumaru valores de retratibilidade tangencial de 7,9% e radial de 5,5%. O IBDF (1983) apresenta valores de retratibilidade tangencial de 8,3% e radial de 5,8%. O IPT (2013) cita os valores de retratibilidade tangencial de 8,2%, radial de 5,3% e volumétrica de 13,6%, superiores às encontradas neste estudo.

A retração tangencial da madeira é importante na sua aplicação em movelaria ao indicar a orientação das rachaduras e vãos que podem ocorrer entre as peças de madeira do móvel e que prejudicam os encaixes e nesse sentido ainda mais importante na construção civil (LOPES et al., 2011).

De acordo com os valores da Tabela 6.3 os tratamentos em estufa e o mais ameno na prensa (T5) não exerceram alteração significativa dessa propriedade em relação à

testemunha. Os tratamentos com a prensa em temperatura de 200°C por 30 e 60 minutos e a 180°C por 60 minutos apresentaram expressiva redução (T6, T7 e T8).

As retratibilidades radial e volumétrica seguiram o mesmo comportamento da tangencial. No entanto, a volumétrica incluiu alteração expressiva no tratamento em estufa mais agressivo (200°C e 60 minutos). Não foi verificada alteração estatística significativa para o coeficiente de anisotropia de retratibilidade entre a testemunha e a madeira tratada para a espécie.

A Tabela 6.4 mostra o efeito isolado das variáveis tempo em temperatura em relação à estufa e a Tabela 5.5 em relação à prensa para as propriedades físicas da madeira de cumaru.

Tabela 6.4. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades físicas da madeira de cumaru.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
Dap (g/cm ³)	1,000 a	1,001 a	0,999 a	1,001 a
Db (g/cm ³)	0,857 a	0,873 a	0,861 a	0,869 a
PM (%)	2,87 a	5,62 b	2,75 a	5,75 b
TA (%)	2,99 a	2,17 b	3,11 a	2,04 b
It (%)	0,69 a	0,41 b	0,65 a	0,45 b
Ir (%)	0,57 a	0,33 b	0,50 a	0,40 b
CI (%)	1,52 a	1,46 b	1,54 a	1,44 b
CAi	1,19 a	1,25 a	1,29 a	1,14 b
Rt (%)	6,01 a	5,57 b	5,89 a	5,69 a
Rr (%)	4,84 a	4,35 b	4,63 a	4,55 a
RI (%)	0,21 a	0,11 b	0,17 a	0,15 a
Rv (%)	11,06 a	10,03 b	10,70 a	10,40 a
CAR	1,24 a	1,28 a	1,27 a	1,26 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura) não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento; Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; RI = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAR = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

Tabela 6.5. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades físicas da madeira de cumaru.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
Dap (g/cm ³)	0,980 a	0,960 b	0,981 a	0,956 b
Db (g/cm ³)	0,873 a	0,865 a	0,868 a	0,870 a
PM (%)	9,40 a	11,04 b	8,86 a	11,58 b

TA (%)	1,45 a	1,42 a	1,46 a	1,41 a
It (%)	0,40 a	0,26 b	0,35 a	0,31 b
Ir (%)	0,34 a	0,23 b	0,28 a	0,28 a
CI (%)	1,25 a	1,25 a	1,28 a	1,23 b
CAi	1,19 a	1,12 a	1,22 a	1,09 b
Rt (%)	5,04 a	3,99 b	5,08 a	3,95 b
Rr (%)	4,00 a	3,31 b	4,10 a	3,21 b
RI (%)	0,11 a	0,09 a	0,10 a	0,11 a
Rv (%)	9,15 a	7,39 b	9,28 a	7,26 b
CAr	1,27 a	1,22 a	1,24 a	1,25 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura) não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento; Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; RI = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAr = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

A temperatura e o tempo não tiveram efeito significativo na alteração da densidade da espécie na estufa. Para a perda de massa, taxa de absorção de água, inchamentos e retrações tanto o tempo quanto a temperatura foram significativos na alteração de seus valores. O coeficiente de anisotropia de retratibilidade não teve efeito isolado do tempo e da temperatura e o coeficiente de anisotropia de inchamento não teve mudança significativa com alteração do tempo, mas teve com acréscimo da temperatura.

Para a prensa, os tratamentos tiveram resultados um pouco diferentes. Para as densidades, as variáveis tempo e temperatura afetaram a densidade aparente, perda de massa, inchamentos e retrações. No entanto, as variáveis não alteraram a densidade básica, a taxa de absorção de água e o coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

Constata-se, dessa forma, que tanto para a estufa como para a prensa, a maioria das propriedades físicas foi afetada isoladamente pelo tempo e isoladamente pela temperatura, de forma que as duas variáveis interferem no tratamento térmico para a madeira de cumaru.

Borges e Quirino (2004) relatam que a espécie *Pinus caribaea* tratada termicamente em estufa a temperaturas de 120°C, 140°C, 160°C e 180°C apresentaram redução mais expressiva da absorção de água com as temperaturas mais elevadas, corroborando com esse estudo para o cumaru tratado em estufa, que apresentou valores comparativamente menores de taxa de absorção de água para a temperatura mais elevada (de 3,11% a 180°C e 2,04% a 200°C).

Jänsä e Viitaniemi (1999) afirmam ser a temperatura o fator de maior influência na contração da madeira em relação ao tratamento térmico. Galvão e Jankowsky (1985), entretanto, salientam que o tempo também tem efeito direto e expressivo na secagem e tratamento térmico da madeira, não sendo a temperatura a variável necessariamente de mais expressiva influência. Para a madeira de cumaru, esse estudo corrobora com os últimos autores, de forma que não se pode afirmar que uma variável afetou mais em relação à outra nos tratamentos realizados.

Zablonsky et al. (2017), assim como nesse estudo, tratando termicamente a madeira de *Pinus* sp. com óleo de soja a temperaturas de 80°C e 160°C com tempo de 20 e 40 minutos, afirmam que tanto a alteração do tempo como a da temperatura tiveram efeito significativo na alteração das propriedades físicas de variação dimensional e densidade.

A Tabela 6.6 apresenta a comparação dos equipamentos em relação às propriedades físicas e identifica claramente que os equipamentos têm preponderante influência nessas propriedades da madeira termicamente tratada de cumaru. As únicas propriedades que não foram alteradas de forma significativa entre a estufa e a prensa foram o coeficiente de anisotropia de retratibilidade e a densidade básica.

Esses resultados são importante evidência de que especificamente o equipamento utilizado no ensaio altera os resultados obtidos, de forma que a escolha da maneira de aquecer a madeira – e não apenas as variáveis de temperatura e tempo – representa significativa influência nas propriedades físicas para a espécie.

Tabela 6.6. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades físicas da madeira de cumaru.

	Estufa	Prensa
Dap (g/cm ³)	1,000 a	0,968 b
Db (g/cm ³)	0,865 a	0,869 a
PM (%)	4,25 a	10,22 b
TA (%)	2,58 a	1,43 b
It (%)	0,55 a	0,33 b
Ir (%)	0,46 a	0,29 b
Cl (%)	1,49 a	1,25 b
Cai	1,22 a	1,15 b
Rt (%)	5,79 a	4,51 b
Rr (%)	4,60 a	3,66 b
Rl (%)	0,17 a	0,10 b

Rv (%)	10,55 a	8,27 b
CAR	1,27 a	1,24 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento; Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; Rl = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAR = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

A Tabela 6.7 apresenta os valores médios dos módulos de elasticidade dinâmicos obtidos para a madeira de cumaru.

Tabela 6.7. Valores médios dos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	VU (m/s)	MOEdu (MPa)	VS (m/s)	MOEds (MPa)
TESTEMUNHA	5.475,34 (199,41)	30.598,76 (2.516)	4.470,54 (210,89)	20.383,77 (1.692)
T1 (estufa) 180°C 30min	5.469,07 (221,10)	30.364,05 (2.940)	4.605,91 (211,11)	21.537,90 (2.213)
T2 (estufa) 200°C 30min	5.284,46 (309,72)	28.221,11 (2.959)	4.372,37 (322,93)	19.353,57 (2.634)
T3 (estufa) 180°C 60min	5.356,31 (209,51)	29.426,64 (3.013)	4.407,42 (226,52)	19.889,29 (1.871)
T4 (estufa) 200°C 60min	5.524,53 (217,13)	30.013,82 (2.807)	4.735,98 (195,04)	22.061,46 (2.173)
T5 (prensa) 180°C 30min	5.431,17 (275,36)	29.068,04 (3.443)	4.559,53 (249,39)	20.480,39 (2.488)
T6 (prensa) 200°C 30min	5.587,32 (185,98)	29.945,48 (2.732)	4.537,48 (127,60)	19.724,71 (1.362)
T7 (prensa) 180°C 60min	5.479,47 (199,53)	28.846,5 (2.823)	4.554,62 (154,35)	19.907,39 (1.588)
T8 (prensa) 200°C 60 min	5.352,97 (247,67)	27.468,83 (2.766)	4.425,02 (261,99)	18.785,90 (2.254)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

Paula et al. (2016) encontraram valores médios de velocidade no ultrassom de 4.931 m/s e para o stress wave de 4.125 m/s para a madeira de cumaru. Os autores encontraram para o módulo de elasticidade dinâmico os valores de 26.242 MPa para o ultrassom e 18.349 MPa para o stress wave para a mesma espécie. Viana et al. (2018) encontraram velocidade de 4.116 m/s utilizando o stress wave e módulo de elasticidade

dinâmico de 16.181 MPa. Valores superiores foram encontrados nesse estudo para a madeira não tratada, de acordo com a Tabela 6.7.

As velocidades no ultrassom e stress wave e conseqüentemente os módulos de elasticidade dinâmico não tiveram diferença significativa entre a testemunha e os tratamentos térmicos para a madeira de cumaru. Esse resultado é excelente e evidencia que os tratamentos não apresentaram perda da propriedade mecânica em análise, como constatado em alguns estudos na literatura.

Batista (2012) afirma que os pesquisadores têm utilizado notadamente os módulos de elasticidade para analisar o efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira, sendo estas, de fato, as principais propriedades avaliadas para a madeira e seus derivados em geral.

Juizo et al. (2018) submetendo a madeira de eucalipto ao tratamento térmico em um forno com sistema fechado em temperaturas e tempos de exposição que variaram de 180 a 240°C e 2 e 4 horas verificaram melhora nas propriedades de resistência, de forma que houve um aumento do módulo de elasticidade e diminuição nas propriedades de rigidez e tensão em dureza Janka.

Ferreita et al. (2019) modificando termicamente a madeira de angelim pedra utilizando as temperaturas de 180°C e 200°C com tempos de exposição variando de 2 a 4 horas encontraram resultados diferentes dos autores supracitados e iguais a esse estudo para a madeira de cumaru, de forma que não verificaram alterações para as propriedades mecânicas.

Korkut e Hiziroglu (2019) analisaram as propriedades mecânicas da madeira de *Corylus colurna* tratada termicamente nas temperaturas de 120, 150 e 180°C com intervalos de tempo de 2, 6 e 10 horas. Obtiveram como resultado a redução significativa do módulo de elasticidade na flexão estática.

Resultados dos estudos que demonstram o efeito da temperatura nas propriedades mecânicas da madeira podem ser contraditórios, notadamente no que diz respeito aos benefícios ou prejuízos causados pela temperatura. Essa divergência nos resultados está relacionada principalmente às diferentes formas de condução dos tratamentos (AZEVEDO e QUIRINO, 2006).

De acordo com Esteves et al. (2008) a degradação térmica da hemicelulose conduz a madeira à estabilização dimensional, por diminuir sua higroscopicidade. Os autores ponderam que esse benefício, entretanto, é acompanhado por uma significativa redução no módulo de resistência à flexão, sendo o módulo de elasticidade e a resistência à compressão menos afetados devido à pequena degradação da celulose e da lignina. Os resultados desse estudo para a madeira de cumaru não apresentaram efeitos significativos na alteração dos módulos de elasticidade dinâmicos, contrariando tal explicação.

A Tabela 6.8 apresenta o efeito das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa para os módulos de elasticidade dinâmicos. A Tabela 5.9 faz análise análoga para a prensa.

Tabela 6.8. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de cumaru.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
VU (m/s)	5.376,77 a	5.440,42 a	5.412,69 a	5.404,50 a
MOEdu (MPa)	29.292,58 a	29.720,23 a	29.895,34 a	29.117,47 a
VS (m/s)	4.489,14 a	4.571,7 a	4.506,66 a	4.554,17 a
MOEds (MPa)	20.445,74 a	20.975,38 a	20.713,59 a	20.707,51 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

Tabela 6.9. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de cumaru.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
VU (m/s)	5.509,24 a	5.416,21 a	5.455,31 a	5.470,15 a
MOEdu (MPa)	29.506,76 a	28.157,67 a	28.957,27 a	28.707,16 a
VS (m/s)	4.548,51 a	4.489,82 a	4.557,07 a	4.481,25 a
MOEds (MPa)	20.102,55 a	19.346,65 a	20.193,89 a	19.255,31 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

De acordo com os valores apresentados nas Tabelas 6.8 e 6.9 não houve diferença significativa com a alteração do tempo e da temperatura tanto para a estufa quanto para a prensa. Dessa forma, os resultados deste estudo sugerem que nem o tempo e nem a temperatura alteraram significativamente as propriedades mecânicas analisadas para a

madeira de cumaru. Kocaefe et al. (2010) frisa, de forma divergente, que a diminuição da resistência mecânica depende das variáveis utilizadas no processo, principalmente a temperatura máxima, o tempo de tratamento, a taxa de aquecimento e o meio de transferência de calor.

A Tabela 6.10 apresenta o efeito dos equipamentos na propriedade módulo de elasticidade (ultrassom e stress wave) da madeira de cumaru e sustenta os resultados anteriores, de forma que os tratamentos não alteraram os módulos de elasticidade dinâmica da madeira de cumaru em nenhum tratamento realizado.

Tabela 6.10. Efeito isolado dos equipamentos nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de cumaru.

	Estufa	Prensa
VU (m/s)	5.408,59 a	5.462,73 a
MOEdu (MPa)	29.506,40 a	28.832,21 a
VS (m/s)	4.530,42 a	4.519,16 a
MOEds (MPa)	20.710,55 a	19.724,60 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

6.1.2 Maçaranduba

As Tabelas 6.11, 6.12 e 6.13 apresentam os valores médios das propriedades físicas da madeira de maçaranduba não tratada (testemunha) e tratada termicamente.

Tabela 6.11. Valores médios das propriedades físicas da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	Dap (g/cm ³)	Db (g/cm ³)	PM (%)	TA (%)	ER (%)
TESTEMUNHA	1,061 (0,04)	0,876 (0,03)	-	11,57 (1,03)	
T1 (estufa) 180°C 30min	1,014 (0,06)	0,840 (0,04)	2,03 (0,38)	10,67 (1,31)	7,80
T2 (estufa) 200°C 30min	1,024 (0,04)	0,863 (0,04)	5,39 (1,02)	10,61 (0,48)	8,32
T3 (estufa) 180°C 60min	1,008* (0,03)	0,853 (0,03)	5,15 (0,90)	10,57 (0,88)	8,69
T4 (estufa) 200°C 60min	0,960* (0,02)	0,816* (0,01)	7,62 (0,80)	10,60 (0,33)	8,42
T5 (prensa) 180°C 30min	0,954* (0,03)	0,822* (0,03)	10,94 (1,42)	8,82* (1,07)	23,71
T6 (prensa) 200°C 30min	0,913* (0,04)	0,807* (0,03)	14,71 (2,16)	6,70* (0,76)	42,10

T7 (prensa)	0,915*	0,802*	12,26	8,05*	30,37
180°C 60min	(0,03)	(0,02)	(0,76)	(0,79)	
T8 (prensa)	0,882*	0,789*	16,06	5,96*	48,46
200°C 60 min	(0,03)	(0,02)	(1,66)	(0,57)	

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; ER = efetividade de repelência à água.

A densidade aparente média encontrada para a madeira de maçaranduba não tratada foi de 1,061 g/cm³. Corroboram com o encontrado Souza et al. (2002), IBAMA (2005) e Rosa et al. (2014), que relatam os valores de densidade aparente a 12% de 1,000 a 1,070 g/cm³ para a *Manilkara* sp. Lopes et al. (2014) encontraram densidade básica similar à do estudo para a madeira não tratada, de 0,870 g/cm³.

A densidade aparente da madeira de maçaranduba não apresentou diferença significativa entre os tratamentos em estufa de 30 minutos a 180°C e 200°C, tendo redução significativa para os demais tratamentos. Para a densidade básica, os tratamentos térmicos em estufa não alteraram significativamente a propriedade para a espécie, exceto o tratamento T4 (200° e 60 minutos).

Os ensaios realizados na prensa apresentaram resultados diferentes, em que para todos os tratamentos a densidade aparente e a básica sofreram redução significativa. Para esse equipamento, a densidade básica chegou a diminuir 16,87% no tratamento à 200°C e 60 minutos.

A taxa de absorção de água (TA) não apresentou redução significativa entre a testemunha e os tratamentos realizados na estufa para a espécie, de acordo com a Tabela 5.11. De forma diferente, a prensa teve resultados de taxa de absorção reduzidos de forma significativa em todos os tratamentos estudados.

Os valores de taxa de absorção de água e de efetividade de repelência à água sugerem que os tratamentos na prensa foram eficientes em reduzir a permutação da madeira com a água e sua higroscopicidade, principalmente à temperatura de 200°C, com aumento relativo de repelência à água de 42,10% a 48,46%.

Pertuzzatti et al. (2015) trataram termicamente a madeira de *T. rubrivinium* em estufa laboratorial em temperaturas que variaram de 130°C a 210°C e observaram

tendência de maior eficiência à repelência de água com o acréscimo da temperatura, relatando valores de 10,60% a 130°C e 70,62% a 210°C

A perda de massa da madeira após o tratamento térmico está relacionada com a decomposição dos constituintes químicos, principalmente as hemiceluloses (HILL, 2006). Valores mais elevados de perda de massa para a prensa ocorreram, principalmente nos tratamentos a 200°C.

Tabela 6.12. Valores médios das propriedades físicas da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	It (%)	Ir (%)	CI (%)	EA (%)	CAi
TESTEMUNHA	6,62 (0,19)	3,60 (0,29)	6,96 (0,75)		1,85 (0,14)
T1 (estufa) 180°C 30min	4,51* (0,32)	2,55* (0,34)	6,67 (1,09)	4,05	1,79 (0,23)
T2 (estufa) 200°C 30min	3,81* (0,35)	2,44* (0,28)	6,43 (0,99)	7,54	1,57* (0,23)
T3 (estufa) 180°C 60min	4,45* (0,24)	2,76* (0,22)	6,44 (1,01)	7,39	1,62 (0,15)
T4 (estufa) 200°C 60min	3,70* (0,30)	2,40* (0,22)	6,44 (0,27)	7,36	1,55* (0,15)
T5 (prensa) 180°C 30min	3,29* (0,23)	1,96* (0,17)	5,87 (1,08)	15,55	1,69 (0,26)
T6 (prensa) 200°C 30min	2,47* (0,23)	1,48* (0,23)	4,72* (1,20)	32,18	1,69 (0,25)
T7 (prensa) 180°C 60min	2,58* (0,32)	1,74* (0,23)	5,15* (1,00)	25,99	1,49* (0,16)
T8 (prensa) 200°C 60 min	2,22* (0,15)	1,52* (0,22)	4,75* (0,44)	31,73	1,48* (0,20)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; EA = eficiência anti-inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento.

Lopes et al. (2014) relataram para a madeira de maçaranduba valores de inchamento tangencial de 9,43% e radial de 7,19%, superiores aos encontrados nesse estudo para a madeira não tratada (6,62% e 3,60%, respectivamente).

Em relação ao inchamento tangencial e radial, todos os tratamentos reduziram significativamente esta propriedade em relação à testemunha (Tabela 6.12). O coeficiente de inchamento (CI), diferentemente, só sofreu alteração significativa na prensa para os tratamentos na prensa T6, T7 e T8. O coeficiente de anisotropia de inchamento (CAi) teve

alterações significativas nos tratamentos a 200°C na estufa (T2 e T4) e a 60 minutos na prensa (T7 e T8).

A eficiência anti-inchamento (EA) apresentou valores expressivamente maiores para a prensa, principalmente à temperatura de 200°C, de forma que sustenta a análise da taxa de absorção e repelência à água de que os ensaios na prensa foram os mais eficientes na redução da higroscopicidade da espécie de maçaranduba.

Tabela 6.13. Valores médios das propriedades físicas da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	Rt (%)	Rr (%)	Rl (%)	Rv (%)	C _{Ar}
TESTEMUNHA	8,51 (1,21)	5,68 (0,49)	0,16 (0,10)	14,35 (1,46)	1,50 (0,19)
T1 (estufa) 180°C 30min	8,22 (1,12)	6,11 (0,85)	0,28 (0,22)	14,61 (1,88)	1,34 (0,13)
T2 (estufa) 200°C 30min	7,28* (0,85)	5,79 (0,70)	0,16 (0,12)	13,22 (1,41)	1,26* (0,14)
T3 (estufa) 180°C 60min	7,74 (1,01)	5,69 (0,76)	0,20 (0,13)	13,64 (1,57)	1,37 (0,18)
T4 (estufa) 200°C 60min	7,29* (0,90)	5,74 (0,44)	0,18 (0,13)	13,20 (1,03)	1,27* (0,16)
T5 (prensa) 180°C 30min	5,63* (0,83)	5,49 (0,73)	0,23 (0,24)	11,33* (1,23)	1,02* (0,12)
T6 (prensa) 200°C 30min	4,57* (0,89)	4,51* (0,71)	0,13 (0,09)	9,18* (1,60)	1,00* (0,05)
T7 (prensa) 180°C 60min	5,41* (0,36)	4,57* (0,34)	0,08 (0,10)	10,02* (0,55)	1,19* (0,12)
T8 (prensa) 200°C 60 min	4,40* (0,78)	3,60* (0,53)	0,29 (0,17)	8,20* (1,23)	1,22* (0,14)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; Rl = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; C_{Ar} = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

Ribeiro et al. (2017) encontraram valores de retratibilidade tangencial de 10,22%, radial de 6,72%, volumétrica de 16,76% e coeficiente de anisotropia de 1,58 para a madeira de maçaranduba. Valores inferiores foram encontrados neste estudo para essa espécie quando termicamente tratada (Tabela 6.13).

As retratibilidades volumétrica, radial e tangencial não apresentaram variação significativa nos tratamentos em estufa. A retratibilidade tangencial e o coeficiente de

anisotropia apresentaram redução significativa em estufa apenas na temperatura de 200°C (por 30 e 60 minutos).

Para a prensa, as retratibilidades tangencial, radial e volumétrica e o coeficiente de anisotropia apresentaram redução significativa em todos os tratamentos, exceto para o tratamento T5 (180° e 30 minutos) para a retratibilidade radial. Em relação à retratibilidade longitudinal, não existiu variação significativa para nenhum dos tratamentos. De uma forma geral, os tratamentos na prensa mostraram tendência de maior diminuição para estas propriedades físicas estudadas (Tabela 6.13) para a espécie.

A Tabela 6.14 apresenta o efeito das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa para as propriedades físicas da madeira de maçaranduba. A Tabela 5.15 faz análise análoga para a prensa.

Tabela 6.14. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades físicas da madeira da maçaranduba.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
Dap (g/cm ³)	1,018 a	0,983 b	1,010 a	0,992 a
Db (g/cm ³)	0,851 a	0,835 a	0,846 a	0,839 a
PM (%)	3,71 a	6,38 b	3,58 a	6,50 b
TA (%)	10,64 a	10,58 a	10,61 a	10,60 a
It (%)	4,16 a	4,08 a	4,48 a	3,75 b
Ir (%)	2,49 a	2,58 a	2,65 a	2,42 b
CI (%)	6,55 a	6,44 a	6,56 a	6,44 a
CAi	1,68 a	1,58 a	1,70 a	1,56 b
Rt (%)	7,75 a	7,51 a	7,98 a	7,28 b
Rr (%)	5,95 a	5,72 a	5,90 a	5,77 a
RI (%)	0,22 a	0,19 a	0,23 a	0,17 a
Rv (%)	13,92 a	13,42 a	14,12 a	13,21 a
CAR	1,30 a	1,32 a	1,36 a	1,26 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento; Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; RI = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAR = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

Tabela 6.15. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades físicas da madeira de maçaranduba.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
Dap (g/cm ³)	0,933 a	0,898 b	0,934 a	0,897 b
Db (g/cm ³)	0,815 a	0,795 b	0,811 a	0,798 a
PM (%)	12,82 a	14,16 b	11,60 a	15,38 b
TA (%)	7,76 a	7,01 b	8,44 a	6,33 b
It (%)	2,88 a	2,40 b	2,94 a	2,35 b
Ir (%)	1,72 a	1,63 a	1,85 a	1,50 b
CI (%)	5,29 a	4,95 a	5,51 a	4,73 b
CAi	1,69 a	1,49 b	1,59 a	1,59 a
Rt (%)	5,10 a	4,91 b	5,52 a	4,48 b
Rr (%)	5,00 a	4,08 b	5,03 a	4,06 b
RI (%)	0,17 a	0,18 a	0,15 a	0,20 a
Rv (%)	10,26 a	9,11 b	10,68 a	8,69 b
CAR	1,01 a	1,20 b	1,11 a	1,11 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento; Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; RI = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAR = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 6.14, em relação à estufa, apenas a densidade aparente e a perda de massa apresentaram efeito significativo da alteração do tempo de ensaio. A temperatura teve efeito na perda de massa, inchamentos tangencial e radial, coeficiente de anisotropia de inchamento e retratibilidade tangencial. De forma geral, a temperatura parece ter afetado de forma mais consistente as propriedades físicas estudadas para a madeira de maçaranduba.

A prensa apresentou resultados distintos (Tabela 6.15). A alteração do tempo de ensaio influenciou significativamente quase todas as propriedades físicas (com exceção do inchamento radial, do coeficiente de inchamento e da retração longitudinal). A temperatura também apresentou efeito relativo expressivo em quase todas as propriedades físicas - com exceção da densidade básica, coeficientes de anisotropia e retratibilidade longitudinal. Para esse equipamento, tempo e temperatura tiveram influência significativa em grande parte das propriedades físicas avaliadas.

A Tabela 6.16 apresenta o efeito isolado dos equipamentos utilizados – estufa e prensa – nas propriedades físicas da madeira de maçaranduba.

Tabela 6.16. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades físicas da madeira de maçaranduba.

	Estufa	Prensa
Dap (g/cm ³)	1,001 a	0,916 b
Db (g/cm ³)	0,843 a	0,805 b
PM (%)	5,04 a	13,49 b
TA (%)	10,61 a	7,38 b
It (%)	4,12 a	2,64 b
Ir (%)	2,54 a	1,68 b
CI (%)	6,50 a	5,12 b
CAi	1,63 a	1,59 a
Rt (%)	7,63 a	5,00 b
Rr (%)	5,83 a	4,54 b
RI (%)	0,20 a	0,18 a
Rv (%)	13,67 a	9,68 b
CAR	1,31 a	1,11 b

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento; Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; RI = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAR = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

Os dados do efeito isolado dos equipamentos sugerem que entre a estufa e a prensa existiu variação significativa para praticamente todas as propriedades físicas. Dessa forma, evidencia-se que para a espécie de maçaranduba o meio de ensaio utilizado, e conseqüentemente a forma de transferência de calor, afeta os resultados obtidos.

A Tabela 6.17 apresenta os valores médios dos módulos de elasticidade dinâmicos obtido para a madeira de maçaranduba tratada e não tratada.

Tabela 6.17. Valores médios dos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	VU (m/s)	MOEdu (MPa)	VS (m/s)	MOEds (MPa)
TESTEMUNHA	5.488,89 (340,67)	32.718,98 (3.966)	4.475,23 (317,03)	21.757,60 (2.899)
T1 (estufa) 180°C 30min	5.517,62 (261,68)	32.248,05 (3.514)	4.517,74 (189,36)	21.603,25 (2.110)
T2 (estufa) 200°C 30min	5.566,86 (111,772)	31.948,93 (1.573)	4.748,84 (156,24)	23.267,84 (1.653)
T3 (estufa) 180°C 60min	5.422,98 (341,810)	29.518,71 (3.929)	4.612,33 (320,52)	21.371,30 (3.132)
T4 (estufa) 200°C 60min	5.543,05 (408,03)	30.101,51 (5.218)	4.638,19 (336,30)	21.049,36 (3.410)

T5 (prensa)	5.589,36	30.513,96	4.726,06	21.795,16
180°C 30min	(418,78)	(5.221)	(333,70)	(3.480)
T6 (prensa)	5.571,50	29.067,23	4.551,27	19.455,90
200°C 30min	(389,00)	(4.410)	(384,77)	(3.462)
T7 (prensa)	5.722,16	30.828,90	4.928,24	22.848,28
180°C 60min	(360,33)	(4.382)	(280,14)	(2.932)
T8 (prensa)	5.301,00	24.971,90*	4.451,40	17.666,66*
200°C 60 min	(515,47)	(5.199)	(507,42)	(4.240)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

Rosa et al. (2014) relatam que a madeira de maçaranduba possui valores de módulo de elasticidade maiores que a maioria das espécies disponíveis para uso estrutural, como peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*), angelim pedra (*Hymenolobium* sp.), bacuri (*Platonia insignis*) e cedrinho (*Erisma uncinatum*). Tais autores relatam módulo de elasticidade pelo stress wave de 21.140 MPa, próximo ao encontrado para a madeira no estudo não tratada.

Mantilla et al. (2013) encontraram velocidade de propagação utilizando o ultrassom para a maçaranduba variando de 4.230 a 4.530 m/s. O valor encontrado para a madeira não tratada nesse estudo foi superior, de 5.488 m/s.

De acordo com os dados e a análise estatística realizada, nenhum tratamento térmico em estufa afetou significativamente os módulos de elasticidade dinâmicos da espécie. A prensa apresentou resultado semelhante, exceto para o tratamento a 200°C e 60 minutos, que apresentou significativa redução do módulo de elasticidade dinâmico em relação à testemunha.

Ferreira (2012) relata que os módulos de elasticidade dinâmico obtidos pelo ultrassom e pelo stress wave foram eficientes no acompanhamento da propriedade de elasticidade da madeira de maçaranduba quando submetida ao tratamento térmico entre as temperaturas de 180 e 220°C, tendo seus valores reduzidos em relação à testemunha.

Zhang e Yu (2013) tratando termicamente a espécie *P. pubescens* a 110 e 220°C durante 1, 2, 3 e 4 horas observaram ligeiro acréscimo do módulo de elasticidade à flexão estática quando a espécie foi tratada a 110°C e queda desta propriedade quando a

temperatura do tratamento foi de 220°C. Nesse estudo resultado similar foi observado com o uso do stress wave para a madeira de maçaranduba, que apesar de não ter apresentado valores estatisticamente diferentes, oscilou com ligeiro aumento para os tratamentos mais brandos e apresentou decréscimo para os ensaios mais severos, a 200°C.

De acordo com Tiemann (1906), precursor no estudo da relação entre a higroscopicidade e as propriedades mecânicas da madeira, tais propriedades são afetadas somente pela água de adesão ou de impregnação, uma vez que apenas a parede celular contribui efetivamente para a resistência. O autor defende que o aumento do conteúdo de umidade acima do ponto de saturação não influencia significativamente no módulo de elasticidade. Tal fundamentação corrobora com o encontrado nesse estudo, de que apesar dos tratamentos térmicos terem reduzido a absorção de água da espécie tratada, o módulo de elasticidade manteve-se, de uma forma geral, inalterado.

A Tabela 6.18 apresenta o efeito isolado das variáveis tempo e temperatura nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de maçaranduba tratadas em estufa. A Tabela 6.19 faz a mesma análise para a prensa.

Tabela 6.18. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de maçaranduba.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
VU (m/s)	5.542,23 a	5.483,014 a	5.470,30 a	5.554,95 a
MOEdu (MPa)	32.098,48 a	29.810,10 a	30.883,37 a	31.025,22 a
VS (m/s)	4.633,29 a	4.625,26 a	4.565,03 a	4.693,51 a
MOEds (MPa)	22.435,54 a	21.210,33 a	21.487,27 a	22.158,60 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

Tabela 6.19. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de maçaranduba.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
VU (m/s)	5.580,43 a	5.511,58 a	5.655,76 a	5.436,25 a
MOEdu (MPa)	29.790,59 a	27.900,01 a	30.671,42 a	27.019,17 b
VS (m/s)	4.638,66 a	4.689,82 a	4.827,15 a	4.501,33 b
MOEds (MPa)	20.625,52 a	20.257,46 a	22.321,72 a	18.561,27 b

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

De acordo com os dados observados, a madeira de maçaranduba não apresentou diferença significativa na variação do tempo e temperatura de ensaio para a estufa. Para a prensa, entretanto, apesar de o tempo de ensaio não ter tido efeito relevante, a temperatura apresentou efeito significativo na alteração do módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom e pelo stress wave. Valores menores para a variável foram encontrados com a elevação da temperatura de 180°C para 200°C.

A Tabela 6.20 apresenta os valores do efeito isolado dos equipamentos utilizados nos módulos de elasticidade dinâmicos.

Tabela 6.20. Efeito isolado dos equipamentos nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de maçaranduba.

	Estufa	Prensa
VU (m/s)	5.512,62 a	5.546,00 a
MOEdu (MPa)	30.954,29 a	28.845,30 b
VS (m/s)	4.629,27 a	4.664,24 a
MOEds (MPa)	21.822,93 a	20.441,49 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

De acordo com a análise, apenas o módulo de elasticidade dinâmico obtido com o ultrassom apresentou variação significativa entre a estufa e a prensa, sendo que as velocidades obtidas pelo ultrassom e stress wave e o módulo de elasticidade dinâmico obtido no stress wave não foram alterados com o uso de equipamentos diferentes.

6.1.3 Tauari

A Tabela 6.21 apresenta os valores médios das propriedades físicas da madeira de tauari testemunha e tratada termicamente.

Tabela 6.21. Valores médios das propriedades físicas da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	Dap (g/cm ³)	Db (g/cm ³)	PM (%)	TA (%)	ER (%)
TESTEMUNHA	0,790 (0,03)	0,640 (0,02)		28,62 1,63)	
T1 (estufa) 180°C 30min	0,796 (0,04)	0,644 (0,03)	3,04 (0,50)	26,21* (1,41)	8,41

T2 (estufa) 200°C 30min	0,763 (0,07)	0,630 (0,05)	3,69 (0,89)	25,02* (1,82)	12,55
T3 (estufa) 180°C 60min	0,755 (0,06)	0,627 (0,04)	3,45 (0,29)	26,60 (1,76)	7,03
T4 (estufa) 200°C 60min	0,75 (0,07)	0,621 (0,05)	4,28 (0,36)	27,00 (1,72)	5,65
T5 (prensa) 180°C 30min	0,728 (0,05)	0,609 (0,04)	6,47 (0,22)	25,53* (1,38)	10,77
T6 (prensa) 200°C 30min	0,745 (0,05)	0,628 (0,04)	10,01 (0,70)	22,95* (2,51)	19,77
T7 (prensa) 180°C 60min	0,736 (0,08)	0,630 (0,05)	8,17 (0,46)	24,65* (1,54)	13,85
T8 (prensa) 200°C 60 min	0,755 (0,05)	0,654 (0,04)	11,01 (2,02)	23,31* (1,95)	18,53

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; ER = efetividade de repelência à água.

A densidade aparente a 12% de teor de umidade encontrada para a madeira de *Couratari oblongifolia* (tauari) não tratada foi de 0,790 g/cm³ e a densidade básica de 0,640 g/cm³, de acordo com a Tabela 6.21. Garcia et al. (2012) relatam para a mesma espécie densidade aparente um pouco inferior, de 0,660 g/cm³. O IPT (2013) também relata densidades um pouco inferiores para a madeira da espécie, de 0,610 g/cm³ a 12% de teor de umidade e básica de 0,500 g/cm³. O tipo de amostragem, região na árvore de retirada das amostras, o número de árvores amostradas, além de técnicas de determinação das densidades, entre os trabalhos de literatura citados, pode ter influenciado nos resultados divergentes.

A madeira de tauari não apresentou alteração das densidades aparente e básica em nenhum dos tratamentos realizados. Outros estudos analisando o efeito do tratamento térmico na densidade da madeira relataram também não observar diferenças significativas da densidade entre as amostras tratadas e não tratadas (CALONEGO et al., 2012; MODES et al., 2013; DELUCIS et al., 2014). De acordo com Brito et al. (2006), esse resultado pode ser explicado nesses tratamentos por um aumento de temperatura que não provoca na madeira uma diminuição de massa proporcional à diminuição de volume.

A perda de massa foi superior nos tratamentos realizados na prensa e a temperaturas superiores, indicando o efeito da temperatura nos tratamentos. A taxa de

absorção de água foi reduzida significativamente nos tratamentos em estufa a 30 minutos e em todos os tratamentos na prensa. Delucis et al. (2014) tratando termicamente quatro espécies de eucalipto a 200°C durante 1 hora, da mesma forma observaram redução significativa da taxa de absorção de água em três das quatro espécies testadas.

Moura et al. (2012) comentam que a redução da absorção de água representa importante vantagem na comercialização, uma vez que diminui o peso da madeira, reduzindo os custos de transporte.

A efetividade de repelência à água também foi superior nos ensaios na prensa e em temperaturas superiores e representa critério importante na definição dos tratamentos mais eficientes.

Juizo et al. (2018) em tratamento térmico da madeira de eucalipto a temperaturas de 180°C a 240°C e diferentes tempos de exposição observaram, assim como nesse estudo, principalmente para a prensa, decréscimo significativo da taxa de absorção de água e aumento também significativo da perda de massa e da efetividade de repelência à água.

As Tabelas 6.22 e 6.23 apresentam propriedades físicas complementares determinadas neste estudo da madeira de tauari não tratada e tratada termicamente.

Tabela 6.22. Valores médios das propriedades físicas da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	It (%)	Ir (%)	CI (%)	EA (%)	CAi
TESTEMUNHA	7,17 (0,58)	4,53 (0,39)	12,16 (1,05)		1,59 (0,12)
T1 (estufa) 180°C 30min	6,17* (0,35)	4,26 (0,40)	11,15* (1,02)	8,26	1,46 (0,18)
T2 (estufa) 200°C 30min	6,08* (0,42)	4,36 (0,40)	11,11* (0,77)	8,63	1,40 (0,17)
T3 (estufa) 180°C 60min	6,51* (0,32)	4,26 (0,38)	10,92* (0,62)	10,21	1,54 (0,18)
T4 (estufa) 200°C 60min	5,80* (0,36)	4,30 (0,44)	10,48* (0,78)	13,77	1,36* (0,17)
T5 (prensa) 180°C 30min	5,76* (0,47)	4,45 (0,35)	10,89* (0,44)	10,43	1,29* (0,11)
T6 (prensa) 200°C 30min	5,09* (0,68)	3,75* (0,48)	9,51* (0,32)	21,79	1,37* (0,19)
T7 (prensa) 180°C 60min	5,36* (0,61)	3,60* (0,66)	10,12* (1,00)	16,78	1,39* (0,16)

T8 (prensa)	4,54*	3,58*	9,56*	21,38	1,26*
200°C 60 min	(0,55)	(0,20)	(1,00)		(0,15)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; EA = eficiência anti-inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento.

O inchamento tangencial (It), que entre os inchamentos lineares é o mais expressivo na configuração natural das madeiras, foi reduzido significativamente em todos os tratamentos térmicos em relação à testemunha. O coeficiente de inchamento (CI) teve o mesmo comportamento. Essas reduções são evidências importantes da redução da instabilidade dimensional da madeira tratada. Delucis et al. (2014) tratando termicamente quatro espécies de eucalipto a 200°C durante 1 hora observaram da mesma forma redução significativa do coeficiente de inchamento volumétrico.

O inchamento radial apresentou redução significativa nos tratamentos na prensa a 200°C e 30 minutos (T6), 180°C e 30 minutos (T7) e 200°C e 60 minutos (T8). O coeficiente de anisotropia de inchamento (CAi) reduziu significativamente no tratamento na estufa (T4) a 200°C e 60 minutos e nos tratamentos na prensa.

A eficiência anti-inchamento (EA) foi superior nos ensaios na prensa e na temperatura de 200°C e são importante parâmetro de indicação de uma melhoria na estabilidade dimensional da espécie.

Tabela 6.23. Valores médios das propriedades físicas da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	Rt (%)	Rr (%)	Rl (%)	Rv (%)	CAr
TESTEMUNHA	7,55 (0,59)	5,61 (0,82)	0,17 (0,06)	13,33 (1,38)	1,36 (0,11)
T1 (estufa)	8,09 (0,75)	6,58*	0,14 (0,12)	14,82 (1,47)	1,23 (0,09)
T2 (estufa)	7,38 (0,57)	5,50 (0,77)	0,15 (0,07)	13,04 (1,25)	1,35 (0,15)
T3 (estufa)	7,38 (0,61)	5,71 (0,88)	0,18 (0,06)	13,28 (1,34)	1,30 (0,13)
T4 (estufa)	7,27 (0,85)	6,02 (0,93)	0,14 (0,04)	13,45 (1,68)	1,21 (0,12)
T5 (prensa)	6,93 (0,61)	5,30 (0,65)	0,15 (0,06)	12,39 (1,16)	1,31 (0,10)
T6 (prensa)	6,46* (0,76)	5,30 (0,72)	0,12 (0,05)	11,9 (1,35)	1,22 (0,12)

T7 (prensa)	6,60*	5,27	0,13	12,01	1,26
180°C 60min	(0,56)	(0,90)	(0,04)	(1,37)	(0,14)
T8 (prensa)	5,86*	4,64	0,12	10,63*	1,27
200°C 60 min	(0,46)	(0,66)	(0,05)	(1,08)	(0,12)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; Rl = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAr = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

A retratibilidade tangencial só apresentou decréscimo significativo nos tratamentos mais agressivos e na prensa (T6, T7 e T8). A retratibilidade volumétrica reduziu significativamente apenas no tratamento a 200°C e 60 minutos (T8) da prensa. O coeficiente de anisotropia de retratibilidade e a retratibilidade longitudinal não apresentaram alteração significativa entre os tratamentos e a testemunha para a madeira de tauari.

A redução da retratibilidade, de acordo com Brito et al. (2006), está relacionada à redução do número de sítios de absorção de água localizados na madeira. Essa redução acarreta no aumento da estabilidade dimensional, pois as hemiceluloses, que têm caráter hidrofílico, são degradadas, enquanto a lignina é percentualmente elevada, sendo tal componente hidrofóbico.

A Tabela 6.24 mostra o efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa para as propriedades físicas da madeira de tauari. A Tabela 5.25 faz a mesma análise para a prensa.

Tabela 6.24. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades físicas da madeira de tauari.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
Dap (g/cm ³)	0,780 a	0,753 a	0,776 a	0,757 a
Db (g/cm ³)	0,637 a	0,624 a	0,636 a	0,626 a
PM (%)	3,37 a	3,87 b	3,25 a	3,99 b
TA (%)	25,61 a	26,80 b	26,40 a	26,01 a
It (%)	6,12 a	6,16 a	6,34 a	5,94 b
Ir (%)	4,31 a	4,28 a	4,26 a	4,33 a
Cl (%)	11,13 a	10,70 a	11,04 a	10,80 a
CAi	1,43 a	1,45 a	1,50 a	1,38 b
Rt (%)	7,73 a	7,33 a	7,73 a	7,33 a
Rr (%)	6,04 a	5,87 a	6,15 a	5,76 a
Rl (%)	0,15 a	0,16 a	0,16 a	0,14 a

Rv (%)	13,93 a	13,36 a	14,05 a	13,24 a
CAR	1,29 a	1,26 a	1,27 a	1,28 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento; Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; RI = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAR = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

Tabela 6.25. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades físicas da madeira de tauari.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
Dap (g/cm ³)	0,736 a	0,745 a	0,732 a	0,750 a
Db (g/cm ³)	0,618 a	0,642 a	0,619 a	0,641 a
PM (%)	8,24 a	9,59 b	7,32 a	10,51 b
TA (%)	24,24 a	23,98 a	25,09 a	23,13 b
It (%)	5,43 a	4,95 b	5,56 a	4,82 b
Ir (%)	4,10 a	3,54 b	3,98 a	3,67 b
CI (%)	10,20 a	9,84 a	10,50 a	9,53 b
CAi	1,33 a	1,41 a	1,42 a	1,31 b
Rt (%)	6,70 a	6,23 b	6,76 a	6,16 b
Rr (%)	5,30 a	4,96 a	5,29 a	4,97 a
RI (%)	0,14 a	0,12 a	0,14 a	0,12 a
Rv (%)	12,14 a	11,32 b	12,20 a	11,26 b
CAR	1,27 a	1,27 a	1,29 a	1,25 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento; Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; RI = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAR = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

Para a estufa, a alteração do tempo de 30 para 60 minutos teve efeito significativo apenas na perda de massa e na taxa de absorção de água. A mudança da temperatura de 180 para 200°C também apresentou efeito expressivo em poucas propriedades para esse equipamento, tendo variado a perda de massa, o inchamento tangencial e o coeficiente de anisotropia de inchamento.

Para a prensa, o efeito da alteração do tempo foi verificado em mais propriedades físicas, sendo significativo na mudança da perda de massa, inchamentos tangencial e radial e retratibilidades tangencial e volumétrica. A temperatura apresentou ainda maior influência, alterando a perda de massa, taxa de absorção de água, inchamentos tangencial

e radial, coeficiente de inchamento, coeficiente de anisotropia de inchamento e retratibilidades tangencial, radial e volumétrica.

Juizo et al. (2018) tratando termicamente o eucalipto em diferentes temperaturas e tempos (de 180°C a 240°C e entre 2 a 4 horas) em forno cerâmico observaram que o acréscimo das temperaturas e tempos de exposição da madeira aumentaram de forma significativa a perda de massa e a taxa de absorção de água. O mesmo efeito foi verificado nesse estudo para a madeira de tauari na estufa e na prensa no caso da perda de massa.

A Tabela 6.26 apresenta o efeito isolado do uso da estufa e prensa nas propriedades físicas da madeira de tauari.

Tabela 6.26. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades físicas da madeira de tauari.

	Estufa	Prensa
Dap (g/cm ³)	0,766 a	0,741 a
Db (g/cm ³)	0,631 a	0,630 a
PM (%)	3,62 a	8,91 b
TA (%)	26,21 a	24,11 b
It (%)	6,14 a	5,19 b
Ir (%)	4,29 a	3,82 b
CI (%)	10,92 a	10,02 b
CAi	1,44 a	1,37 a
Rt (%)	7,53 a	6,46 b
Rr (%)	5,95 a	5,13 b
Rl (%)	0,15 a	0,13 a
Rv (%)	13,65 a	11,73 b
CAr	1,27 a	1,27 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: Dap = densidade aparente; Db = densidade básica; PM = perda de massa; TA = taxa de absorção de água; It = inchamento tangencial; Ir = inchamento radial; CI = coeficiente de inchamento; CAi = coeficiente de anisotropia de inchamento; Rt = retratibilidade tangencial; Rr = retratibilidade radial; Rl = retratibilidade longitudinal; Rv = retratibilidade volumétrica; CAr = coeficiente de anisotropia de retratibilidade.

De acordo com a análise da Tabela 5.26 constata-se que a maioria das propriedades físicas que foram alteradas significativamente no tratamento térmico sofreram mudança em relação ao tipo de equipamento usado. Com exceção das densidades, coeficiente de anisotropia, retratibilidade longitudinal e coeficiente de anisotropia de retratibilidade, as propriedades sofreram efeito mais expressivo nos tratamentos térmicos na prensa. Esse efeito corrobora com os dados discutidos

anteriormente e sugerem que para a modificação das propriedades físicas da espécie recomenda-se a prensa.

A Tabela 6.27 apresenta os valores médios dos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari não tratada e tratada termicamente.

Tabela 6.27. Valores médios dos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	VU (m/s)	MOEdu (MPa)	VS (m/s)	MOEds (MPa)
TESTEMUNHA	5.980,62 (158,92)	28.120,35 (2.309)	4.837,61 (91,64)	18.384,93 (1.212)
T1 (estufa) 180°C 30min	5.877,89 (211,24)	27.157,33 (3.707)	5.100,30* (222,73)	20.489,13 (3.142)
T2 (estufa) 200°C 30min	5.867,45 (220,69)	26.333,64 (3.302)	5.095,74* (181,91)	19.880,89 (2.776)
T3 (estufa) 180°C 60min	5.963,66 (213,49)	27.634,53 (2.421)	5.101,75* (110,88)	20.190,37 (995,40)
T4 (estufa) 200°C 60min	5.735,70* (237,48)	25.251,69 (4.068)	4.957,67 (181,90)	18.809,67 (2.553)
T5 (prensa) 180°C 30min	6.020,73 (235,00)	27.625,80 (4.900)	5.194,50* (109,87)	20.482,91 (2.900)
T6 (prensa) 200°C 30min	5.979,17 (166,45)	25.247,83 (3.029)	5.146,84* (73,64)	18.665,53 (1.684)
T7 (prensa) 180°C 60min	5.919,34 (142,84)	24.694,15 (2.698)	5.159,48* (148,14)	18.763,44 (2.131)
T8 (prensa) 200°C 60 min	6.120,14 (195,02)	28.253,38 (2.231)	5.143,69* (193,37)	19.977,45 (1.921)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

A madeira de tauari não tratada apresentou módulo de elasticidade dinâmico médio obtido com o ultrassom de 28.120 MPa e com o stress wave de 18.383 MPa. Ribeiro (2017) encontrou valores inferiores de módulo de elasticidade dinâmico para a mesma espécie, de 14.404 MPa para o ultrassom e de 20.515 MPa para o stress wave.

De acordo com os resultados apresentados, a velocidade medida com o ultrassom diminuiu significativamente em relação à testemunha apenas no tratamento em estufa a 200°C e 60 minutos (T4). Para o stress wave o comportamento foi inverso, de forma que todos os tratamentos térmicos aumentaram a velocidade de propagação da onda, exceto

para o tratamento T4, em que não foi verificada alteração significativa para a madeira de tauari.

Apesar das alterações supracitadas, os módulos de elasticidade dinâmicos para o ultrassom e para o stress wave mantiveram-se sem alteração significativa em relação à testemunha. Esse resultado provavelmente pode ser explicado pela manutenção da densidade nos tratamentos térmicos em relação à madeira não tratada.

Xavier (2013) estudando a influência dos tratamentos térmicos nas madeiras de eucalipto e pinus tratadas a 180 e 200°C por 1 e 2 horas relatou que, assim como neste estudo, os tratamentos não exerceram influência significativa no módulo de elasticidade à flexão estática em relação às testemunhas. Calonego (2009) não encontrou, da mesma forma, para a madeira de *Eucalyptus grandis* tratada entre 140 e 220°C alteração significativa no módulo de elasticidade à flexão estática.

A Tabela 6.28 apresenta o efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari. A Tabela 5.29 faz a mesma análise para a prensa.

Tabela 6.28. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
VU (m/s)	5.872,67 a	5.849,68 a	5.920,77 a	5.801,57 a
MOEdu (MPa)	26.745,48 a	26.443,11 a	27.395,93 a	25792,66 a
VS (m/s)	5.098,02 a	5.029,71 a	5101,02 a	5026,70 a
MOEds (MPa)	20.185,00 a	19.500,01 a	20339,74 a	19345,27 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

Tabela 6.29. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari.

	Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200
VU (m/s)	5.999,94 a	6.019,73 a	5.970,03 a	6.049,65 a
MOEdu (MPa)	26.436,81 a	26.473,76 a	26.159,97 a	26.750,60 a
VS (m/s)	5170,67 a	5.151,58 a	5.176,99 a	5.145,27 a
MOEds (MPa)	19574,22 a	19.370,44 a	19623,17 a	19.321,49 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura), não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 5.28 e 5.29, tempo e temperatura não afetaram de forma significativa as velocidades de propagação no ultrassom e stress wave e seus respectivos módulos de elasticidade para a estufa e para a prensa. Essa análise reforça os resultados discutidos anteriormente, de que para o tauari os tratamentos térmicos não alteraram os módulos de elasticidade dinâmicos.

A Tabela 6.30 apresenta o efeito isolado dos equipamentos – estufa e prensa – nos resultados para os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari.

Tabela 6.30. Efeito isolado dos equipamentos nos módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de tauari.

	Estufa	Prensa
VU (m/s)	5.861,17 a	6.009,84 b
MOEdu (MPa)	26.594,29 a	26.455,28 a
VS (m/s)	5.063,86 a	5.161,13 b
MOEds (MPa)	19.842,51 a	19.472,33 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: VU = velocidade média obtida pelo ultrassom; MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ultrassom; VS = velocidade média obtida pelo stress wave; MOEds = módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo stress wave.

De acordo com os resultados observados, as velocidades de propagação obtidas pelo ultrassom e stress wave variaram entre os equipamentos utilizados. Para os módulos de elasticidade dinâmicos, entretanto, não existiu diferença significativa entre a estufa e a prensa, provavelmente pela densidade ter se mantido inalterada para a madeira de tauari tratada.

6.2 COLORIMETRIA

6.2.1 Cumaru

É importante o estudo da colorimetria para a madeira de cumaru, uma vez que a mesma é utilizada além de madeiramento de telhado, para portas, revestimentos internos e mobiliário. A cor é uma propriedade de fundamental importância para estes usos.

A Tabela 6.31 apresenta os valores médios dos parâmetros colorimétricos da face tangencial da madeira de cumaru in natura e submetida aos tratamentos térmicos. A Tabela 6.32 apresenta os mesmos parâmetros para a face radial dessa espécie.

Tabela 6.31. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face tangencial da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	L*	a*	b*	C	h*
TESTEMUNHA	44,18 (1,41)	14,21 (0,62)	23,42 (1,09)	27,39 (1,16)	58,74 (0,98)
T1 (estufa) 180°C 30min	39,49* (2,19)	12,77 (1,00)	20,85 (2,18)	24,46 (2,37)	58,45 (0,92)
T2 (estufa) 200°C 30min	35,42* (3,55)	10,79* (1,94)	16,19* (4,28)	19,47* (4,62)	55,74 (2,65)
T3 (estufa) 180°C 60min	39,00* (2,74)	12,39* (0,87)	20,21 (2,83)	23,72* (2,85)	58,28 (1,93)
T4 (estufa) 200°C 60min	30,04* (1,54)	8,19* (1,20)	11,19* (2,25)	13,87* (2,51)	53,53 (1,81)
T5 (prensa) 180°C 30min	29,67* (3,72)	7,67* (2,30)	9,97* (4,69)	12,62* (5,11)	50,48* (5,49)
T6 (prensa) 200°C 30min	24,70* (0,90)	1,50* (0,92)	2,21* (0,99)	2,69* (1,32)	57,91 (6,88)
T7 (prensa) 180°C 60min	24,41* (1,01)	2,47* (1,19)	3,28* (1,31)	4,12* (1,75)	54,11 (4,91)
T8 (prensa) 200°C 60min	24,25* (1,12)	2,01* (1,63)	2,82* (1,66)	3,48* (2,29)	57,33 (7,73)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

Tabela 6.32. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face radial da madeira de cumaru testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	L*	a*	b*	C	h*
TESTEMUNHA	48,03 (1,58)	12,88 (0,54)	23,44 (1,15)	26,75 (1,16)	61,19 (1,11)
T1 (estufa) 180°C 30min	44,13* (2,90)	12,34 (0,69)	22,19 (2,14)	25,4 (2,15)	60,8 (1,62)
T2 (estufa) 200°C 30min	40,20* (4,33)	11,26* (0,97)	19,24* (3,13)	22,31* (3,16)	59,37 (2,21)
T3 (estufa) 180°C 60min	43,12* (1,79)	12,10 (0,68)	21,37 (1,45)	24,57 (1,46)	60,42 (1,52)
T4 (estufa) 200°C 60min	34,69* (1,82)	9,29* (0,70)	14,63* (1,96)	17,34* (2,01)	57,36* (1,86)
T5 (prensa) 180°C 30min	31,17* (2,14)	7,42* (1,14)	9,16* (2,84)	11,83* (2,89)	49,95* (4,59)
T6 (prensa) 200°C 30min	26,28* (0,82)	2,00* (0,91)	2,62* (1,42)	3,31* (1,66)	51,77* (4,61)

T7 (prensa)	28,74*	5,07*	6,61*	8,34*	52,11*
180°C 60min	(0,78)	(0,87)	(1,35)	(1,55)	(3,01)
T8 (prensa)	26,06*	1,82*	2,73*	3,29*	56,37*
200°C 60 min	(0,70)	(0,84)	(1,19)	(1,44)	(3,49)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

A face tangencial da madeira de cumaru não tratada apresentou os valores de L* = 48,18, a* = 14,21, b* = 23,42, C = 27,39 e h* = 58,74. A face radial não tratada da mesma espécie apresentou os valores de L* = 48,03, a* = 12,88, b* = 23,44, C = 26,75 e h* = 61,19.

De Paula et al. (2016) encontraram valores colorimétricos para a madeira de cumaru próximos aos do estudo, de L* = 50,79, a* = 12,58, b* = 24,23, C = 27,32 e h* = 62,55 para a face tangencial e L* = 50,94, a* = 12,82, b* = 25,08, C = 28,18 e h* = 62,93 para a face radial. Stangerlin et al. (2013) analisando a cor da mesma espécie encontraram valores médios (média das duas faces) também parecidos com os do estudo, de L* = 48,20, a* = 9,10 e b* = 18,70. Silva et al. (2017), de forma semelhante, encontraram valores de L* = 61,27 a* = 11,11, b* = 25,64, C = 28,03 e h* = 66,89.

O parâmetro L* representa a claridade ou luminosidade e todos os tratamentos térmicos, para as duas faces da madeira de cumaru, alteraram significativamente a variável, diminuindo seu valor. Dessa forma, todos os tratamentos escureceram a madeira da espécie.

O parâmetro a* positivo representa o pigmento vermelho e o b* positivo o amarelo. Todos os tratamentos reduziram os valores dos dois pigmentos e apenas para o tratamento em estufa a 180°C e 30 minutos (T1) tal variação não foi estatisticamente significativa para a face tangencial. A face radial teve comportamento parecido, mas o tratamento a 180°C e 60 minutos (T3), assim como o T1, não sofreram variação significativa dos pigmentos. A redução destes parâmetros (b* e principalmente a*), diminui a claridade (L*) explicando o escurecimento da madeira.

A cromaticidade (C) e o ângulo de tinta (h*) são derivados matematicamente dos demais parâmetros. A cromaticidade teve comportamento parecido com o dos pigmentos a* e b*. Enquanto o parâmetro h* manteve-se com pouca alteração para a face tangencial,

reduzindo de forma significativa apenas no tratamento a 180°C e 30 minutos e para a prensa (T5), a face radial apresentou alteração significativa para todos os ensaios na prensa (T5, T6, T7 e T8) e para o mais agressivo na estufa (T4). De acordo com Cademartori et al. (2013), o parâmetro C* indica a pureza da cor em relação ao branco, de forma que sua redução sugere que a madeira está tendendo a uma tonalidade mais acinzentada.

A madeira de cumaru apresentava participação mais expressiva do pigmento amarelo em relação ao vermelho na sua cor quando não tratada. Depois dos tratamentos e com a redução expressiva dos seus valores o pigmento amarelo manteve-se mais expressivo, mas com diferença muito menor em relação ao vermelho na cor da espécie.

Lazarotto et al. (2016) tratando termicamente as madeiras de *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora* a 120°C durante 1 hora em autoclave e em 180°C durante 4 horas em estufa laboratorial observaram diminuição das variáveis L*, a* e b* para as duas espécies, assim como nesse estudo para a madeira de cumaru.

A Tabela 6.33 mostra o efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação aos ensaios realizados na estufa. A Tabela 5.34 faz a mesma análise para a prensa.

Tabela 6.33. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades colorimétricas da madeira de cumaru.

	Face Tangencial				Face Radial			
	Tempo (min)		Temperatura (°C)		Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200	30	60	180	200
L*	37,45 a	34,52 b	39,24 a	32,73 b	42,16 a	38,90 b	43,62 a	37,44 b
a*	11,78 a	10,29 b	12,58 a	9,49 b	11,80 a	10,69 b	12,22 a	10,27 b
b*	18,52 a	15,70 b	20,53 a	13,69 b	20,71 a	18,00 b	21,78 a	16,93 b
C	21,96 a	18,79 b	24,09 a	16,67 b	23,85 a	20,95 b	24,98 a	19,82 b
h*	57,09 a	55,90 a	58,36 a	54,63 b	60,08 a	58,89 b	60,61 a	58,36 b

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura) e entre a mesma face, não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

Tabela 6.34. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades colorimétricas da madeira de cumaru.

	Face Tangencial				Face Radial			
	Tempo (min)		Temperatura (°C)		Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200	30	60	180	200
L*	27,18 a	24,33 b	27,03 a	24,47 b	28,72 a	27,40 b	29,95 a	26,17 b
a*	4,58 a	2,24 b	5,07 a	1,75 b	4,70 a	3,44 b	6,24 a	1,90 b

b*	6,09 a	3,05 b	6,62 a	2,51 b	5,88 a	4,67 b	7,88 a	2,67 b
C	7,66 a	3,80 b	8,37 a	3,09 b	7,56 a	5,81 b	10,08 a	3,30 b
h*	54,19 a	55,72 a	52,29 a	57,62 b	50,85 a	54,23 b	51,03 a	54,06 b

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura) e entre a mesma face não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

De acordo com a análise das Tabelas 6.33 e 6.34 para as duas faces da madeira de cumaru a mudança do tempo de 30 para 60 minutos na estufa e na prensa alteraram significativamente todos os parâmetros colorimétricos, exceto o ângulo de tinta na face tangencial. A temperatura, da mesma forma, quando alterada de 180°C para 200°C, refletiu alterando significativamente todos os parâmetros colorimétricos, inclusive o ângulo de tinta.

De acordo com os valores médios encontrados para cada tempo e temperatura de ensaio, pode-se observar que em geral a mudança de temperatura tem efeito mais expressivo na mudança da cor que a alteração do tempo quando usada a estufa. Para a prensa os resultados da alteração isolada da temperatura e do tempo são mais próximos, indicando que ambos colaboram de forma similar da alteração da cor.

Junior (2016) tratando termicamente a madeira de *C.citriodora* a 160, 180 e 200°C observou que a variação mais expressiva da luminosidade (L*) aconteceu a 200°C, de forma que a temperatura tem efeito expressivo no escurecimento da madeira. Lazarotto et al. (2016) também observaram tratando *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora* a 120°C e 180°C escurecimento progressivo em função do aumento da temperatura do tratamento térmico.

A Tabela 6.35 mostra o efeito isolado dos equipamentos – estufa e prensa – nas propriedades colorimétricas da madeira de cumaru.

Tabela 6.35. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades colorimétricas da madeira de cumaru.

	Face tangencial		Face radial	
	Estufa	Prensa	Estufa	Prensa
L*	35,98 a	25,75 b	40,53 a	28,06 b
a*	11,03 a	3,41 b	11,25 a	4,07 b
b*	17,11 a	4,57 b	19,35 a	5,27 b
C	20,38 a	5,73 b	22,40 a	6,69 b
h*	56,50 a	54,96 a	59,49 a	52,54 b

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, dentro da mesma face, não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

De acordo com a Tabela 6.35, a mudança de equipamento teve efeito significativo na alteração das propriedades colorimétricas nas duas faces da espécie, com exceção do ângulo de tinta para a face tangencial. Os valores dos parâmetros colorimétricos para a prensa foram inferiores aos da estufa, de forma que o equipamento se mostra como o mais indicado quando o principal objetivo é alterar a cor.

A Tabela 6.36 mostra a variação da cor da madeira de cumaru calculada para os tratamentos térmicos realizados na madeira de cumaru em comparação com a cor da madeira in natura.

Tabela 6.36. Variação da cor da madeira de cumaru para os tratamentos térmicos.

	Face tangencial				Face radial			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
T1 (estufa) 180°C 30min	-4,69	-1,44	-2,56	5,54	-3,90	-0,54	-1,26	4,14
T2 (estufa) 200°C 30min	-8,76	-3,42	-7,23	11,86	-7,83	-1,62	-4,21	9,03
T3 (estufa) 180°C 60min	-5,17	-1,82	-3,20	6,35	-4,91	-0,78	-2,07	5,38
T4 (estufa) 200°C 60min	-14,14	-6,03	-12,23	19,64	-13,34	-3,59	-8,81	16,39
T5 (prensa) 180°C 30min	-14,51	-6,54	-13,45	20,83	-16,86	-5,46	-14,28	22,76
T6 (prensa) 200°C 30min	-19,48	-12,71	-21,20	31,47	-21,75	-10,88	-20,83	32,02
T7 (prensa) 180°C 60min	-19,77	-11,74	-20,13	30,56	-19,29	-7,81	-16,83	26,76
T8 (prensa) 200°C 60 min	-19,93	-12,20	-20,60	31,15	-21,97	-11,06	-20,71	32,15

Em que: ΔL^* = alteração da claridade; Δa^* e Δb^* = alteração das coordenadas e ΔE^* = alteração total da cor.

De acordo com a Tabela 6.36 é possível observar a alteração da claridade (ΔL^*) e dos pigmentos vermelho e amarelo (Δa^* e Δb^*). A alteração da cor calculada corrobora com os resultados discutidos anteriormente, de que a alteração da cor foi mais significativa na prensa do que na estufa, e também mais significativa com a elevação do tempo e da temperatura. Principalmente a temperatura influenciou na redução da claridade e demais parâmetros.

De acordo com a classificação de Hikita et al. (2001) a variação de cor do tratamento em estufa a 180°C e 30 minutos (T1) para as duas faces e do tratamento em estufa a 180°C e 60 minutos (T3) para a face radial foi apreciável. Já para os demais tratamentos, a alteração foi classificada como muito apreciável.

Pertuzzatti et al. (2015) em análise similar para a madeira de *Tetrochidium rubrivenium* tratada termicamente relatam que a variação total da cor em ambas as faces obteve acréscimo com o aumento da temperatura

A Figura 6.1 ilustra a mudança da cor de forma bem visível entre os tratamentos realizados e a testemunha. As amostras não tratadas apresentam cor bem mais clara e amarelada e os tratamentos na prensa a 200°C são os que visivelmente mais escureceram a cor da espécie.

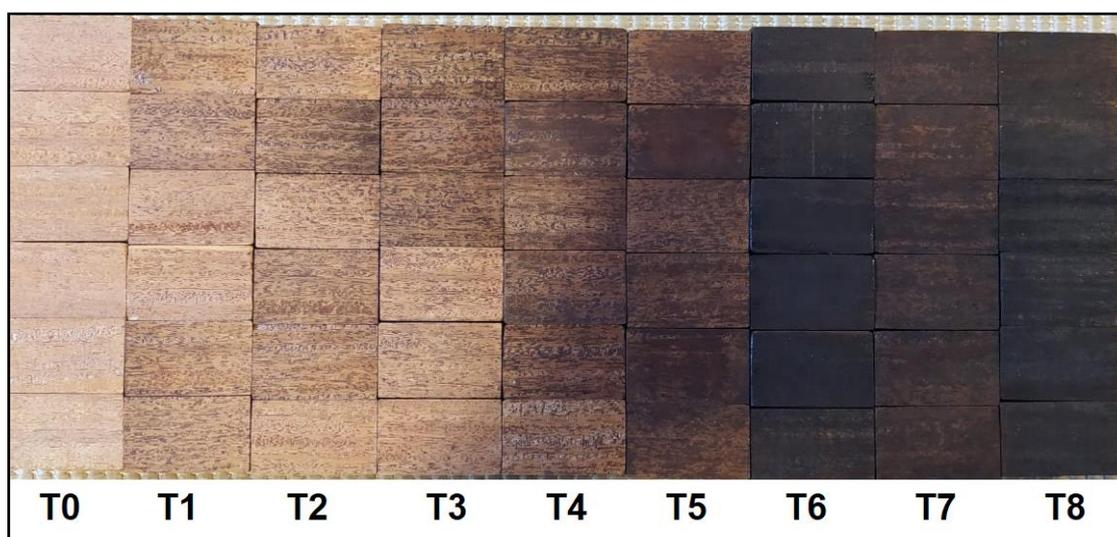


Figura 6.1. Testemunha e tratamentos térmicos da madeira de cumaru. T0 – testemunha; T1 – tratamento T1; T2 – tratamento T2; T3 – tratamento T3; T4 – tratamento T4; T5 – tratamento T5; T6 – tratamento T6; T7 – tratamento T7; T8 – tratamento T8.
Fonte: A autora (2021).

6.2.2 Maçaranduba

As Tabelas 6.37 e 6.38 apresentam os valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de maçaranduba para as faces tangencial e radial, respectivamente.

Tabela 6.37. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face tangencial da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	L*	a*	b*	C	h*
TESTEMUNHA	44,22 (1,74)	16,58 (1,15)	17,42 (1,66)	24,05 (1,93)	46,36 (1,33)
T1 (estufa) 180°C 30min	37,41* (2,66)	13,09* (1,26)	14,16* (1,61)	19,29* (1,91)	47,18 (2,20)
T2 (estufa) 200°C 30min	36,06* (3,80)	11,06* (1,75)	12,18* (2,55)	16,47* (2,99)	47,54 (2,82)
T3 (estufa) 180°C 60min	36,89* (1,97)	12,11* (1,02)	13,61* (1,35)	18,23* (1,59)	48,31 (1,86)
T4 (estufa) 200°C 60min	35,55* (2,02)	11,33* (0,80)	12,95* (1,60)	17,23* (1,62)	48,67 (2,60)
T5 (prensa) 180°C 30min	33,13* (1,85)	11,86* (1,18)	12,79* (1,49)	17,40* (1,79)	47,07 (2,11)
T6 (prensa) 200°C 30min	25,19* (2,54)	3,98* (1,76)	4,83* (1,86)	6,27* (2,55)	50,77* (2,37)
T7 (prensa) 180°C 60min	28,36* (2,60)	7,02* (1,27)	7,78* (1,09)	10,50* (1,60)	48,07 (2,59)
T8 (prensa) 200°C 60 min	25,72* (2,21)	3,38* (2,06)	3,53* (1,80)	4,90* (2,72)	47,46 (3,59)

As médias seguidas de asterisco (*) são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

Tabela 6.38. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face radial da madeira de maçaranduba testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	L*	a*	b*	C	h*
TESTEMUNHA	47,33 (2,19)	17,73 (0,82)	19,81 (0,92)	26,59 (1,13)	48,18 (1,11)
T1 (estufa) 180°C 30min	40,40* (3,64)	13,76* (1,37)	15,64* (2,21)	20,84* (2,48)	48,53 (2,24)
T2 (estufa) 200°C 30min	39,26* (3,81)	13,22* (1,49)	14,72* (2,26)	19,80* (2,59)	47,95 (2,25)
T3 (estufa) 180°C 60min	39,99* (2,36)	13,97* (0,86)	16,07* (1,53)	21,30* (1,68)	48,93 (1,31)
T4 (estufa) 200°C 60min	38,98* (1,95)	13,43* (0,39)	15,38* (0,93)	20,43* (0,84)	48,82 (1,62)
T5 (prensa) 180°C 30min	34,79* (2,09)	11,72* (0,66)	12,78* (1,39)	17,36* (1,39)	47,36 (2,25)
T6 (prensa) 200°C 30min	28,13* (1,70)	5,50* (1,17)	6,02* (1,28)	8,16* (1,71)	47,53 (1,95)

T7 (prensa)	31,75*	9,06*	9,89*	13,42*	47,44
180°C 60min	(1,81)	(1,17)	(1,44)	(1,81)	(1,63)
T8 (prensa)	27,94*	3,83*	4,05*	5,58*	46,49
200°C 60 min	(0,99)	(1,16)	(1,30)	(1,74)	(2,30)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

A madeira de maçaranduba não tratada apresentou valores de L* = 44,22, a* = 16,58, b* = 17,42, C = 24,05 e h* = 46,36 para a face tangencial. A face radial apresentou valores de L* = 47,33, a* = 17,73, b* = 19,81, C = 26,59 e h* = 48,18.

Maia et al. (2018) encontraram para a maçaranduba (*Manilkara* sp.) valores de média entre as faces tangencial e radial de L* de 40,90 a 41,93, a* de 11,19 a 12,45, b* de 11,63 a 14,85, C de 16,23 a 18,82 e h* de 46,47 a 52,45, próximos aos encontrados nesse estudo. Para a face tangencial da mesma espécie, Zaque et al. (2019) encontraram os valores de L* = 41,68, a* = 12,97, b* = 14,78, C = 19,68 e h* = 48,78, também similares aos encontrados nesse estudo.

A madeira de maçaranduba apresentou redução significativa da claridade/luminosidade (L*) e dos pigmentos vermelho (a*) e amarelo (b*) em todos os tratamentos térmicos para as faces tangencial e radial. De acordo com Pincelli et al. (2012) o pigmento amarelo (b*) está associado às ligninas e aos extrativos da madeira, e que o tratamento térmico, ao degradar tais compostos, reduz a matriz amarelo.

A cromaticidade (C) é derivada dos pigmentos a* e b* e apresentou comportamento semelhante a esses, com redução significativa em todos os tratamentos. O ângulo de tinta (h*) para a face tangencial só teve alteração significativa no tratamento da prensa a 200°C e 30 minutos. Os valores mostram claramente que a prensa teve efeitos mais acentuados que a estufa na alteração da cor em todos os tratamentos testados.

A redução da luminosidade indica que a madeira de maçaranduba escureceu em todos os tratamentos realizados. Os parâmetros a* e b* nessa espécie apresentavam valores próximos na madeira não tratada, indicando presença significativa do pigmento vermelho e do pigmento amarelo na composição de sua cor, esse comportamento se manteve com a madeira tratada termicamente.

Freitas et al. (2016) tratando termicamente a madeira de marupá em prensa hidráulica a temperaturas de 140°C a 210°C observaram redução significativa em todos os tratamentos do parâmetro L*. Charrier et al. (2002) explica que a oxidação de algumas substâncias no tratamento térmico acarreta na perda de luminosidade da madeira, como constatado nesse estudo.

A Tabela 6.39 apresenta o efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação aos tratamentos em estufa. A Tabela 5.40 apresenta a mesma análise para a prensa.

Tabela 6.39. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades colorimétricas da madeira de maçaranduba.

	Face Tangencial				Face Radial			
	Tempo (min)		Temperatura (°C)		Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200	30	60	180	200
L*	36,73 a	36,22 a	37,15 a	35,80 a	39,83 a	39,48 a	40,20 a	39,12 a
a*	12,07 a	11,72 a	12,60 a	11,19 b	13,49 a	13,70 a	13,86 a	13,32 a
b*	13,17 a	13,28 a	13,89 a	12,57 b	15,18 a	15,73 a	15,86 a	15,05 a
C	17,88 a	17,73 a	18,76 a	16,85 b	20,32 a	20,87 a	21,07 a	20,12 a
h*	47,36 a	48,49 a	47,74 a	48,10 a	48,24 a	48,87 a	48,73 a	48,38 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura) e entre a mesma face, não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

Tabela 6.40. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades colorimétricas da madeira de maçaranduba.

	Face Tangencial				Face Radial			
	Tempo (min)		Temperatura (°C)		Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200	30	60	180	200
L*	29,16 a	27,04 b	30,74 a	25,45 b	31,46 a	29,85 b	33,27 a	28,04 b
a*	7,92 a	5,20 b	9,44 a	3,68 b	8,61 a	6,44 b	10,39 a	4,67 b
b*	8,81 a	5,66 b	10,29 a	4,18 b	9,40 a	6,97 b	11,34 a	5,03 b
C	11,86 a	7,70 b	13,98 a	5,58 b	12,76 a	9,50 b	15,39 a	6,87 b
h*	48,92 a	47,77 a	47,57 a	49,12 a	47,44 a	46,96 a	47,40 a	47,01 a

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura) e entre a mesma face, não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

De acordo com a Tabela 6.39, o tempo não teve efeito significativo na alteração das propriedades colorimétricas em nenhuma das faces da madeira de maçaranduba na estufa. A elevação da temperatura, ainda para a estufa, teve efeito de reduzir significativamente os parâmetros a*, b* e C apenas para a face tangencial da espécie.

O tratamento na prensa (Tabela 6.40) apresentou um comportamento diferente, de forma que tanto o tempo quanto a temperatura tiveram efeito isolado significativo na alteração dos parâmetros colorimétricos, exceto para o ângulo de tinta. Nesse equipamento, a elevação da duração do tempo de ensaio e da temperatura diminuem a claridade e as matizes cromáticas de forma significativa. De acordo com os valores é possível inferir que a temperatura tem efeito mais expressivo que o tempo, alterando em maior grau os valores dos parâmetros colorimétricos.

De acordo com Zanuncio et al. (2014), a redução da luminosidade em temperaturas elevadas pode estar relacionada a aceleração da degradação dos extrativos e das hemiceluloses. Cademartori et al. (2014) explicam que a formação de aldeídos e fenóis ocorre quando a madeira é tratada termicamente, causando a criação de compostos que afetam a coloração da madeira.

De acordo com Varga e Van Der Zee (2008) quanto mais elevada a temperatura e maior a duração do tratamento, maiores são as mudanças na cor da madeira, de forma que temperatura e tempo possuem efeito significativo na alteração dessa propriedade.

A Tabela 6.41 apresenta o efeito isolado dos diferentes da estufa e da prensa na alteração das propriedades colorimétricas da madeira de maçaranduba.

Tabela 6.41. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades colorimétricas da madeira de maçaranduba.

	Face tangencial		Face radial	
	Estufa	Prensa	Estufa	Prensa
L*	36,48 a	28,10 b	39,66 a	30,66 b
a*	11,89 a	6,56 b	13,59 a	7,53 b
b*	13,23 a	7,23 b	15,45 a	8,18 b
C	17,81 a	9,78 b	20,59 a	11,13 b
h*	47,92 a	48,34 a	48,55 a	47,20 b

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, dentro da mesma face, não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

Os dados apresentados na Tabela 6.41 corroboram com a discussão realizada até agora, evidenciando que a estufa e a prensa apresentaram resultados distintos na alteração da cor da madeira dessa espécie. A prensa reduziu de forma mais acentuada os parâmetros colorimétricos, de forma que utilizando-a é necessário menor tempo de ensaio e menor temperatura para alcançar o escurecimento da madeira de maçaranduba.

A Tabela 6.42 apresenta os valores de variação da cor calculados para a madeira de maçaranduba tratada nas diferentes condições testadas.

Tabela 6.42. Variação da cor da madeira de maçaranduba para os tratamentos térmicos.

	Face tangencial				Face radial			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
T1 (estufa) 180°C 30min	-6,80	-3,49	-3,25	8,30	-6,92	-3,96	-4,17	9,00
T2 (estufa) 200°C 30min	-8,15	-5,52	-5,23	11,15	-8,06	-4,51	-5,08	10,54
T3 (estufa) 180°C 60min	-7,32	-4,47	-3,80	9,38	-7,33	-3,75	-3,74	9,04
T4 (estufa) 200°C 60min	-8,66	-5,24	-4,46	11,06	-8,34	-4,29	-4,43	10,37
T5 (prensa) 180°C 30min	-11,08	-4,71	-4,62	12,90	-12,53	-6,00	-7,03	15,57
T6 (prensa) 200°C 30min	-19,02	-12,59	-12,58	26,05	-19,19	-12,22	-13,79	26,60
T7 (prensa) 180°C 60min	-15,85	-9,55	-9,63	20,86	-15,57	-8,66	-9,92	20,39
T8 (prensa) 200°C 60 min	-18,49	-13,20	-13,88	26,62	-19,38	-13,89	-15,76	28,58

Em que: ΔL^* = alteração da claridade; Δa^* e Δb^* = alteração das coordenadas e ΔE^* = alteração total da cor.

De acordo com a classificação de Hikita et al. (2001) todos os tratamentos térmicos alteraram a cor da madeira de maçaranduba de maneira muito apreciável. Os valores da alteração da claridade e das coordenadas cromáticas (ΔL^* , Δa^* e Δb^*) evidenciam que todos os tratamentos alteraram expressivamente a cor da espécie e que os tratamentos na prensa, principalmente a 200°C, foram os que mais modificaram a cor dessa espécie.

Freitas et al. (2016) tratando termicamente a madeira de marupá a 140°C, 180°C, 200°C e 210°C em prensa hidráulica observaram que o ΔE foi aumentando ao longo dos tratamentos, sendo o tratamento mais severo o que obteve maior alteração, de 45,81, e o tratamento mais brando o que obteve menor alteração. Os autores concluíram que a temperatura e a pressão utilizados interferiram no escurecimento e alteração da cor. Da mesma forma, para a espécie de maçaranduba tratada, os valores do ΔE foram progressivamente elevados com a elevação da temperatura de ensaio.

A Figura 6.2 ilustra a alteração de cor dos tratamentos térmicos para a maçaranduba.

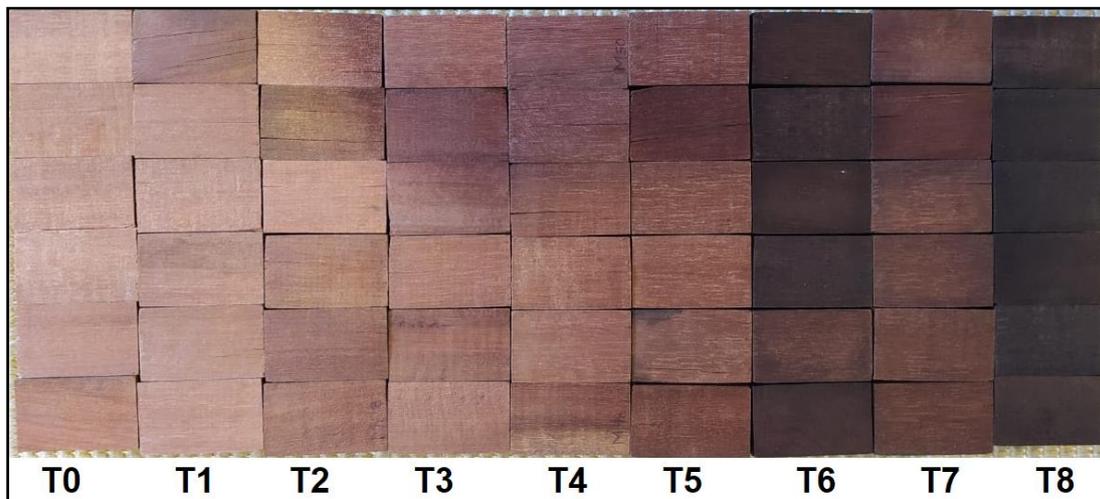


Figura 6.2. Testemunha e tratamentos térmicos da madeira de maçaranduba. T0 – testemunha; T1 – tratamento T1; T2 – tratamento T2; T3 – tratamento T3; T4 – tratamento T4; T5 – tratamento T5; T6 – tratamento T6; T7 – tratamento T7; T8 – tratamento T8. Fonte: A autora (2021).

Percebe-se pela figura 5.2 que os tratamentos T6 e T8, que foram os realizados na prensa hidráulica a 200°C, foram os que mais escureceram a madeira da espécie. Nos tratamentos na estufa as alterações de cor não são tão visíveis a olho nu, apesar de terem escurecido a espécie.

6.2.2 Tauari

A madeira de tauari cada vez mais aparece como opção alternativa de uso no segmento de mobiliário. É uma espécie que também tem sido utilizada na construção civil, como no madeiramento em áreas cobertas. A cor nesses usos é característica valiosa de valorização da madeira.

A Tabela 6.43 apresenta os valores médios dos parâmetros colorimétricos da face tangencial da madeira de tauari não tratada e tratada termicamente. A Tabela 5.44 apresenta os valores das variáveis colorimétricas para a face radial da espécie não tratada e tratada termicamente.

Tabela 6.43. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face tangencial da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	L*	a*	b*	C	h*
TESTEMUNHA	66,12 (2,12)	7,38 (0,69)	26,15 (1,26)	27,18 (1,31)	74,25 (1,25)
T1 (estufa) 180°C 30min	63,46 (2,40)	7,22 (0,59)	25,06 (1,05)	26,08 (1,05)	73,9 (1,30)
T2 (estufa) 200°C 30min	60,75 (4,14)	8,20 (1,04)	25,18 (1,72)	26,50 (1,79)	71,97 (1,96)
T3 (estufa) 180°C 60min	62,96 (3,19)	7,96 (0,63)	25,74 (1,08)	26,95 (1,09)	72,81 (1,35)
T4 (estufa) 200°C 60min	59,34* (2,94)	9,16* (0,46)	26,22 (1,46)	27,79 (1,36)	70,68* (1,45)
T5 (prensa) 180°C 30min	58,66* (3,38)	8,57* (0,47)	25,83 (1,57)	27,22 (1,55)	71,60 (1,10)
T6 (prensa) 200°C 30min	47,22* (4,92)	10,06* (0,58)	21,50* (2,03)	23,76* (1,90)	64,79* (2,25)
T7 (prensa) 180°C 60min	51,97* (4,69)	10,35* (0,57)	25,52 (1,61)	27,55 (1,48)	67,84* (1,79)
T8 (prensa) 200°C 60 min	43,13* (11,67)	8,04 (1,74)	16,58* (6,81)	18,56* (6,65)	61,99* (6,85)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

Tabela 6.44. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da face radial da madeira de tauari testemunha e submetida aos tratamentos térmicos.

	L*	a*	b*	C	h*
TESTEMUNHA	64,46 (0,92)	7,90 (0,71)	26,84 (1,65)	27,98 (1,75)	73,61 (0,86)
T1 (estufa) 180°C 30min	63,59 (1,86)	7,72 (0,50)	26,6 (1,09)	27,7 (1,07)	73,8 (1,15)
T2 (estufa) 200°C 30min	61,24 (2,58)	8,67 (0,79)	26,85 (1,87)	28,23 (1,94)	72,08 (1,22)
T3 (estufa) 180°C 60min	62,36 (1,90)	7,95 (0,27)	26,8 (1,26)	27,95 (1,22)	73,43 (0,82)
T4 (estufa) 200°C 60min	60,00* (2,87)	9,57* (0,57)	27,85 (0,92)	29,46 (0,79)	70,99* (1,45)
T5 (prensa) 180°C 30min	57,82* (2,30)	9,35* (0,23)	26,44 (1,38)	28,05 (1,29)	70,48* (1,07)
T6 (prensa) 200°C 30min	44,39* (1,96)	10,58* (0,45)	20,49* (1,52)	23,07* (1,53)	62,62* (1,07)

T7 (prensa)	52,08*	10,74*	25,32	27,52	66,88*
180°C 60min	(3,99)	(0,42)	(2,22)	(2,07)	(1,94)
T8 (prensa)	41,13*	9,80*	17,86*	20,40*	60,53*
200°C 60 min	(5,65)	(1,50)	(4,73)	(4,84)	(3,27)

As médias seguidas de asterisco (*), na mesma coluna, são diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

A madeira não tratada de tauari apresentou valores de L* = 66,12, a* = 7,38, b* = 26,15, C = 27,18 e h* = 74,25 para a face tangencial. A face radial apresentou valores de L* = 64,46, a* = 7,90, b* = 26,84, C = 27,98 e h* = 73,61. Os valores mais elevados do pigmento amarelo (b*) em relação ao pigmento vermelho (a*) mostram a sua importância na formação da coloração dessa espécie. Vale salientar também a importância da variável h* (ângulo de tinta), que posiciona a cor da espécie próxima ao eixo amarelo para ambas as faces, reafirmando a influência marcante da coordenada b* na formação da cor desta madeira.

Costa et al. (2011) para a mesma espécie (*Couratari oblongifolia*) encontraram os valores dos parâmetros colorimétricos de L* = 64,76, a* = 6,21, b* = 25,54, C = 26,28 e h* = 76,32 para a face radial, que foram próximos aos encontrados nesse estudo. Santos (2018), para a mesma espécie, encontraram valores também parecidos para a face tangencial, de L* = 67,29, a* = 9,79, b* = 31,31, C = 32,82 e h* = 72,73.

Os parâmetros colorimétricos, na face tangencial, não apresentaram alteração significativa para os tratamentos em estufa a 180° em 30 e 60 minutos (T1 e T2) e a 200°C em 30 minutos (T3). O tratamento em estufa a 200°C e 60 minutos (T4) foi o único com esse equipamento, nesta face, que reduziu significativamente a luminosidade da madeira (L*). Ainda para a estufa e na face tangencial, o pigmento vermelho (a*) e o ângulo de tinta (h*) apresentaram diferença significativa em relação à testemunha apenas no tratamento a 200°C e 60 minutos (T4), enquanto os demais parâmetros (b* e C) não variaram significativamente.

Para a prensa, na face tangencial, a claridade L* apresentou redução em todos os tratamentos. O tratamento T5 (180°C e 30 minutos) e T7 (180°C e 60 minutos) variaram apenas quanto aos parâmetros L* e a*. Ainda para a face tangencial e prensa, o tratamento T6 (200°C e 30 minutos) causou alteração significativa em todos os parâmetros

colorimétricos, enquanto o o tratamento T8 (200°C e 60 minutos) não apresentou alteração apenas para o a*.

Os parâmetros colorimétricos para a madeira de tauari, na face radial, apresentaram comportamento semelhante aos da face tangencial para a estufa. Para a prensa, na face radial, o L* reduziu significativamente em todos os tratamentos. Os parâmetros a* e h* também apresentaram diferença significativa em todos os tratamentos para essa face na prensa. O pigmento amarelo b* não foi alterado nos tratamentos T5 (180° e 30 minutos) e T7 (180° e 60 minutos) e a cromaticidade seguiu o mesmo comportamento.

A madeira de tauari, dentre as espécies estudadas nesta tese, foi a que menos teve alteração de cor para a estufa. Dessa forma, para maior eficácia no escurecimento da cor da espécie recomenda-se o uso da prensa.

Junior (2016) tratando termicamente a madeira de *Corymbia citriodora* a 160, 180 e 200°C observou redução média de 15% da luminosidade (L*), aumento médio de 13,54% da pigmentação vermelha (a*) e decréscimo de 9,48% na pigmentação amarela (b*). Pertuzzatti et al. (2016) para a madeira de *Pinus elliottii* tratada termicamente observaram efeito similar, de redução das matizes amarelo e vermelho.

A alteração da cor da madeira pelo tratamento térmico é um fenômeno complexo. Akyildiz et al. (2009) explicam que a combinação de vários fatores contribuem para o processo, tais como: a formação de produtos oxidativos e produtos da degradação das hemiceluloses e lignina, que migram para a superfície da madeira; a volatilização ou migração dos extrativos em direção à superfície da madeira; o aumento relativo do teor de lignina.

Lazarotto et al. (2016) comentam que o escurecimento pelos tratamentos térmicos é benéfico, à medida que evita a utilização de tintas e aplicações tóxicas comuns para escurecer madeiras a fim de torná-las com aspecto de madeiras nobres, considerando que muitas madeiras de espécies nativas consideradas de elevado valor possuem tons mais escurecidos.

Mitsui (2004), no mesmo sentido, afirma que a alteração da cor pode ser capaz de aumentar o interesse mercadológico em espécies que, apesar de possuírem boas propriedades tecnológicas, não são procuradas no mercado devido à sua baixa relativa

atratividade estética. Para o tauari, espécie clara, esse estudo observou exatamente esse efeito, de forma que os tratamentos térmicos, principalmente com a prensa, tornaram a madeira mais escura e a deixaram com a aparência parecida com a de espécies nativas mais comercializadas, geralmente de cor amarronzada e de tonalidade mais escura, indo na direção de madeiras como mogno, angelim vermelho, imbuia, entre outras.

Lopes (2010) corrobora, afirmando que na Europa os tratamentos térmicos são utilizados para escurecer madeiras claras, de baixo valor comercial, tornando-as mais parecidas esteticamente com madeiras tropicais, que são mais escuras e consideradas mais valiosas no mercado. O autor denomina o processo de "tropicalização".

A Tabela 6.45 apresenta os resultados da análise do efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa para a propriedades colorimétricas da madeira de tauari. A Tabela 6.46 apresenta os mesmos resultados em relação à prensa.

Tabela 6.45. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à estufa nas propriedades colorimétricas da madeira de tauari.

	Face Tangencial				Face Radial			
	Tempo (min)		Temperatura (°C)		Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200	30	60	180	200
L*	62,10 a	61,15 a	63,21 a	60,04 b	62,41 a	61,18 a	62,97 a	60,62 b
a*	7,71 a	8,56 b	7,59 a	8,68 b	8,20 a	8,76 b	7,84 a	9,12 b
b*	25,12 a	25,98 a	25,40 a	25,70 a	26,73 a	27,32 a	26,70 a	27,35 a
C	26,29 a	27,37 b	26,51 a	27,14 a	27,97 a	28,71 a	27,83 a	28,84 b
h*	72,94 a	71,74 b	73,35 a	71,32 b	72,94 a	72,21 a	73,61 a	71,54 b

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura) e entre a mesma face, não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

Tabela 6.46. Efeito isolado das variáveis tempo e temperatura em relação à prensa nas propriedades colorimétricas da madeira de tauari.

	Face Tangencial				Face Radial			
	Tempo (min)		Temperatura (°C)		Tempo (min)		Temperatura (°C)	
	30	60	180	200	30	60	180	200
L*	52,94 a	47,55 b	55,32 a	45,18 b	51,11 a	46,60 b	54,95 a	42,76 b
a*	9,31 a	9,20 a	9,46 a	9,05 a	9,96 a	10,27 a	10,04 a	10,19 a
b*	23,66 a	21,05 b	25,67 a	19,04 b	23,47 a	21,59 b	25,88 a	19,18 b
C	25,49 a	23,05 b	27,38 a	21,16 b	25,56 a	23,96 b	27,78 a	21,74 b
h*	68,20 a	64,91 b	69,72 a	63,39 b	66,55 a	63,71 a	68,68 a	61,58 b

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, para cada variável (tempo e temperatura) e entre a mesma face, não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

Os resultados discutidos anteriormente mostraram que para a madeira de tauari apenas um dos tratamentos alterou as propriedades colorimétricas de forma significativa na estufa. De acordo com a análise do efeito isolado do tempo e temperatura para esse equipamento (Tabela 5.45), o tempo influenciou nos parâmetros a*, C e h* da face tangencial e a* da face radial. A temperatura afetou mais parâmetros, tendo efeito no L*, a*, C e h* das duas faces da espécie.

Para a prensa (Tabela 5.46), a maioria dos parâmetros colorimétricos foi modificada com a alteração do tempo e temperatura, de forma que o efeito dessas variáveis se mostra importante. A alteração do tempo de 30 para 60 minutos causou redução de forma significativa os parâmetros L*, b*, C e h* (esse último apenas para a face tangencial). A alteração da temperatura de 180°C para 200°C teve efeito na redução do L*, b*, C e h* para as duas faces.

De acordo com os valores das Tabelas 5.45 e 5.46, a temperatura mostra-se alterando os valores das propriedades de forma mais expressiva, indicando ser esse o parâmetro de maior influência, principalmente para a prensa.

A Tabela 6.47 apresenta o efeito isolado do uso da estufa e da prensa nas propriedades colorimétricas da madeira de cumaru.

Tabela 6.47. Efeito isolado dos equipamentos nas propriedades colorimétricas da madeira de tauari.

	Face tangencial		Face radial	
	Estufa	Prensa	Estufa	Prensa
L*	61,62 a	50,25 b	61,80 a	48,86 b
a*	8,13 a	9,25 b	8,48 a	10,12 b
b*	25,55 a	22,35 b	27,03 a	22,53 b
C	26,83 a	24,27 b	28,34 a	24,76 b
h*	72,34 a	66,56 b	72,58 a	65,13 b

As médias seguidas de letras iguais na mesma linha, dentro da mesma face, não diferem estatisticamente pela ANOVA a 95% de probabilidade.

Em que: L* = luminosidade; a* = matizes do eixo vermelho-verde; b* = matizes do eixo amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta.

Os dados da Tabela 6.47 corroboram com os resultados discutidos anteriormente, evidenciando que a estufa e a prensa apresentaram resultados distintos em relação à alteração dos parâmetros colorimétricos da madeira de tauari.

A prensa alterou de forma mais expressiva a cor e parece ter sido, entre equipamento, temperatura e tempo, o fator de maior alteração nos ensaios. Para alteração da cor do tauari sugere-se dessa forma o uso da prensa.

A Tabela 6.48 apresenta a variação da cor calculada para a madeira de tauari tratada termicamente.

Tabela 6.48. Variação da cor da madeira de tauari para os tratamentos térmicos.

	Face tangencial				Face radial			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
T1 (estufa) 180°C 30min	-2,66	-0,16	-1,10	2,88	-0,87	-0,18	-0,23	0,92
T2 (estufa) 200°C 30min	-5,37	0,82	-0,97	5,52	-3,22	0,78	0,02	3,31
T3 (estufa) 180°C 60min	-3,16	0,58	-0,41	3,23	-2,10	0,06	-0,04	2,10
T4 (estufa) 200°C 60min	-6,77	1,79	0,07	7,00	-4,46	1,68	1,02	4,87
T5 (prensa) 180°C 30min	-7,45	1,19	-0,33	7,55	-6,63	1,45	-0,39	6,80
T6 (prensa) 200°C 30min	-18,89	2,68	-4,64	19,63	-20,07	2,68	-6,34	21,22
T7 (prensa) 180°C 60min	-14,14	2,98	-0,63	14,46	-12,38	2,84	-1,52	12,79
T8 (prensa) 200°C 60 min	-22,98	0,67	-9,57	24,91	-23,33	1,90	-8,97	25,07

Em que: ΔL^* = alteração da claridade; Δa^* e Δb^* = alteração das coordenadas e ΔE^* = alteração total da cor.

O ensaio em estufa a 180°C por 30 minutos (T1) teve alteração total de cor classificada de acordo com Hikita et al. (2001) como notável para a face tangencial e como ligeiramente perceptível na face radial. Os tratamentos em estufa a 200° e 30 minutos (T2) e a 180°C e 30 minutos (T3) para as duas faces apresentaram alteração classificada como notável. Para a face tangencial os tratamentos em estufa a 200°C e 60 minutos (T4) e na prensa a 180°C e 30 minutos (T5) apresentaram alteração muito apreciável, enquanto para a face radial os mesmos tratamentos foram classificados como de alteração apreciável e muito apreciável, respectivamente.

Os tratamentos na prensa a 200°C por 30 e 60 minutos e a 180°C por 60 minutos tiveram, para as duas faces, alteração considerada muito apreciável. Esses resultados reafirmam o discutido anteriormente de que a prensa foi o equipamento mais eficiente na

alteração da cor e de que o tempo e a temperatura influenciaram de forma expressiva a alteração colorimétrica da madeira de tauari.

De acordo com Sundqvist e Móren (2002), o ΔE é capaz de mostrar a distinção da cor da madeira a olho nu quando superior a 2,0. Schulz et al. (2020) relataram tratando termicamente a madeira de *Pinus elliottii* a 160°C, 200°C e 240°C em estufa um aumento progressivo na variação total da cor (ΔE) em função da elevação da temperatura do tratamento térmico. Os autores constataram que o plano radial apresentou menor ΔE quando comparando ao tangencial, de forma geral.

Garcia et al. (2014) e Mendez-Mejias e Moya (2016) afirmam que a variação total da cor é mais acentuada nos tratamentos em maior tempo, temperatura e pressão. No estudo foi possível observar que realmente tempo, temperatura e também equipamento influenciaram nos valores de variação total da cor encontrados para a madeira de tauari.

A Figura 6.3 ilustra a alteração da cor verificada para os tratamentos térmicos aplicados na madeira de tauari.

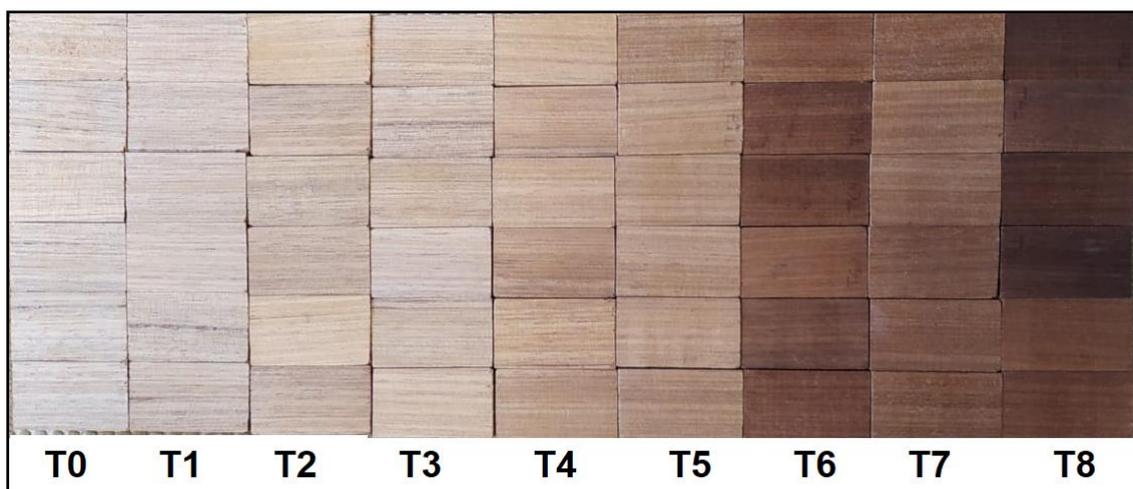


Figura 6.3. Testemunha e tratamentos térmicos da madeira de tauari. T0 – testemunha; T1 – tratamento T1; T2 – tratamento T2; T3 – tratamento T3; T4 – tratamento T4; T5 – tratamento T5; T6 – tratamento T6; T7 – tratamento T7; T8 – tratamento T8.

Fonte: A autora (2021).

Os tratamentos realizados na prensa (T5, T6, T7 e T8) escureceram de forma evidente a cor da espécie, enquanto os ensaios na estufa (T1, T2, T3 e T4) alteraram a cor da espécie, mas com menor intensidade (Figura 6.3).

6.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada na superfície de amostras não tratadas (testemunha) e tratadas para analisar a integridade superficial das madeiras para os tratamentos térmicos. Para cada tratamento foram obtidas imagens com aumentos de 50, 100 e 500 vezes. As Figuras 6.4 a 6.12 referem-se à madeira de cumaru.

Os elementos anatômicos de mais fácil visualização na seção transversal, principalmente com aumento de 50 vezes, são os vasos, denominados de poros quando observados nesta seção. Há um alongamento dos poros no sentido radial, quando vistos na seção transversal, e apresentam-se circulares ou ovais.

A Figura 6.4 mostra a madeira de cumaru não tratada, íntegra, entretanto com a face transversal felpuda, provavelmente devido ao efeito da serra de corte na confecção das amostras. Assim, nas imagens os poros estão pouco evidentes, sendo percebidos superficialmente obstruídos no aumento de 50x e mais nítidos no aumento de 100x.

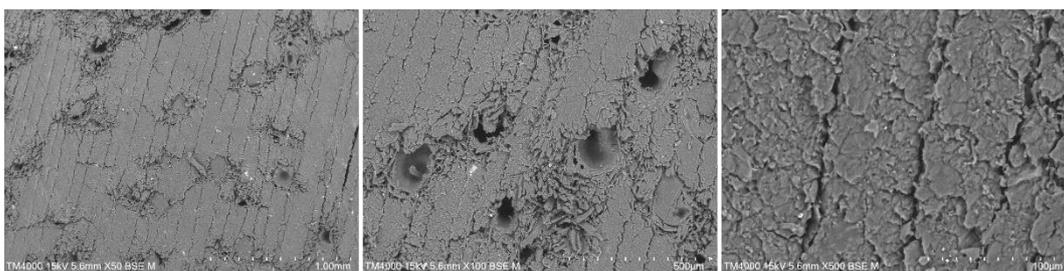


Figura 6.4. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru não tratada (testemunha), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

Nas Figuras 6.5, 6.6 e 6.7 é possível perceber interessante efeito dos tratamentos térmicos na estufa a 180°C por 30 minutos (T1), 200°C por 30 minutos (T2) e 180°C por 60 minutos (T3) em que se criou uma película de aspecto vítreo na superfície da madeira de cumaru. Trata-se, provavelmente, dos extrativos da espécie que migraram para a superfície juntos com a água e ali permaneceram por não conseguirem evaporar, criando uma camada protetora, de forma que os elementos anatômicos, principalmente os poros, passaram a ser menos visíveis nas imagens.

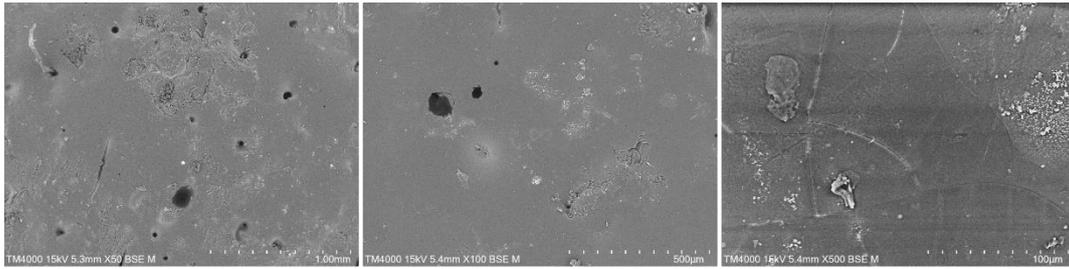


Figura 6.5. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na estufa à 180°C por 30 minutos (T1), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

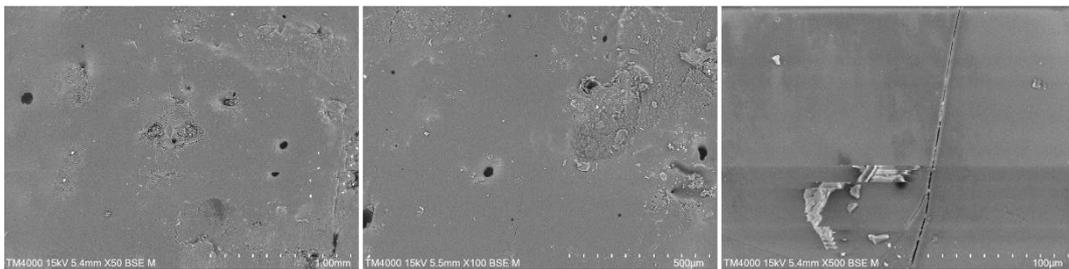


Figura 6.6. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na estufa à 200°C por 30 minutos (T2), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

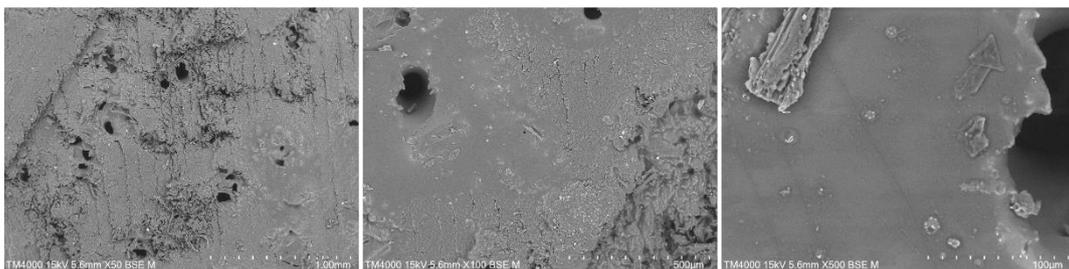


Figura 6.7. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na estufa à 180°C por 60 minutos (T3), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

A Figura 6.8 mostra ainda indícios da película supracitada na superfície, mas de forma fragmentada, indicando que o tratamento a 200°C e 60 minutos (T4) deixou essa proteção mais dissipada e quebradiça.

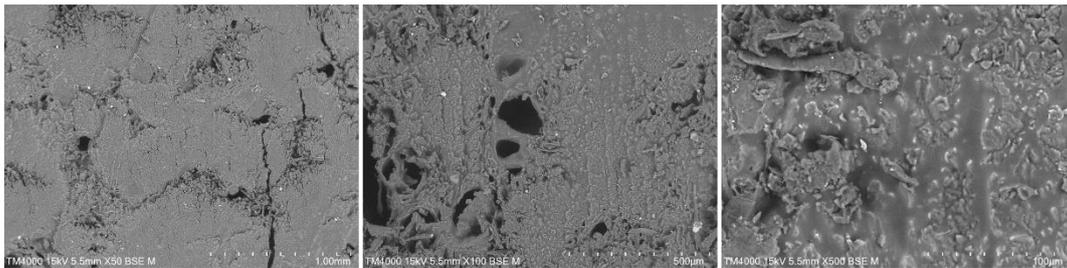


Figura 6.8. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na estufa à 200°C por 60 minutos (T4), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

Na Figura 6.9 observa-se o efeito do tratamento na prensa à 180°C por 30 minutos (T5). O efeito da transição dos extrativos para a superfície com a formação de uma película é pouco evidente para a prensa nessa condição mais branda de ensaio.

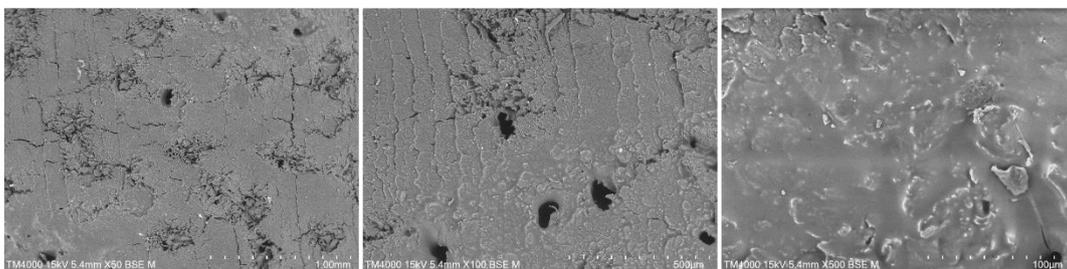


Figura 6.9. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na prensa à 180°C por 30 minutos (T5), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

Nas Figuras 6.10 e 6.11, em que as amostras foram tratadas à 200°C e 30 minutos (T6) e 180°C por 60 minutos (T7) o efeito da película é observado, mas de forma mais fragmentada que os ensaio à mesma temperatura e tempo na estufa. É possível nessas imagens, principalmente nas de menor aumento (50x), visualizar com mais clareza os poros da madeira.

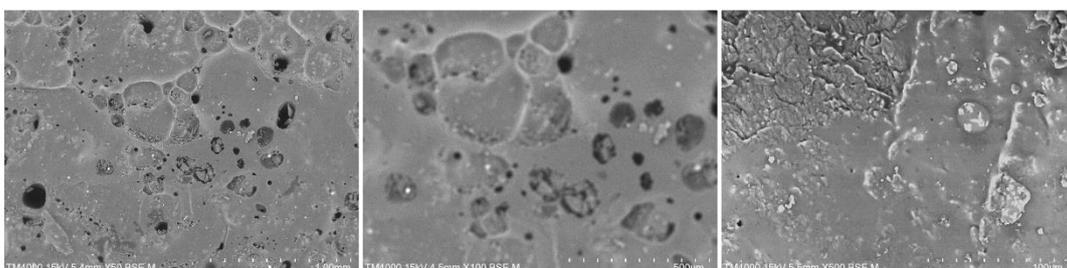


Figura 6.10. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na prensa à 200°C por 30 minutos (T6), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

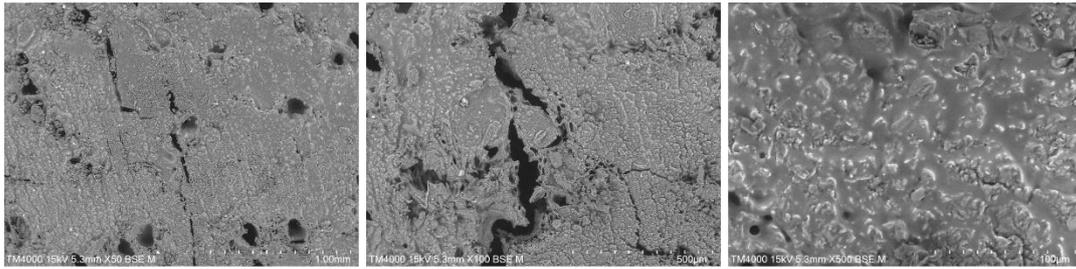


Figura 6.11. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na prensa à 180°C por 60 minutos (T7), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

Na Figura 6.12, tratamento a 200°C por 60 minutos (T8), a presença da película é mais evidente, mostrando o efeito de uma espécie de cobertura na superfície da amostra. Ainda é possível observar os poros da madeira, mas encobertos pela película criada.

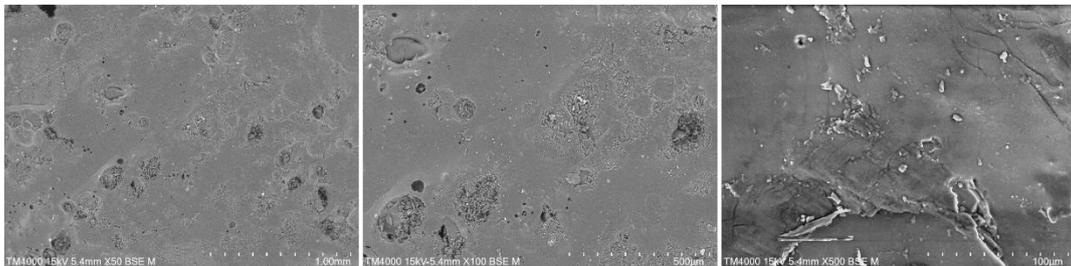


Figura 6.12. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de cumaru tratada na prensa à 200°C por 60 minutos (T8), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

As Figuras 6.13 a 6.21 mostram a madeira de maçaranduba não tratada e de acordo com os tratamentos realizados. A Figura 5.13 mostra a madeira da espécie não tratada, apresentando-se íntegra, sem rachaduras. Os poros nesta espécie são pouco visíveis, provavelmente por apresentarem-se obstruídos.

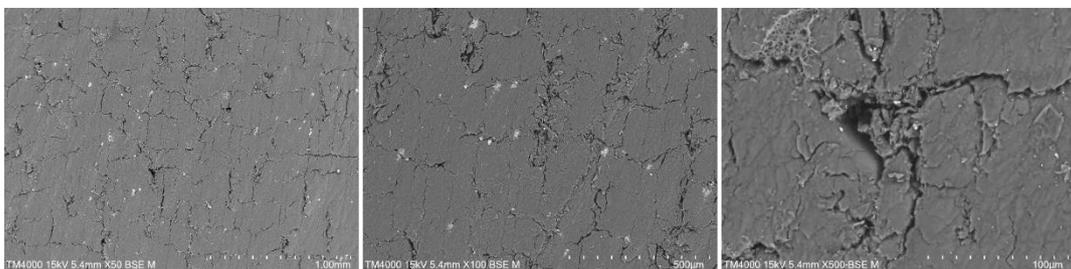


Figura 6.13. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba não tratada (testemunha), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

Na Figura 6.14 a amostra foi tratada à 180°C por 30 minutos (T1) na estufa e da mesma forma a madeira apresenta-se íntegra e sem aparente diferença da testemunha.

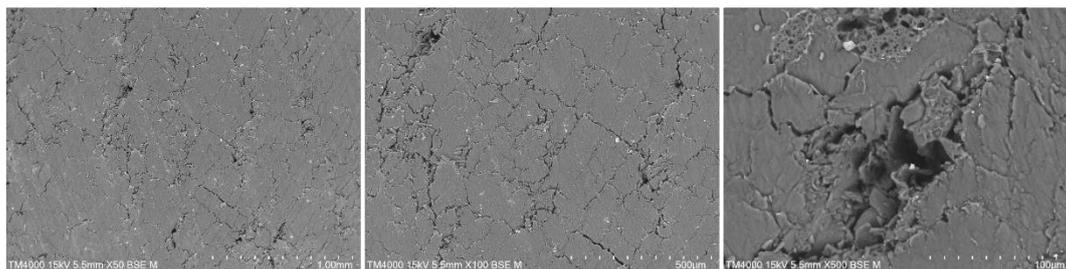


Figura 6.14. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na estufa à 180°C por 30 minutos (T1), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

A Figura 6.15 apresenta a amostra tratada na estufa a 200°C por 30 minutos (T2) e a imagem com menor aumento (50x) mostra uma rachadura, indicando que a temperatura de ensaio foi agressiva, causando defeito na amostra.

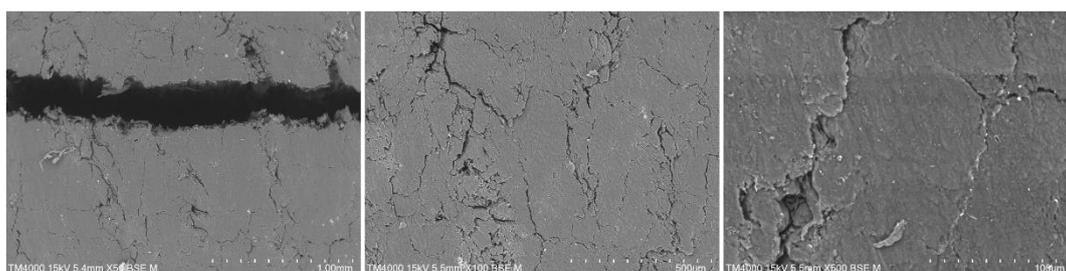


Figura 6.15. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na estufa à 200°C por 30 minutos (T2), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

Na Figura 6.16, em que a madeira foi tratada à 180°C e 60 minutos (T3) na estufa, não se observam rachaduras. Enquanto a Figura 6.17, cujo tratamento foi na estufa à 200°C e 60 minutos, apresenta evidente e centralizada rachadura na superfície, corroborando com a hipótese de que a temperatura mais elevada (200°C) foi responsável pelo defeito, tendo a mudança no tempo de ensaio não apresentado esse efeito.

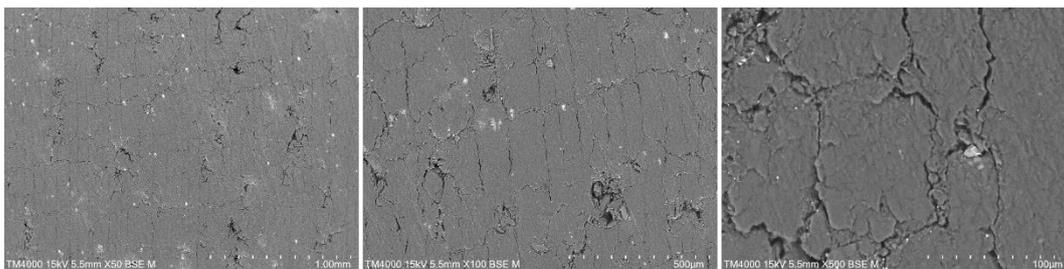


Figura 6.16. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na estufa à 180°C por 60 minutos (T3), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

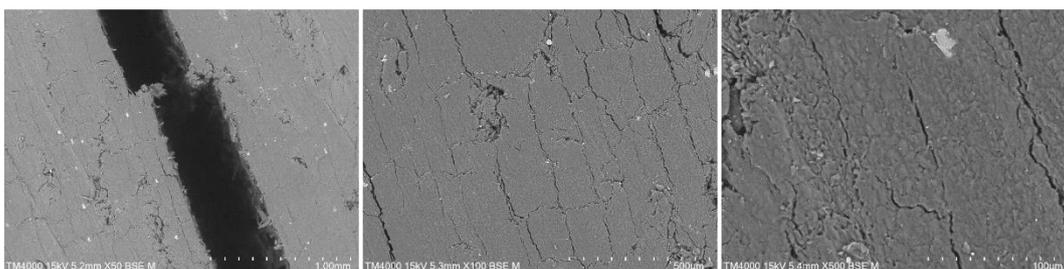


Figura 6.17. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na estufa à 200°C por 60 minutos (T4), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

Em relação aos tratamentos realizados na prensa, para essa espécie o efeito de gerar rachaduras na superfície foi mais severo, pois esses defeitos são percebidos em todos os tratamentos nesse equipamento (Figuras 6.18 a 6.21).

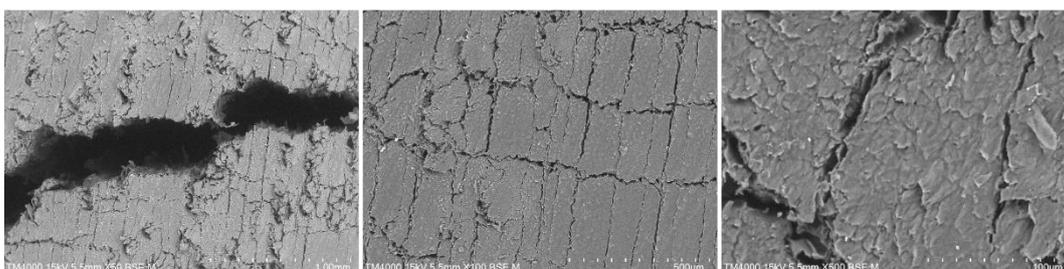


Figura 6.18. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na prensa à 180°C por 30 minutos (T5), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

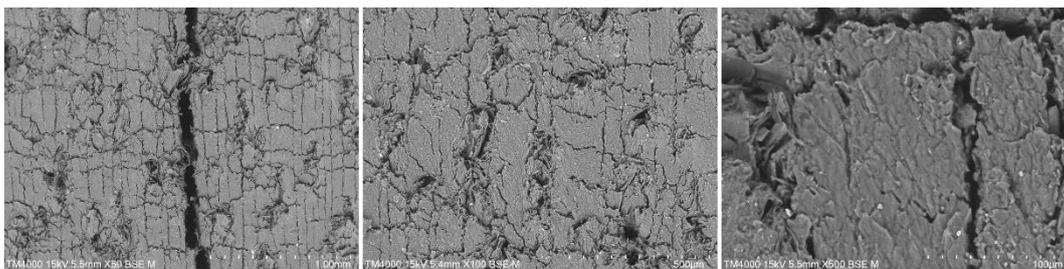


Figura 6.19. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na prensa à 200°C por 30 minutos (T6), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

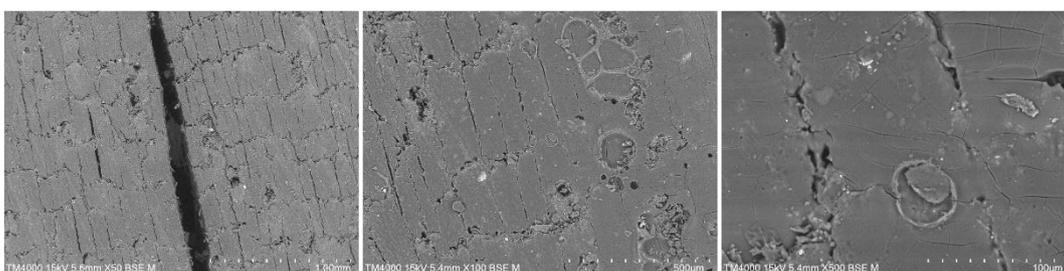


Figura 6.20. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na prensa à 180°C por 60 minutos (T7), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

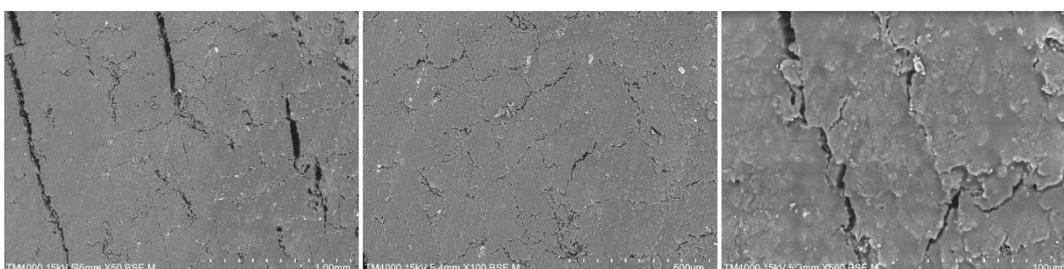


Figura 6.21. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de maçaranduba tratada na prensa à 200°C por 60 minutos (T8), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

As Figuras 6.22 a 6.30 ilustram a madeira de tauari testemunha e tratadas termicamente. A Figura 6.22 apresenta a madeira da espécie não tratada, com aparência íntegra e nítido brilho superficial.

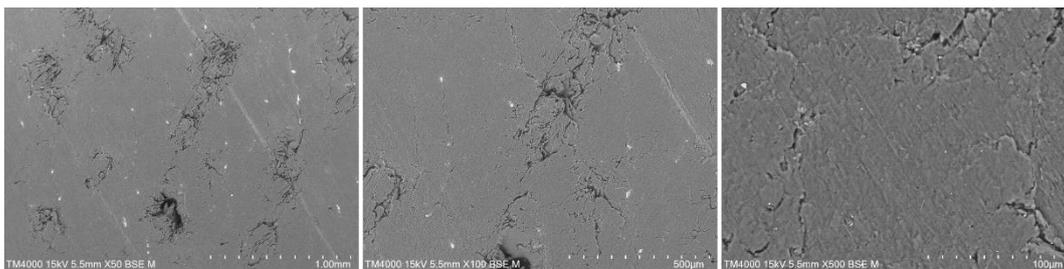


Figura 6.22. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari não tratada (testemunha), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

As imagens da madeira dessa espécie para todos os tratamentos mostram sua face transversal sem rachaduras e sem efeito aparente de deterioração. A espécie também não aparenta ter formado uma película superficial. Nas Figuras 6.22, 6.23, 6.24 e 6.25 os poros são pouco visíveis, de forma que provavelmente apresentam-se obstruídos.

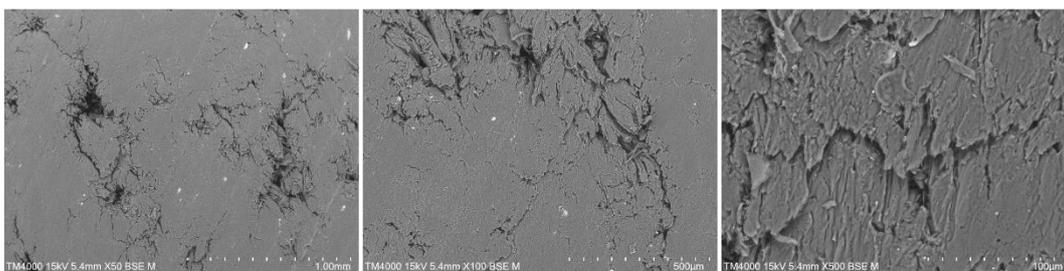


Figura 6.23. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na estufa à 180°C por 30 minutos (T1), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

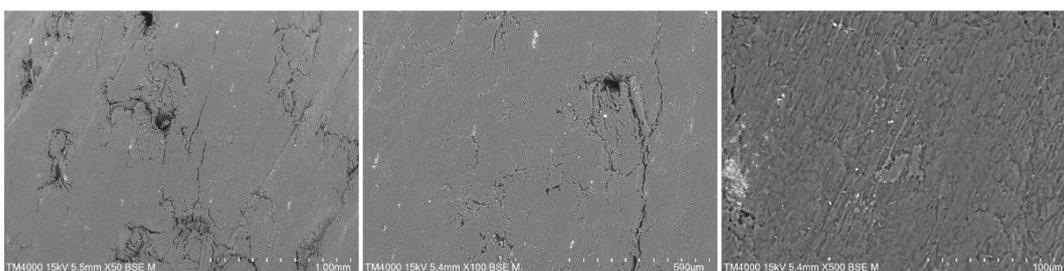


Figura 6.24. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na estufa à 200°C por 30 minutos (T2), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

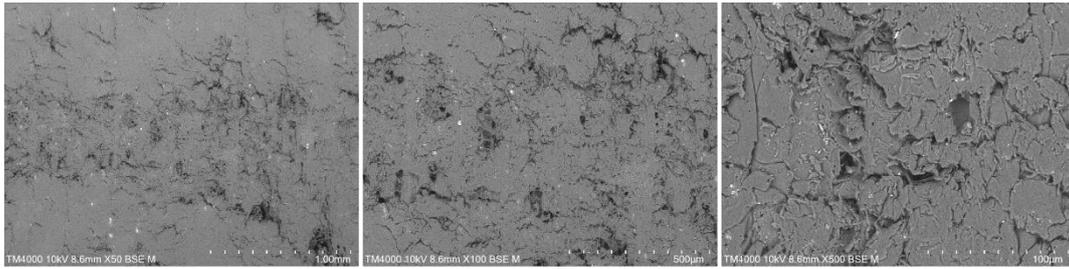


Figura 6.25. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na estufa à 180°C por 60 minutos (T3), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

Nas Figuras 6.26 e 6.27, os poros são mais evidentes, apesar de obstruídos. O brilho da espécie continua nítido em todos os tratamentos e percebe-se que os tratamentos tornam a madeira mais lisa pela diminuição da rugosidade superficial. Nas Figuras 6.28 e 6.30, que mostram os tratamentos com temperatura de 200°C, esse efeito parece ainda mais expressivo.

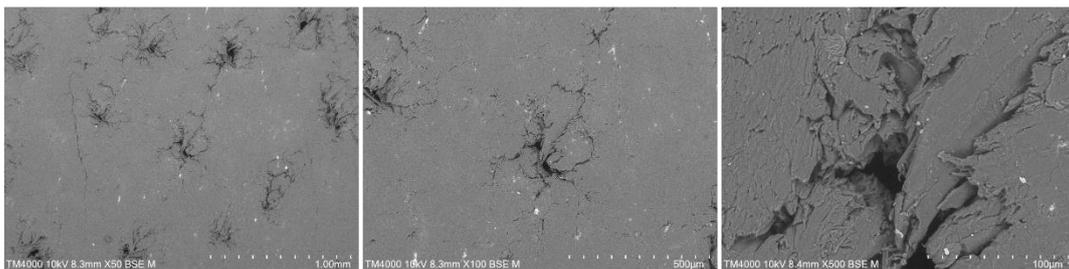


Figura 6.26. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na estufa à 200°C por 60 minutos (T4), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

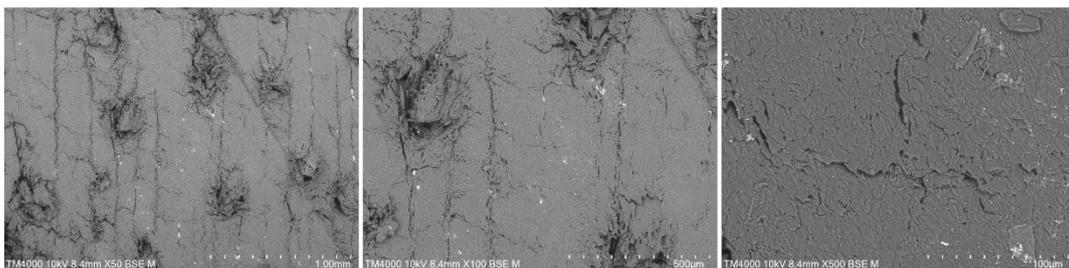


Figura 6.27. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na prensa à 180°C por 30 minutos (T5), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

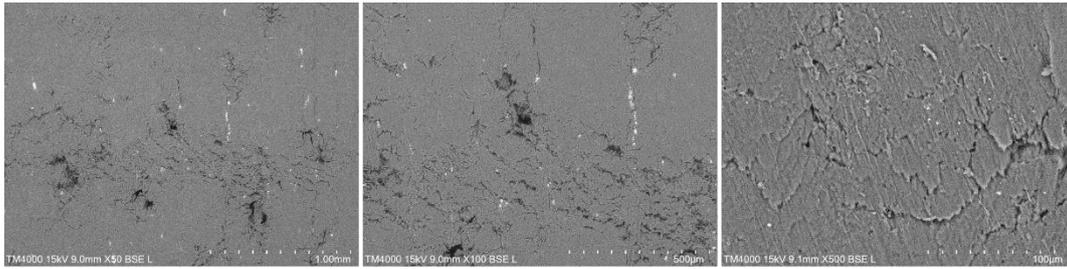


Figura 6.28. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na prensa à 200°C por 30 minutos (T6), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

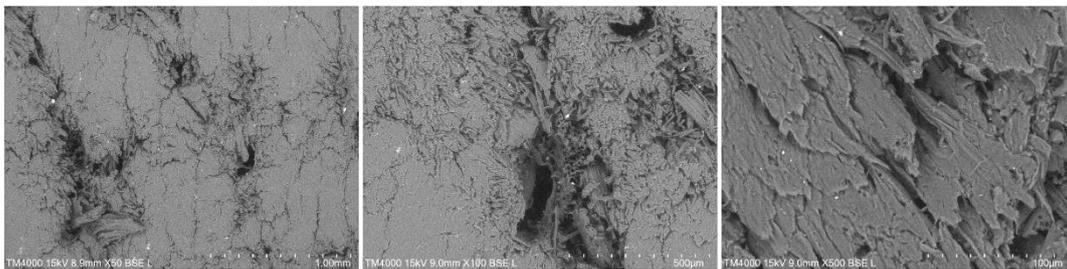


Figura 6.29. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na prensa à 180°C por 60 minutos (T7), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

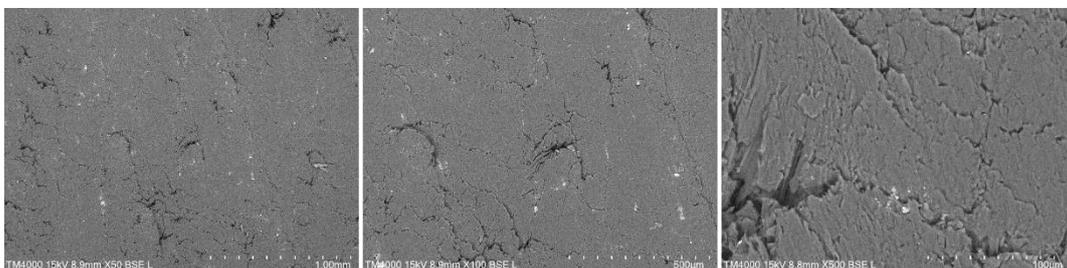


Figura 6.30. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da face transversal da madeira de tauari tratada na prensa à 200°C por 60 minutos (T8), com aumentos de 50x, 100x e 500x, respectivamente.

Fonte: A autora (2019).

De forma geral pode-se perceber visualmente que os tratamentos térmicos deixaram as espécies menos rugosas, provavelmente pela degradação dos tecidos da superfície (principalmente as fibras), acrescentando que para a madeira de cumaru tem-se ainda a presença de uma película superficial. Diversos autores (FERREIRA, 2017; SALCA E HIZIROGLU, 2014; GUNDUZ et al., 2008) comentam o efeito da diminuição da rugosidade superficial na madeira tratada termicamente e afirmam que os tratamentos melhoram a qualidade superficial da madeira, por diminuir sua rugosidade, tornando-a mais lisa.

De acordo com Ferreira (2017), dependendo da utilização, a diminuição da rugosidade superficial da madeira causada pelo tratamento térmico pode ser considerada boa ou ruim. Quando se deseja melhorar a qualidade superficial para dar melhor acabamento à superfície da madeira isso seria uma vantagem.

Percebe-se pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura que os tratamentos térmicos conseguiram criar uma proteção superficial nas madeiras estudadas, pelo acréscimo de uma película, ou pelas obstruções dos poros, ou ainda por deixar a superfície menos rugosa. Isso pode ter contribuído para explicar a redução da higroscopicidade das madeiras, ao final dos tratamentos térmicos.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir:

- A madeira de cumaru não apresentou variação significativa de densidade básica entre os tratamentos térmicos e a madeira não tratada. Para a densidade aparente, houve redução significativa da propriedade apenas para os ensaios na prensa.
- Para a madeira de cumaru a taxa de absorção de água, efetividade de repelência à água e eficiência anti-inchamento evidenciaram que todos os tratamentos foram eficazes na redução da higroscopicidade da madeira para todos os tratamentos realizados, principalmente para a prensa. Os inchamentos lineares e o coeficiente de anisotropia de inchamento tiveram redução expressiva em todos os tratamentos realizados, enquanto as retratibilidades apresentaram alteração significativa apenas para os tratamentos na prensa.
- Os tratamentos térmicos não afetaram os módulos de elasticidade dinâmicos da madeira de cumaru.
- Para a madeira de cumaru, todos os tratamentos realizados reduziram a claridade da madeira, de forma que escureceram as duas faces das amostras. Os demais parâmetros colorimétricos também foram reduzidos. As alterações mais expressivas de cor ocorreram com o uso da prensa.
- A madeira de maçaranduba em relação às densidades aparente e básica apresentou redução significativa em todos os tratamentos, exceto os tratamentos a 30 minutos da estufa. A perda de massa apresentou valores maiores nos ensaios realizados na prensa.

- As propriedades de taxa de absorção de água, efetividade de repelência à água e eficiência anti-inchamento para a madeira de maçaranduba submetidas aos tratamentos na prensa apresentaram resultados mais promissores que os da estufa, indicando que a prensa para a espécie foi mais eficaz na redução da higroscopicidade. Os inchamentos e retratibilidades corroboraram com os achados supracitados, indicando que a prensa foi mais eficiente na estabilização dimensional da maçaranduba.
- A madeira de maçaranduba apresentou redução da claridade para todos os tratamentos térmicos nas duas faces (tangencial e radial) da madeira. As alterações mais severas da cor foram observadas nos tratamentos com maior temperatura na prensa.
- Para a madeira de maçaranduba, apenas o tratamento mais severo e na prensa (200°C por 60 minutos) reduziu significativamente os módulos de elasticidade dinâmico pelo stress wave e ultrassom.
- Para a madeira de tauari, os tratamentos estudados não alteram significativamente as densidades básica e aparente. A perda de massa foi maior nos tratamentos na prensa.
- A taxa de absorção de água, efetividade de repelência à água e eficiência anti-inchamento mostraram que todos os tratamentos foram eficientes na redução da higroscopicidade da madeira de tauari, com resultados similares para os dois equipamentos. Os inchamentos evidenciaram redução expressiva em todos os tratamentos, entretanto as retratibilidades não mostraram alterações consistentes.
- A madeira de tauari apresentou um efeito mais similar entre estufa e prensa que as outras espécies, tendo os dois equipamentos produzido efeitos promissores na redução da capacidade de absorção de água da madeira tratada.
- A madeira de tauari não apresentou significativa alteração da cor nos tratamentos mais amenos na estufa para as duas faces (tangencial e radial). Na prensa, entretanto, todos os tratamentos modificaram a cor, escurecendo expressivamente as duas faces da madeira. Os tratamentos na prensa com temperatura mais elevada, de 200°C, foram os que mais escureceram a madeira.

- A madeira de tauari não apresentou alteração significativa dos módulos de elasticidade obtidos pelo ultrassom e stress wave em nenhum dos tratamentos em relação à testemunha.
- A análise fatorial do efeito isolado do tempo e temperatura indicou que a maioria das propriedades físicas, incluindo os parâmetros colorimétricos, foi afetada pelas duas fontes de variação, de forma que o tempo de ensaio e a temperatura interferem nos resultados do tratamento térmico. Para a prensa, o efeito isolado do tempo e da temperatura mostram-se mais evidentes, principalmente para a madeira de maçaranduba. Os módulos de elasticidade dinâmicos, entretanto, não apresentaram diferença significativa em relação à mudança no tempo, temperatura e equipamento utilizados.
- O efeito isolado dos equipamentos utilizados também mostra que a maneira de aquecer as amostras influenciou significativamente nos resultados das propriedades físicas obtidas.
- O estudo sugere que os dois equipamentos apresentam efeitos expressivos na redução da higroscopicidade e instabilidade dimensional, sem comprometimento do módulo de elasticidade dinâmico da madeira. Também apresentaram resultados positivos no escurecimento da espécie, técnica utilizada para a valorização desse material para determinados usos.
- Recomenda-se, em estudos futuros, determinar a composição química das madeiras tratadas, comparando a redução dos teores de hemicelulose, principalmente, e correlacionando essa redução com as propriedades físicas. Outras propriedades mecânicas também devem ser utilizadas para auxiliar na compreensão dos resultados, atestando que os tratamentos não afetaram tais propriedades. Outras espécies com aptidão comercial devem ser utilizadas em testes similares, pois como constatado neste estudo, cada espécie tem comportamento distinto em relação ao seu tratamento térmico. As técnicas de infravermelho, além da cromatografia gasosa, podem auxiliar para acompanhar o comportamento da madeira em estudos de tratamentos térmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKYILDIZ, M. H.; ATES, S.; OZDEMIR, H. Technological and chemical properties of heat-treated Anatolian black pine wood. *Journal of Biotechnology*, v. 8, n. 11, p. 2565-2572, 2009.

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 D143-09: Standard test methods for small clear specimens of timber. West Conshohocken: ASTM International, 2009.

ARAÚJO, S.O. Propriedades de madeiras termorretificadas. Tese (Doutorado em ciências florestais). Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2010.

AUTRAN, C.; GONÇALEZ, J.C. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Müll Arg.) visando à utilização em interiores. *Ciência Florestal*, v. 16, n. 4, p. 445-451, 2006.

AYTIN, A.; KORKUT, S.; UNSAL, Ö.; ÇAKICIER, N. The effects of heat treatment with the ThermoWood® method on the equilibrium moisture content and dimensional stability of wild cherry wood. *BioResources*, 2015. 10(2), 2083-2093.

AZEVEDO, A. C. S.; QUIRINO, W. F. Aumento da estabilidade na madeira de eucalipto através de tratamento térmico. *Revista da Madeira*, Curitiba, v. 16, n. 98, p. 50-58, ago. 2006.

BARBOSA, Uyara de Sousa Travassos. Caracterização físico-mecânica da madeira cumaru (*Amburana cearensis*) para a aplicação em mobiliário. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. 2011.

BATISTA, D. C. Retificação térmica, termorretificação, tratamento térmico, tratamento com calor ou modificação térmica? *Ciência Florestal*, 29(1), 463-480. 2019.

- BATISTA, D.C. Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP Holzsysteme. 338f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BELLON, K. R. R. Modificação térmica da madeira de três espécies de florestas plantadas pelo processo VAP Holzsysteme®. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- BOONSTRA, M. J.; RIJSDIJK, J. F.; SANDER, C.; KEGEL, B.; TJEERDSMA, B.; MILITZ, H.; VAN ACKER, J.; STEVENS, M. Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 1. Softwoods. *Maderas: Ciencia y tecnología*. Concepción, v. 8. n. 3, p. 193-208, 2006.
- BOONSTRA, M. J; VAN ACKER, J; TJEERDSMA, B. F; KEGEL, E. V. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of forest science*, 64(7), 679-690. 2007.
- BORGES, L.M.; QUIRINO, W.F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. *Biomassa & Energia*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.
- BRITO, J. O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. Anais... São Paulo: SBS/SBEF, 1993. p.774.
- BRITO, J. O.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; PESSOA, A. M. C.; SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.
- BRITO, J. O.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO, G. J. R.; PESSOA, A. M. C.; SILVA P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. *Cerne* 2006; 12(2): 182-188.
- BRITO, J.O SILVA, F.G; LEÃO, M.M; ALMEIDA, G. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. *Bioresource technology*, 99(18), 8545-8548. 2008.

BRITO, J.O. Estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus citriodora* sobre os resíduos sólidos da pirólise. 81 f. Tese (Livre Docência) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1992.

BRITO, J.O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: Congresso Florestal Brasileiro, 1993. Anais... Curitiba: SBS; SBEF, 1993, p.774.

BRITO, T.M. Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira juvenil de *Eucalyptus grandis* W. Hill e *Tectona grandis* L. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2018.

BRITO, F.M.; PAES, J.B.; SILVA, J.T.; ARANTES, M.D.; DUDECKIET, A. Chemical characterization and biological resistance of thermally treated bamboo. *Construction and Building Materials*, v. 262, p. 1–9, 2020.

BROWNING, B.L. *Methods of wood chemistry*. v.2. New York. A division of John Wiley & sons. 1967.

BUCUR, V.; BOHNKE, I. Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. *Ultrasonics*, v. 32, n. 5, p. 385-390, 1994.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. *anatomia da madeira*. São Paulo, Nobel, p.11-123. 1991

BUTTERFIELD, B. The structure of wood: form and function, 1-22 in Walker, J.(2006) – Primary wood processing – principles and practice. Springer. 2006.

CADEMARTORI, P. H. G.; SCHNEID, E.; GATTO, D. A.; MARTINS STANGERLIN, D.; BELTRAME, R. Thermal modification of *Eucalyptus grandis* wood: variation of colorimetric parameters. *Maderas. Ciencia y tecnología*, v.15, n.1, p.57-64, 2013.

CADEMARTORI, P.H.G.; MISSIO, A.L; MATTOS, B.D.; SCHNEID, E.; GATTO, D.A. Physical and mechanical properties and colour changes of fastgrowing Gympie messmate wood subjected to two-step steam-heat treatments. *Wood Material Science & Engineering*, v.9, n.1, p.1-9, 2014b.

CALDERAZZO, D. N.; YAMAJI, F. M.; Propriedades físicas da madeira de pinus relacionadas à higroscopia. *Anais de Eventos da UFSCar, São Carlos, São Paulo*, v.6, n.3, 2010.

CALEGARI, L. Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira. Santa Maria: UFSM, 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, Francisco Antonio Rocco ; DIAS, Antonio Alves . Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira. 1. ed. Barueri - SP: Editora ManoleLtda, 2002. v. 1. 152p.

CALONEGO, F.W. Efeito da termorreificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Tese (Doutor em Agronomia). 149p. Botucatu, 2009.

CALONEGO, F.W.; SEVERO, E.T.D.; BALLARIN, A.W. Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *E. grandis*. *European Journal of Wood and Wood Products* 2012; 70(4): 453-460. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-011-0568-5>

CALONEGO, Fred Willians. Caracterização tecnológica da madeira de *schizolobium parahyba* (Vell.) blake modificada termicamente. Tese (Doutorado em Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, São Paulo, 2017.

CAMARGOS, J.A. Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais. Brasília, 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

CAMARGOS, J.A; GONÇALEZ, J.C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. *Brasil Florestal*, Nº 71, setembro de 2001.

CARVALHO, A.G; ZANUNCIO, A.J.V; SILVA, C.M.S; CARNEIRO, A.C.O; PAULA, M.O. Método de ressonância para predição das propriedades mecânicas das madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus oocarpa* termorreificadas. *Revista Matéria*, v. 22, n. 1, 2017.

CHEN, Y.; FAN, Y.; GAO, J.; STARK, N. M. The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (*Robinia pseudocacia*) wood flour. *BioResources*, v. 7, n. 1, p. 1157-1170, 2012.

CHICHIGNOUD, M., D.; DETIENNE, P.; PARANT, B.; VANTOMME, P. Atlas de maderas tropicales de America Latina. Organización Internacional de las Maderas Tropicales/ Centre Technique Forestier Tropical. Nogent-sur-Mame, Yokohama. 1990.

CLAY, J.W; SAMPAIO, P.T.B; CLEMENT, C.R. Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias. SEBRAE/AM. Programa de desenvolvimento empresarial e tecnológico. Manaus, 409p. 1999.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 461: maderas: método de determinación del peso específico aparente. La Paz, 1972.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 555: maderas: método de determinación de flexión estática. La Paz, 1972.

CONTE, B. Propriedades tecnológicas de madeiras do gênero *Eucalyptus* submetida a termorreificação em óleo vegetal. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul. 122f. 2015.

CONTE, B.; MISSIO, A. L.; PERTUZZATTI, A.; CADEMARTORI, P. H.; GATTO, D. A. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorreificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. Revista Scientia Forestalis, 2014, Piracicaba, v.42, n.104, p.555-563.

CORADIN, V.T.R. Estrutura Anatômica da Madeira e Princípios para a sua Identificação. 28p. - Brasília: LPF, 2002.

COST ACTION E22: Environmental optimisation of wood protection, 2001, Antibes. Review on heat treatments of Wood. Hamburg: The Federal Research Centre for Forestry and Forest Products Information and Documentation, 2001.

COSTA, A. Anatomia da madeira. Coletâneas de Anatomia da Madeira. 2001. Disponível em: <www.joinville.udesc.br/sbs/.../APOSTILANATOMIA1.pdf>. Acesso em: Maio de 2019.

COSTA, J. D. 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. Cerne, 17, 133-139. 2011.

DA SILVA, R. A. F.; SETTER, C.; MAZETTE, S. S.; DE MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Colorimetria da madeira de trinta espécies tropicais. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), 8(1). 2017.

D'ALMEIDA, M.L.O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2 ed. IPT- SENAI, São Paulo, 1988.

D'ALMEIDA, M.L.O.; KOGA, M.E.T.; FERREIRA, D.C.; PIGOZZO, J.B. Composição química da madeira e matérias-primas fibrosas. In: Celulose. SENAI, São Paulo, 2013.

DE PAULA, M. H.; DE MESQUITA, R. R. S.; GONÇALEZ, J. C.; RIBEIRO, E. S.; SOUZA, R. S. Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* Willd). *Biodiversidade*, 15(2). 2016.

DE PAULA. Efeito do tratamento térmico em propriedades tecnológicas das madeiras de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) e Sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess). Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, 2016.

DEL MENEZZI, C.H.; SILVEIRA, R.R.; SOUZA, M.R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. *Acta Amazônica*. Vol. 40(2) p.325-332. 2010.

DELUCIS, R. D. A.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G. D.; MISSIO, A. L.; SCHNEID, E. Propriedades físicas da madeira termorretificada de quatro folhosas. *Floresta e Ambiente*, 21, 99-107. 2014.

DOS ANJOS, F.P; DE SOUSA, A.M.L. Umidade de equilíbrio em madeira termorretificada de cupiúba da região amazônica. *Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)*, v. 5, n. 1, p. 99-104, 2015.

DUCHEZ, L; GUYONNET, R. Principles & applications of wood retification. In: 5TH WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING. 1998. p. 648-653.

DZURENDA, L. The shades of color of *Quercus robur* L. wood obtained through the processes of thermal treatment with saturated water vapor. *BioResources*, v. 13, n. 1, p. 1525-1533, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGRAPECUÁRIA - EMBRAPA. *Amazônia Oriental. Maçaranduba – Manilkara huberi*. Belém, 2004. 6 p. (Espécies Arbóreas da Amazônia, 4).

ESAU, K. Anatomia das plantas com sementes. Editora Edgard Blucher Lda. S.Paulo. Brasil, 293 pp. 1974.

ESTEVES, B.; GRAÇA, J.; PEREIRA, H. Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated eucalypt wood. *Holzforschung*, v.62, p. 344-351, 2008.

- ESTEVEES, B.; PEREIRA, H. Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 2008, v. 4, n. 1, p. 370-404.
- ESTEVEES, B.; VELEZ MARQUES, A.; DOMINGOS, I.;PEREIRA, H. Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science and Technology*, New York, v. 42, n. 5, p.369-384, 2008.
- ESTEVEES, B.M. A indústria de preservação em Portugal. *Millenium*, n. 36, 2016.
- ESTEVEES, B.M.; PEREIRA, H.M. Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources*, v.04, n.01, p.370-404, 2009.
- ESTEVEES, B.M.; VIDEIRA, R.; PEREIRA, H. Chemistry and ecotoxicity of heat treat pine wood extractives. *Wood Science and Technology*, Berlin, v.45nn.4,p.661-676, 2011.
- ESTEVEES, B; PEREIRA, H. Novos métodos de protecção da madeira. In: 6º Congresso Florestal Nacional-A floresta num mundo globalizado. 2009.
- FAHN, A. Anatomia Vegetal. Ediciones Pirâmide, S. A. Madrid, 643 pp. 1985.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood - Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter, 1989, 613p.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood. Chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin, New York, walter de Gruyter. 1984.
- FERREIRA, B. S. Avaliação do desempenho de compensados de *Pinus taeda* submetidos a tratamento térmico e químico. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista. 2017.
- FERREIRA, L.V. Aplicação de tratamento térmico para estabilização da madeira de *Manilkara sp.* (Maçaranduba). Universidade de Brasília. Brasília, 2012.
- FERREIRA, M.D; MELO, R.R.D; ZAQUE, L.A.N; STANGERLIN, D.M. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE ANGELIM-PEDRA SUBMETIDA A TRATAMENTO TÉRMICO. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 16(1), 3-7, 2019.
- FERREIRA, M.D; MELO, R.R.D; ZAQUE, L.A; STANGERLIN, D. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de angelim-pedra submetida a tratamento térmico. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 16(1), 3-7. 2019.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. *Ambiente Construído*, Porto alegre, v.9 n.4, p.157-174, outubro/ dezembro, 2009.

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. *Thermowood Handbook*. Helsinki, Finland. 2003.

FOELKEL, C.E.B. *Estrutura da Madeira*. Cenibra. Belo Horizonte. Janeiro, 1977.

FREITAS, F. P; CARVALHO, A.M.M.L; CARNEIRO, A.D.C.O; CANAL, W.D; CASTRO, R.V.O. Efeito do tratamento hidrotérmico e congelamento nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto. *Revista Caatinga*, 30(4), 938-946. 2017.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. *Secagem racional da madeira*. São Paulo: Nobel. 111 p. 1985.

GARCIA, F.M; MANFIO, D.R; SANSÍGOLO, C.A; MAGALHÃES, P.A.D. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. *Floresta e Ambiente*, 468-474. 2012.

GARCIA, R. A.; LOPES, J. D. O.; SANTOS, W. A. Modificação da cor original da madeira de *Eucalyptus grandis* através de tratamentos termorretilificadores. *Cerne*, v. 20, n.3, p. 449-457, 2014. DOI: 10.1590/01047760201420031410.

GARCIA, R.A.; CARVALHO, A.M.; LATORRACA, J.V.F.; MATOS, J.L.M.; SANTOS, W.A.; SILVA, R.F.M. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. *Wood Science and Technology*, Berlin, v.46, n.1, p.41-52, 2012.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: *Wood handbook*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

GOMES, J. I.; SILVA E. M. A.; MELO, A. T. S. Durabilidade de 15 espécies de madeiras amazônica em contato com o solo em ambiente sombreado. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 4 p. (Comunicado Técnico, 148).

GONÇALEZ, J.C. Caracterisation technologique de quatre especes peu connues de la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques. 445

f. Thèse (Doctorat en Sciences Forestières) - Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Nancy, France, 1993.

GONÇALEZ, J.C.; ATAYDE, C.; SOUZA, F.; XAVIER, L.F.; RIBEIRO, P.G.; TELES, R.F. Apostila Tecnologias alternativas ao Estudo da madeira e derivados. Universidade de Brasília, 2012.

GOUVEIA, F. N. Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais. 133 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

GRIEBELER, C. G. O. Colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden modificada termicamente. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) Curitiba, 2013.

GUEDIRA, F. Pyrolyse lente de la biomasse: comportement compare des tourteux d olives, de la bagasse de canne a sucre et la sciure de bois (Pin maritime). 122 f. Thèse (Docteur) - Université Mohamed, Maroc, 1988.

GUNDUZ, G.; AYDEMIR, D.; KORKUT, S. The effect of heat treatment on some mechanical properties and color changes of uludag fir wood. *Drying Technology*, v. 28, n. 2, p. 249-255, 2010.

GÜNDÜZ, G.; KORKUT, S.; KORKUT, D. S. The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of Camiyani Black Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) wood. *Bioresource technology*, v. 99, n. 7, p. 2275–2280, 2008

GUNDUZ, G; KORKUT, S; AYDEMIR, D; BEKAR, Í. The density, compression strength and surface hardness of heat treated hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 11(1), 61-70. 2009.

HATHER, J. The identification of the northern european woods – Guide for archaeologists and conservators. Archetype publications, 187pp. 2000.

HAYGREEN, J.G; BOWYER, J.L. Forest products and wood science: an introduction. Iowa State University Press/ AMES, 1996. 484p.

HELLMEISTER, J. C. Sobre a determinação das características físicas da madeira. 1982. 119 f. 1982. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

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

HILL, C. Wood modification: chemical, thermal and other processes. West Sussex: John Wiley & Sons, 2006.

HOLMBOM, B. Extractives. In: SJÖSTRÖM, E.; ALÉN, R. (Ed.). Analytical methods in wood chemistry, pulping and papermaking. Heidelberg: Springer, 1999. p.125-148.

HOMAN, W.; TJEERDSMA, B.; BECKERS, E.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 5., 2000, Switzerland. Anais eletrônicos... Switzerland: CIB-W18 Meeting 33, 2000. Disponível em: <<http://oregonstate.edu/conferences/wcte2006/>>.

HON, D.N.S. Wood and cellulosic chemistry. New York. Marcel Dekker. 1991.

HULLER, L.A.S; HASELEIN, C.R; DA SILVEIRA, A.G; MENEZES, W.M; TALGATTI, M; DE SOUZA, J.Y; SANTINI, E.J. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de Eucalyptus cloeziana. Pesquisa Florestal Brasileira, 37(90), 183-188. 2017.

IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal). Potencial Madeireiro do Grande Carajás. Brasília, 134 p. 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - IBDF. Potencial Madeireiro do Grande Carajás. Brasília, 134 p. 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Banco de dados de madeiras brasileiras. 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO - IPT. Informações sobre Madeiras. 2011. Disponível em:<http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira> Acesso em: Maio de 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil. São Paulo, 2013.

JÄNSÄ S.; VIITANIEMI P. Heat treatment of wood better durability without chemicals Nodiske; 1999.

JERMANNAUD, A. J.; DUCHEZ, L.; GUYONNET, R. Wood retification: In France, an industrial process of heat treatment producing lumber with improved resistance to decay. In: ENHANCING THE DURABILITY OF LUMBER AND ENGINEERED WOOD PRODUCTS, 2002, Kissimee. Proceedings... Wisconsin: Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture, 2002. p.15.

JOHANSSON, D. Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour. [Doctoral thesis] (Divisions of wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden, 2008. 142f.

JUIZO, C.G; ZEN, L.R; KLITZKE, W; FRANÇA, M.C; CREMONEZ, V.G; KLITZKE, R.J. Propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto submetida ao tratamento térmico. Revista Nativa, v.6, n.5, p.537-542. 2018.

JÚNIOR, A.F.D; LANA, A.Q; DOS SANTOS, P.V; CARVALHO, A,M; DE SOUZA, N.D; BRITO, J. Ananias Francisco Dias et al. Propriedades físicas e acabamento superficial da madeira de eucalipto termicamente tratada. Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 58, n. 3, p. 270-276, 2015.

JUNIOR, C.; GERALDO, M. Efeito do tratamento térmico na qualidade da superfície, na resistência mecânica e rigidez da madeira de *Corymbia citriodora*. 2016.

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

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

KIM, D.Y; NISHIYAMA, Y; WADA, M; KUGA, S; OKANO, T.. Thermal decomposition of cellulose crystallites in wood. Holzforschung, Berlin, v. 55, n. 5, p.521-524. 2001.

KIM, G.H.; YUN, K.E.; KIM, J.J. Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood. Material and Organismen, 1998, Berlin, v.32, n.2, p.101-108.

KLOCK, U; MUÑIZ, G.I.B; HERNANDEZ, J.A; ANDRADE, A.S. Química da madeira. 3 ed. Curitiba: FUPEF, 2005. 86p.

- KOCAEFE, D.; KOCAEFE, Y.; OUMAROU, N. A novel high temperature heat treatment process for wood. International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 2015.
- KOCAEFE, D.; PONCSAK, S.; BOLUK, Y. Effect of thermal treatment on the mechanical composition and mechanical properties of Birch and Aspen. *BioResources Technology*, 2008, v.3, n.2, p.517-537.
- KOCAEFE, D.; PONCSÁK, S.; TANG, J.; BOUAZARA, M. Effect of heat treatment on the mechanical properties of North American jack pine: thermogravimetric study. *Journal of Materials Science, Berlin*, v. 45, n. 3, p. 681-687, 2010.
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. Principles of wood science and technology: solid wood. Berlin: Springer, 1968.
- KONICA MINOLTA SENSING AMERICAS Inc. Colorimetria: Como medir diferenças de cor. Konica Minolta Sensing Americas, Inc. 101 Williams Drive Ramsley, 2014.
- KORKUT, S.; HIZIROGLU, S. Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna L.*). *Materials and Design*, v.30. p 1853-1858, 2009.
- KOTILAINEN, R. Chemical changes in wood during heating at 150–260 °C. Ph.D. Thesis, Jyväskylä University, Finland. 2000.
- LARENSTEIN, J.R. Durability wood. University of Applied Sciences, Prochoice, Wageningen University. Netherlands, 2009. p.69.
- LAZAROTTO, M; CAVA, S.D.S; BELTRAME, R; GATTO, D.A; MISSIO, A.L; GOMES, L.G; MATTOSO, T.R. Resistência biológica e colorimetria da madeira termorretificada de duas espécies de eucalipto. *Revista Árvore, Viçosa*. Vol. 40, n. 1, p. 135-145. 2016.
- LENGOWSKI, E. C. Efeito da termorretificação nas propriedades anatômicas, físico-mecânicas e químicas das madeiras de *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis*. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- LESCURE, J.P; CASTROM A. L'Extrativisme en Amazonie centrale. *Bois et Forest des Tropiques*, 231 (1): 35-51. 1992.

- LIN, B. J; COLIN, B; CHEN, W.H; PÉTRISSANS, A; ROUSSET, P; PÉTRISSANS, M. Thermal degradation and compositional changes of wood treated in a semi-industrial scale reactor in vacuum. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 130, 8-18. 2018.
- LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO, M.; DIAS, C. T. D. S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. *Ciência Florestal*, 21, 315-322. 2011.
- LOPES, D., NETO, P. M., TINTI, V., BOBADILHA, G., & SILVA, A. P. Relação da massa específica básica, anidra e inchamento volumétrico de quatro espécies florestais. *enciclopédia biosfera*, 10(19). 2014.
- LOPES, J. Colorimetria da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Rio de Janeiro. Monografia de Graduação (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2010.
- LOPES, J. Uniformidade e estabilidade da cor da madeira termorretificada de *Tectona grandis* L.f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, abril de 2012.
- LOPES, J.O.; GARCIA, R.A.; LATORRACA, J.V.F.; NASCIMENTO, A.M.. Alteração da cor da madeira de Teca por tratamento térmico. *Revista Floresta e Ambiente*. 21(4):521-534. 2014.
- LOUREIRO, A.A; SILVA, M.F; ALENCAR, J.C. Essências madeireiras da Amazônia. Instituto Nacional de pesquisas da Amazônia. Manaus, 245p. 1979.
- MAIA, J. H.; MOURA, M. D.; MAGALHÃES, A. S.; DE CASTRO, V. G. Comportamento colorimétrico da madeira de maçaranduba tratada com produtos de acabamento. *Nativa*, 6, 767-772. 2018.
- MANTILLA, E. V. C.; AZEVEDO, A. P. J. 2003. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som fundamentos físicos e resultados experimentais. *Cerne*, 9(2), 178-191. 2003.
- MARIMONIO, G.B. Efeito da densidade e do teor de extrativos na variação da cor da madeira de *Tectona grandis* L.f. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, junho de 2011.

MATOS, J. L. M. Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L. Curitiba. Tese (Doutorado). Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná 1997.

MBURU, F.; DUMARÇAY, S.; HUBER, F.; PÉTRISSANS, M.; GÉRARDIN, P. Evaluation of thermally modified *Grevillea robusta* heartwood as an alternative to shortage of wood resource in Kenya: characterization of physicochemical properties and improvement of bio-resistance. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 98, n. 18, p. 3478-3486, 2007.

MELO, J. E. Madeira: características e aplicações. Brasília: LPF, 2002. 30 p.

MÉNDEZ-MEJÍAS, L. D.; MOYA, R. Effects on density, shrinking, color changing and chemical surface analysis through FTIR of *Tectona grandis* thermo-treated. *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 122, p. 811-820, 2016. DOI: 10.18671/scifor.v44n112.03.

MENEZES, W.M Efeito da modificação térmica em escala industrial na qualidade da madeira de *Tectona grandis* Linn. F. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2017.

MENEZES, W.M; SANTINI, E.J; TELLES, S.J; GATTO, D.A; HASELEIN, C.R. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. *Ciência Rural*, 44(6). 2014.

MENZ HOLZ. Catálogo. Disponível em: <<http://www.menzholz.de/de/flash/catalog/oht/#/0>>. Acesso em: Maio de 2019.

MENZ. Menz OHT: The future of wood treatment. 163p. 2014. Disponível em: http://www.menzholz.de/files/unternehmen/178_1_pdf__menzoutdoor_collection_2014__engels_.pdf. Acesso em: maio de 2019.

METSÄS-KORTELAJNEN, S.; ANTIKAINEN, T.; VIITANIEMI, P. The water absorption of sapwood and heartwood of Scot pines and Norway spruce heat-treated at 170°C, 190°C, 210°C and 230°C. *Holz als roh-und Werkstoff*, Berlin, v.64, n.3, p.192-197, 2005.

MILITZ, H. Thermal treatment of wood. European Processes and their background; The international Reserch Group on Wood Preservation; IRG Document No. IRG/WP 02-40241. 2002

MILITZ, H. TJEERDSMA, B. Heat treatment of wood by the Plato-process. In: RAPP, A.O. Review on heat treatments of wood. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIROMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes, France. Proceedings...Antibes, France: COST ACTION E 22, 2001, p.27-38.

MIRANDA, A. P. Efeito do termotratoamento em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Tectona grandis* L. f. sob variação de temperaturas. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Jaguariaíva, Jaguariaíva, 2010.

MISSIO, A. L.; DE CADEMARTORI, P. H. G.; MATTOS, B. D.; SANTINI E. J.,; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Physical and Mechanical Properties of Fast-Growing Wood Subjected to Freeze-Heat Treatments. *BioResources*, 11(4), 10378-10390. 2016.

MISSIO, A.L. GATTO, D.A.; MODES, K.S.; SANTINI, E.J. STANGERLIN, D.M. CALEGARI, L. Método ultrassônico para estimativa do módulo de elasticidade de madeiras de *Pinus taeda* tratadas termicamente. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.4, p.616-622, abr, 2013.

MITSUI, K. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment. Part 2. Effect of light-irradiation time and wavelength. *Holz Roh Werkst.* p. 62:23-30. 2004.

MITSUI, K.; MURATA, A.; TOLVAJ, L. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment: Part 3. Monitoring by DRIFT spectroscopy. *Holz als Rohund Werkstoff*, Berlin, v.62, p.164-168, 2004.

MODES, K. S. Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. 2010. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MODES, K. S.; SANTINI E, J.; VIVIAN, M. A. Hygroscopicity of wood from *Eucalyptus grandis* and *Pinus taeda* subjected to thermal treatment. *Cerne* 2013; 19(1): 19-25. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000100003>

MORESCHI, J.C. Propriedades da madeira. Ministério da educação e do desporto. Setor de ciências agrárias da UFPR. Curitiba, Paraná, 2012.

- MORI, C.L.S.; MORI, F.A.; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; OLIVEIRA, A.C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. *Ciência Florestal*, 14(2), 123-132. 2004.
- MOTTA, J.P.; ALVES, R.C.; PAES, J.B. Efeito do tratamento térmico na resistência à flexão estática da madeira de *Tectona grandis* L.f. *Construindo*, v. 5, n. 02, 2013.
- MÖTTÖNEN K, ALVILA L, PAKKANEN T. CIELab Measurements to determine the role of felling season, log storage and kiln drying on coloration of silver birch wood. *Scandinavian Journal Forest Research* 2002; 17(2):179-191.
- MOURA, L. F.; BRITO, J. O.; SILVA JÚNIOR, F. G. Effect of thermal treatment on the chemical characteristics of wood from *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden under different atmospheric conditions. *Cerne*, v. 18, n. 3, p. 449-45, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000300012>
- MOURA, L.F; BRITO, J.O. Efeito da termorretificação sobre as propriedades colorimétricas das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Revista Scientia Forestalis*, v.39, n.89, p.69-76, 2011.
- NABIL, E; MAHMOUD, N; YOUSSEF, A; SABER, E; KAMEL, S. Evaluation of Physical, Mechanical and Chemical Properties of Cedar and Sycamore Woods after Heat Treatment. *Egyptian Journal of Chemistry*, 61(6), 1131-1149. 2018.
- NOCK, H. P; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. *Tecnologia da madeira*. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Universidade Federal do Paraná, 2016 p. 1975.
- NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A.W. Sensibilidade dos ensaios de ultra-som à ortotropia elástica da madeira. In: CONFERÊNCIA PAN-AMERICANA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS, 2003, Rio de Janeiro. Anais: ABENDE, 2003.
- OLIVEIRA, F.G.R.; CANDIAN, M.; LUCCHETTE, F.F.; CALIL Jr., C.; SALES, A. Avaliação de propriedades mecânicas de madeira por meio de ultra-som. In: PAN AMERICAN CONFERENCE FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, 3. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Pan American Conference for Nondestructive Testing, 5p. 2003.

- OLIVEIRA, J.T.; SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.381-385. 2003.
- OLIVEIRA, J.T.S. Caracterização da madeira de Eucalipto para a construção civil. São Paulo. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1997.
- OLIVEIRA, R. M. Utilização de técnicas de caracterização de superfícies em madeiras tratadas termicamente. Instituto de Física de São Carlos. UFSCAR, 2009.
- OZAKI, S.K. Efeitos do tratamento da madeira com álcool furfurílico combinado com compostos de boro. [Dissertação]. Universidade de São Carlos São Carlos, 1999.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. Textbook of wood technology. 1964.
- PASTORE, T.C.M. Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias Raman (FTRaman), de refletância difusa no infravermelho (DRIFT) e no visível (CIE-L*a*b*). 117f. Tese (Doutorado em Química Analítica e Inorgânica) – Universidade de Brasília, 2004.
- PERÇIN, O.; SOFUOGLU, S. D.; UZUN, O. Effects of boron impregnation and heat treatment on some mechanical properties of oak (*Quercus petraea* Liebl.) wood. *BioResources*, 2015, v. 10, n. 3, p. 3963-3978.
- PERTUZZATTI, A. Propriedades físicas da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* termorretificada sob diferentes atmosferas. *Ciência da Madeira*, v. 7, n. 15, p. 7-15, 2016. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v7n1p7-15.
- PERTUZZATTI, A.; CONTE, B.; MISSIO, A. L.; SOARES, A. K.; GUMA, R. L.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Alterações físicas e superficiais da madeira de canemaçu (*Tetrarhodium rubrivenium*) termorretificada. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 10(1), 140-146. 2015.
- PERTUZZATTI, A; MISSIO, A.L; CONTE, B; DE SOUZA, S.C; SANTINI, E.J; HASELEIN, C.R. Propriedades físicas da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* termorretificada sob diferentes atmosferas. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 7(1). 2016.

- PESSOA, A.M.C; FILHO, E.B; BRITO, J.O. Avaliação da madeira termorretrificada de *Eucalyptus grandis* submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptomerites brevis*. *Scientia Forestalis*, n.72. p11-16. Dez. 2006
- PFEIL, W; PFEIL, M. Estruturas de madeira. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 224p. 2003.
- PHILIPP, P; D'ALMEIDA, M.L. Celulose e Papel. Volume I. Tecnologia de fabricação de pasta celulósica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - Centro técnico em celulose e papel. São Paulo, 1988.
- PINCELLI, A. L. P. S. M. Efeito da termorretrificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras– Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- PINCELLI, A. L. P. S. M.; MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* woods. *Maderas. Ciencia y tecnología*, v. 14,n. 2, p. 239 - 249, 2012.
- PINCELLI, A.L.P.S.M; BRITO, J.O; CORRENTE, J.E. Avaliação da termorretrificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Scientia Forestalis* n.61, p.122-132. Jun, 2002.
- PINHEIRO, P. C. C.; SAMPAIO, R. S.; REZENDE, M. E. A. A produção de carvão vegetal: teoria e prática
- PONCSÁK, S.; KOCAEFE, D.; BOUZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). *Wood Science and Technology*, 2006. 40(8), 647-663.
- POUBEL, D; GARCIA, A.R; SANTOS, A.W; LIMA, O.G; SANTOS, H. Efeito da termorretrificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. *Cerne*, v. 19, n. 3, 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* 38(1): 31-44. 2008.

QUIRINO, W. F. Preservação de estacas e mourões de cerca por retificação térmica e impregnação de pirolenhosos e alcatrões. Brasília, 1997. Relatório final de projeto de pesquisa, LPF/IBAMA-PNUD/FAO-UnB.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. Retificação térmica de *Eucalyptus grandis*. Floresta, Curitiba, Edição Especial, p. 60-66, 2002.

RAPP, A. O. Review on heat treatments of wood. In: Proceedings of Special Seminar, Antibes, France. 2001.

REPELLIN, V; GUYONNET, R. Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition. *Holzforschung*, v.59, p.38-34. 2005.

RIBEIRO, E. S. Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Universidade de Brasília. 2017.

RIBEIRO, E. S.; GONÇALEZ, J. C.; VARGAS, L. E. D. P. Caracterização das propriedades físicas de espécies tropicais comercializadas por mato grosso1. múltiplos olhares sobre a biodiversidade Vol. V, 83. 2017.

RODRIGUES, T.O. Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos. Dissertação (Mestrado em ciências florestais). Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

ROSA, R. A.; FRANÇA, L. C. A.; DE ALCÂNTARA SEGUNDINHO, P. G.; LUBE, V. M.; PAES, J. B. Caracterização da madeira de maçaranduba (*Manilkara* sp.) por métodos destrutivos e não destrutivos. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 5(1), 10-12953. 2014.

ROSS, R. J; PELLERIN, R. F. NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves. *Forest Products Journal* 38(5):39- 45. 1985.

ROSS, R.J.; HUNT, M.O. Stress Wave Timing nondestructive evaluation tools for inspecting historic structures: a guide for use and interpretation. United States Department of Agriculture. Forest Products Laboratory, 2000.

- ROWE, J.W. Natural products of woody plants 1: chemical extraneous to the lignocellulosic cell wall. In: HILLIS, W.E. ed. Historical uses of extractives and exudates. Berlin; New York: Springer-Verlag. Cap1, p.1-12.
- ROWELL, R.M. Wood chemistry and wood composites. Boca Raton: CRC Press, 473p. 2005.
- SALCA, E. A.; HIZIROGLU, S. Evaluation of hardness and surface quality of different wood species as function of heat treatment. *Materials and Design*, v. 62, p. 416–423, 2014.
- SANDBERG, D.; KUTNAR, A. Recent Development of Thermal Wood Treatments: Relationship between Modification Processing, Product Properties, and the Associated Environmental Impacts. In: AWPS International Symposium on Wood Science and Technology, 2015, Tokyo, Japan. p. 55-59.
- SANTOS, J. X. D. (2018). Características anatômicas e espectroscopia VIS/NIR na discriminação das espécies comercializadas como "Tauari" na Amazônia Brasileira. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná
- SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, v. 65, p. 120-129, 2004.
- SCHULZ, H. R.; ACOSTA, A. P.; BARBOSA, K. T.; GALLIO, E.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A. EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO DA MADEIRA DE *PINUS ELLIOTTII* NOS PARÂMETROS FÍSICO-MECÂNICOS E COLORIMÉTRICOS. *BIOFIX Scientific Journal*, 5(1), 86-93. 2019.
- SCHULZE, M; VIDAL, E; GROGAN, J; ZWEEDE, J; ZARLIN, D. Madeiras nobres em perigo. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 36, n. 214, p. 66-69, 2005.
- SHACKELFORD, J.F. Introduction to materials science for engineers. 14ed. New Jersey, Upper Saddle River, Prentice-Hall. 1996.
- SHIMOYAMA, V.R. Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, virando a geração de produtos de alto valor agregado. Doutorado (Tese). Universidade Federal do Paraná. 2005.

- SHIMOYAMA, V.R.S. BARRICHELO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., São Paulo, SP, Anais. ABTCP. 1991.
- SIAU, J. F. Flow in Wood. Syracuse: Syracuse University Press, 1971. 131p.
- SIAU, J.F. Wood: influence of moisture on physical properties. Virginia: Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1995.
- SILVA, A.C; SILVA, M.N; SILVA, M.B; VASCONCELLOS, F.J. Noções básicas de anatomia da madeira. Governo do Estado do Amazonas, Secretaria de Estado da Educação, cultura e desportos. Instituto de Tecnologia do Amazonas -UTAM. 1994.
- SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; GOMES JUNIOR, C. C. Efeito do tratamento térmico nas propriedades mecânicas de *Pinus elliotti*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. Anais... Londrina: UEL - EBRAMEM, 2008.
- SILVA, M.R. Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de *Eucalypto citriodora* e *Pinus taeda*. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo. 2012.
- SJÖSTRÖM, E. Wood chemistry: fundamentals and applications. San Diego: Academic Press, 1993.
- SJÖSTRÖM, E.; WESTERMARK, U. Chemical composition of wood and pulps: basic constituent and their distribution. In: SJÖSTRÖM, E.; ALÉN, R. (Ed.). Analytical methods in wood chemistry, pulping and papermaking. Heidelberg: Springer, 1999. p. 1-19.
- SKAAR, C. Water in wood. Syracuse: Syracuse University Press, 1972.
- SKAAR, C. Wood-water relations. New York: Springer-Verlag, 1988. 283p.
- SOARES, A.K; CADEMARTORI, P.H.G.D; EVTYUGIN, D.V; ZANATTA, P; GATTO, D.A. Enhancing pine wood properties by two-step impregnation-heat treatment. *Matéria* (Rio de Janeiro), 23(4). 2018.

SOARES, M.K; SANTINI, E.J; VIVIAN, M.A; HASELEIN, C.R. Efeito da termorreificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, 27(1). 2017.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A.; SOUZA, M. R. Madeiras tropicais brasileiras. 2ed. Brasília: Edições IBAMA, 2002. 152p.

SOUZA, MH de; MAGLIANO, M. M.; ALVES CAMARGO, J. A. Madeiras tropicais brasileiras: brazilian tropicales woods. Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos recursos naturais renováveis. 155p. 1997.

SOUZA, MH de; MAGLIANO, M. M.; ALVES CAMARGO, J. A. Madeiras tropicais brasileiras volume 2: brazilian tropicales woods. Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos recursos naturais renováveis. 156p. 2014.

STAMM, A. J. Thermal degradation of wood and cellulose. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Washington, v. 48, n.3, p. 413-417, 1956.

STAMM, A.J. Wood and cellulose science. New York. The Ronald Press Company.1964.

STAMM, A.J.; BURR, H.K; KLINE, A.A. Heat Stabilized wood (Staybwood) Forest Products Laboratory (U.S), 1946.

STAMM, Alfred J.; HANSEN, L. A. Minimizing wood shrinkage and swelling effect of heating in various gases. *Industrial & Engineering Chemistry*, v. 29, n. 7, p. 831-833, 1937.

STANGERLIN, D. M., COSTA, A. F. D., GONÇALEZ, J. C., PASTORE, T. C. M., & GARLET, A. Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. *Acta Amazonica*, 43, 429-438. 2013.

STANGERLIN, D.M.; GATTO, D.A.; MELO, R.R.; CALEGARI, L.; VIVIAN, M.A.; CASTELO, P.A. Uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium*. *Ciência da Madeira, Pelotas*, v. 01, n. 02, p. 44-53, Novembro de 2010.

SUJII, P.S; INGLIS, P.W; GAIOTTO, F.A; KANASHIRO, M; MARTINS-DA-SILVA, R.C.V; CIAMPI, A.Y; AZEVEDO, V.C. Filogenia molecular de espécies do gênero *Manilkara* no Brasil. In: Embrapa Amazônia Oriental-Resumo em anais de congresso

- (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GENÉTICA, 55., 2009, Águas de Lindóia, SP. Resumos... Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2009., 2009.
- SUNDQVIST, B. Color response of Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula pubescens*) subjected to heat treatment in capillary phase. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 60, n. 2, p.106-114, 2002.
- SUNDQVIST, B. Colour changes and acid formation in wood during heating. 2004. 154 f. Doctoral thesis (Divisions of wood material science) – Lulea University of Technology, Sweden, 2004.
- SUNDQVIST, B.; MORÉN, T. The influence of wood polymers and extractives on wood colour induced by hydrothermal treatment. *Holz als Roh-und Werkstoff*, v. 60, p. 375-376, 2002. DOI: 10.1007/s00107-002-0320-2.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA – SUDAM. Departamento de Recursos Naturais Centro de Tecnologia Madeira. Pesquisa e Informações sobre espécies. Belém, 1979.
- SYRJÄNEN, T. OY, K. Heat treatment of wood in Finland: State of the art. COST Action E22. 2001.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*, Sinauer Assoc. Inc. Publ. Sunderland, Mass: p690, 2002.
- TIEMANN, H. D. Effect of moisture upon the strength and stiffness of wood. Washington:USA, 1906. 144 p. (Forest Service Bulletin, 70)
- TJEERDSMA, B.F; MILITZ, H. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2005. Volume 63, Issue 2, pp 102-111.
- TRUGILHO, P.F. et al. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. In: Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira, 3... São Carlos, SP. 1989. Anais. São Carlos. p.163-179
- TSOUMIS, G. T. *Science and technology of wood: structure, properties, utilization*. New York: Chapman & Hall, 1991.d: structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Wood Handbook: Wood as Engineering material. USDA: Washington, 509p. 2010.

UNSAI, O.; KORKUT, S.; ATIK, C. The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood. *Maderas, Ciência y Tecnología, Concepción*, v. 5, n. 2, p. 145-152, 2003.

VAN VLACK, L.H. Princípios de ciência e tecnologia dos materiais. Traduzido por Edson Monteiro. 9ed. Rio de Janeiro. 1990.

VARGA, D.; VAN DER ZEE, M. E. Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. *European Journal of Wood and Wood Products, Heidelberg*, v. 66, n. 1, 11-18, 2008.

VERNOIS, M. Heat treatment of wood in France – state of the art. In: COST ACTION E22: Environmental Optimisation of Wood Protection, 2001, Antibes. Proceedings of special seminar “Review on heat treatments of wood”. Hamburg: The Federal Research Centre for Forestry and Forest Products Information and Documentation, 2001. p. 39-46.

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

VIANA, Á. L.; NETO, J. C.; LOPES, M. D. F.; NASCIMENTO, C. C. DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS PELO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO. *REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM*, 12(2), 118-129. 2018.

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

VITAL, B. R., DELLA LUCIA, R. M., EUCLIDES, R. F. Efeito do aquecimento em algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Revista Árvore, Viçosa, MG*, v. 7, n. 2, p. 136-146, 1983.

VOVELLE, C.; MELLOOTTE, H. Modelisation de la pyrolyse oxydante ou noxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants. In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Eds.). *Energy from biomass*. 2. ed. London: Applied Sciences, p. 925-929. 1982.

- WIEDENHOEFT, A. C.; MILLER, R. B. Structure and function of wood. In: ROWELL, R.M. (Ed). Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton: CRC Press, 2005. cap. 2, p. 9-33.
- WINANDY, J. E.; ROWELL, R. M. The chemistry of wood strength. In: ROWELL, R.M. The chemistry of solid wood. Washington: American Chemical Society, 1984. p. 211-256.
- XAVIER, G. Influência de tratamentos térmicos em duas propriedades mecânicas das madeiras de Pinus sp. e Eucalyptus urograndis. Universidade de Brasília. 2013.
- XIE, Y; LIU, Y; SUN, Y. Heat treated wood and its development. Journal of Forestry Research, Berlin, v. 13, n. 3, p. 224-230. 2002.
- YAN, L; MORRELL, J.J. Kinetic color analysis for assessing the effects of borate and glycerol on thermal modification of wood. Wood Science and Technology, v. 53, n. 1, p. 263-274, 2019.
- ZABLONSKY, K.M; BONDUELLE, G. M; TRIANOSKI, R. Efeito do Tratamento Térmico com Óleo de Soja na Madeira de Pinus. Floresta e Ambiente, v. 24, p. e20150231, 2017.
- ZAQUE, L. A. M.; MELO, R. R.; DE SOUZA, E. C.; JUNIOR, L. S. Caracterização colorimétrica e da massa específica das madeiras comercializadas no Mato Grosso. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), 10(3). 2019.
- ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. S.; SILVEIRA, T. A. Termorretificação e Colorimetria da Madeira de Eucalyptus grandis. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 21, n. 1, 85-90, 2014.
- ZAWADZKI, J.; GAWRON, J.; ANTCZAK, A.; KLOSINSKA, T.; RADOMSKI, A. The influence of heat treatment on the physico-chemical properties of pinewood (Pinus sylvestris L.). Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia. Komunikaty, 2016. 59(196).
- ZHANG, Ya Mei; YU, Yang Lun; YU, Wen Ji. Effect of thermal treatment on the physical and mechanical properties of Phyllostachys pubescens bamboo. European Journal of Wood and Wood Products, v. 71, n. 1, p. 61-67, 2013

APÊNDICE 1 – TESTES DE DUNNETT – COMPARAÇÃO DAS
MÉDIAS DAS AMOSTRAS TRATADAS COM A MÉDIA DAS
AMOSTRAS TESTEMUNHA, PAR A PAR

Tabela 1. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de cumaru.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite Inferior	Conf. 95% Limite Superior
Dap	1 Testemunha	0,000	0,015	0,385	-0,067	0,015
	2 Testemunha	-0,013	0,015	0,936	-0,054	0,028
	3 Testemunha	-0,014	0,015	0,911	-0,055	0,027
	4 Testemunha	-0,023	0,015	0,522	-0,064	0,018
	5 Testemunha	-0,024	0,015	0,491	-0,064	0,017
	6 Testemunha	-0,055*	0,015	0,003	-0,096	-0,015
	7 Testemunha	-0,054*	0,015	0,004	-0,095	-0,013
	8 Testemunha	-0,070*	0,015	0,000	-0,112	-0,030
Db	1 Testemunha	-0,009	0,012	0,963	-0,042	0,023
	2 Testemunha	-0,003	0,012	1,000	-0,035	0,030
	3 Testemunha	0,006	0,012	0,999	-0,027	0,038
	4 Testemunha	0,014	0,012	0,792	-0,019	0,046
	5 Testemunha	0,011	0,012	0,927	-0,022	0,043
	6 Testemunha	0,010	0,012	0,962	-0,023	0,042
	7 Testemunha	-0,001	0,012	1,000	-0,034	0,031
	8 Testemunha	0,005	0,012	0,999	-0,027	0,037
TA	1 Testemunha	-1,920*	0,102	0,000	-2,196	-1,645
	2 Testemunha	-3,107*	0,102	0,000	-3,382	-2,832
	3 Testemunha	-2,851*	0,102	0,000	-3,127	-2,576
	4 Testemunha	-3,810*	0,102	0,000	-4,086	-3,536
	5 Testemunha	-3,968*	0,102	0,000	-4,244	-3,694
	6 Testemunha	-4,138*	0,102	0,000	-4,414	-3,863
	7 Testemunha	-4,123*	0,102	0,000	-4,403	-3,852
	8 Testemunha	-4,043*	0,102	0,000	-4,319	-3,768

CONTINUA

Tabela 1. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de cumaru.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite inferior	Conf.95% Limite superior
It	1 Testemunha	-0,633*	0,023	0,000	-0,697	-0,570
	2 Testemunha	-0,917*	0,023	0,000	-0,981	-0,854
	3 Testemunha	-0,997*	0,023	0,000	-1,061	-0,934
	4 Testemunha	-1,102*	0,023	0,000	-1,166	-1,039
	5 Testemunha	-1,017*	0,023	0,000	-1,081	-0,953
	6 Testemunha	-1,108*	0,023	0,000	-1,172	-1,045
	7 Testemunha	-1,214*	0,023	0,000	-1,278	-1,150
	8 Testemunha	-1,202*	0,023	0,000	-1,266	-1,139
Ir	1 Testemunha	-0,188*	0,020	0,000	-0,243	-0,134
	2 Testemunha	-0,334*	0,020	0,000	-0,389	-0,280
	3 Testemunha	-0,473*	0,020	0,000	-0,528	-0,420
	4 Testemunha	-0,532*	0,020	0,000	-0,587	-0,478
	5 Testemunha	-0,483*	0,020	0,000	-0,538	-0,429
	6 Testemunha	-0,511*	0,020	0,000	-0,565	-0,457
	7 Testemunha	-0,617*	0,020	0,000	-0,672	-0,563
	8 Testemunha	-0,594*	0,020	0,000	-0,649	-0,540
CI	1 Testemunha	-0,178*	0,045	0,001	-0,301	-0,055
	2 Testemunha	-0,259*	0,045	0,000	-0,383	-0,137
	3 Testemunha	-0,220*	0,045	0,000	-0,343	-0,098
	4 Testemunha	-0,349*	0,045	0,000	-0,472	-0,226
	5 Testemunha	-0,452*	0,045	0,000	-0,575	-0,329
	6 Testemunha	-0,529*	0,045	0,000	-0,652	-0,407
	7 Testemunha	-0,475*	0,045	0,000	-0,598	-0,353
	8 Testemunha	-0,510*	0,045	0,000	-0,633	-0,387

CONTINUA

Tabela 1. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de cumaru.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite inferior	Conf.95% Limite superior
CAi	1 Testemunha	-0,472*	0,063	0,000	-0,643	-0,302
	2 Testemunha	-0,674*	0,063	0,000	-0,845	-0,504
	3 Testemunha	-0,470*	0,063	0,000	-0,641	-0,300
	4 Testemunha	-0,562*	0,063	0,000	-0,733	-0,392
	5 Testemunha	-0,486*	0,063	0,000	-0,657	-0,316
	6 Testemunha	-0,667*	0,063	0,000	-0,838	-0,497
	7 Testemunha	-0,611*	0,063	0,000	-0,782	-0,441
	8 Testemunha	-0,681*	0,063	0,000	-0,851	-0,511
Rt	1 Testemunha	0,054	0,233	1,000	-0,578	0,687
	2 Testemunha	0,106	0,233	0,999	-0,527	0,738
	3 Testemunha	-0,137	0,233	0,994	-0,769	0,496
	4 Testemunha	-0,577	0,233	0,089	-1,210	0,055
	5 Testemunha	-0,409	0,233	0,373	-1,042	0,223
	6 Testemunha	-1,370*	0,233	0,000	-2,003	-0,738
	7 Testemunha	-1,300*	0,233	0,000	-1,933	-0,668
	8 Testemunha	-2,591*	0,233	0,000	-3,224	-1,959
Rr	1 Testemunha	0,022	0,218	1,000	-0,571	0,614
	2 Testemunha	0,281	0,218	0,701	-0,311	0,874
	3 Testemunha	-0,136	0,218	0,991	-0,728	0,457
	4 Testemunha	-0,556	0,218	0,075	-1,148	0,037
	5 Testemunha	-0,325	0,218	0,553	-0,918	0,267
	6 Testemunha	-1,063*	0,218	0,000	-1,656	-0,471
	7 Testemunha	-0,850*	0,218	0,001	-1,443	-0,258
	8 Testemunha	-1,908*	0,218	0,000	-2,501	-1,316

CONTINUA

Tabela 1. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de cumaru.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite inferior	Conf.95% Limite superior
Rl	1 Testemunha	0,100	0,043	0,738	-0,063	0,169
	2 Testemunha	0,029	0,043	0,985	-0,087	0,145
	3 Testemunha	-0,051	0,043	0,773	-0,167	0,065
	4 Testemunha	-0,064	0,043	0,542	-0,181	0,052
	5 Testemunha	-0,075	0,043	0,383	-0,191	0,042
	6 Testemunha	-0,051	0,043	0,777	-0,167	0,066
	7 Testemunha	-0,082	0,043	0,279	-0,199	0,034
	8 Testemunha	-0,086	0,043	0,240	-0,202	0,030
Rv	1 Testemunha	0,129	0,407	1,000	-0,973	1,231
	2 Testemunha	0,406	0,407	0,885	-0,697	1,508
	3 Testemunha	-0,323	0,407	0,962	-1,426	0,779
	4 Testemunha	-1,197*	0,407	0,027	-2,300	-0,096
	5 Testemunha	-0,811	0,407	0,244	-1,913	0,291
	6 Testemunha	-2,484*	0,407	0,000	-3,587	-1,382
	7 Testemunha	-2,233*	0,407	0,000	-3,336	-1,132
	8 Testemunha	-4,590*	0,407	0,000	-5,692	-3,488
Car	1 Testemunha	0,004	0,059	1,000	-0,157	0,165
	2 Testemunha	-0,053	0,059	0,934	-0,214	0,108
	3 Testemunha	0,006	0,059	1,000	-0,155	0,167
	4 Testemunha	0,032	0,059	0,997	-0,129	0,193
	5 Testemunha	-0,003	0,059	1,000	-0,164	0,158
	6 Testemunha	-0,001	0,059	1,000	-0,162	0,160
	7 Testemunha	-0,056	0,059	0,912	-0,217	0,105
	8 Testemunha	-0,045	0,059	0,971	-0,206	0,116

CONTINUA

Tabela 1. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de cumaru.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Conf. 95%	
				Limite inferior	Limite superior
1 Testemunha	0,500	0,371	0,655	-0,506	1,509
2 Testemunha	5,253*	0,371	0,000	4,246	6,260
3 Testemunha	4,999*	0,371	0,000	3,992	6,006
4 Testemunha	6,252*	0,371	0,000	5,246	7,260
5 Testemunha	8,124*	0,371	0,000	7,117	9,132
6 Testemunha	10,668*	0,371	0,000	9,661	11,675
7 Testemunha	9,585*	0,371	0,000	8,579	10,593
8 Testemunha	12,491*	0,371	0,000	11,484	13,498

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 2. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades mecânicas da madeira de cumaru.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
VU	1 Testemunha	-6,300	104,051	1,000	-288,391	275,846
	2 Testemunha	-190,881	104,051	0,326	-472,999	91,238
	3 Testemunha	-119,035	104,051	0,800	-401,153	163,084
	4 Testemunha	49,187	104,051	0,999	-232,931	331,306
	5 Testemunha	-44,181	104,051	0,999	-326,299	237,937
	6 Testemunha	111,981	104,051	0,843	-170,138	394,099
	7 Testemunha	4,120	104,051	1,000	-277,998	286,239
	8 Testemunha	-122,381	104,051	0,779	-404,500	159,737
MOEdu	1 Testemunha	-234,710	1296,575	1,000	-3750,192	3280,773
	2 Testemunha	-2377,652	1296,575	0,326	-5893,135	1137,831
	3 Testemunha	-1172,126	1296,575	0,928	-4687,608	2343,357
	4 Testemunha	-584,940	1296,575	0,999	-4100,422	2930,543
	5 Testemunha	-1530,720	1296,575	0,776	-5046,203	1984,763
	6 Testemunha	-653,280	1296,575	0,998	-4168,762	2862,203
	7 Testemunha	-1752,263	1296,575	0,654	-5267,745	1763,220
	8 Testemunha	-3129,931	1296,575	0,102	-6645,413	385,552

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 3. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades mecânicas da madeira de cumaru.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
VS	1 Testemunha	135,366	100,403	0,656	-136,862	407,595
	2 Testemunha	-98,172	100,403	0,895	-370,400	174,056
	3 Testemunha	-63,125	100,403	0,990	-335,353	209,103
	4 Testemunha	265,435	100,403	0,059	-6,793	537,663
	5 Testemunha	88,987	100,403	0,934	-183,241	361,216
	6 Testemunha	66,939	100,403	0,986	-205,289	339,168
	7 Testemunha	84,076	100,403	0,951	-188,152	356,304
	8 Testemunha	-45,521	100,403	0,999	-317,749	226,707
MOEds	1 Testemunha	1154,132	925,953	0,730	-1356,460	3664,724
	2 Testemunha	-1030,199	925,953	0,820	-3540,790	1480,393
	3 Testemunha	-494,478	925,953	0,997	-3005,069	2016,114
	4 Testemunha	1677,691	925,953	0,339	-832,901	4188,282
	5 Testemunha	96,624	925,953	1,000	-2413,967	2607,216
	6 Testemunha	-659,058	925,953	0,980	-3169,649	1851,534
	7 Testemunha	-476,379	925,953	0,997	-2986,971	2034,212
	8 Testemunha	-1597,862	925,953	0,391	-4108,454	912,729

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 4. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de maçaranduba.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite inferior	Conf 95% Limite superior
Dap	1 Testemunha	0,000	0,018	0,062	-0,097	0,002
	2 Testemunha	-0,037	0,018	0,227	-0,086	0,012
	3 Testemunha	-0,053*	0,018	0,027	-0,103	-0,004
	4 Testemunha	-0,101*	0,018	0,000	-0,150	-0,052
	5 Testemunha	-0,107*	0,018	0,000	-0,156	-0,058
	6 Testemunha	-0,148*	0,018	0,000	-0,197	-0,099
	7 Testemunha	-0,145*	0,018	0,000	-0,195	-0,097
	8 Testemunha	-0,179*	0,018	0,000	-0,228	-0,130
Db	1 Testemunha	-0,036	0,014	0,087	-0,074	0,003
	2 Testemunha	-0,013	0,014	0,932	-0,052	0,026
	3 Testemunha	-0,022	0,014	0,511	-0,061	0,017
	4 Testemunha	-0,059*	0,014	0,001	-0,098	-0,020
	5 Testemunha	-0,053*	0,014	0,003	-0,092	-0,015
	6 Testemunha	-0,067*	0,014	0,000	-0,107	-0,029
	7 Testemunha	-0,073*	0,014	0,000	-0,113	-0,035
	8 Testemunha	-0,086*	0,014	0,000	-0,125	-0,047
TA	1 Testemunha	-0,903	0,384	0,117	-1,944	0,138
	2 Testemunha	-0,963	0,384	0,082	-2,004	0,078
	3 Testemunha	-1,007	0,384	0,063	-2,047	0,034
	4 Testemunha	-0,975	0,384	0,076	-2,016	0,066
	5 Testemunha	-2,744*	0,384	0,000	-3,786	-1,704
	6 Testemunha	-4,873*	0,384	0,000	-5,915	-3,833
	7 Testemunha	-3,514*	0,384	0,000	-4,556	-2,474
	8 Testemunha	-5,608*	0,384	0,000	-6,650	-4,568

CONTINUA

Tabela 4. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de maçaranduba.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Conf. 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
It	1 Testemunha	-2,100*	0,121	0,000	-2,428	-1,773
	2 Testemunha	-2,803*	0,121	0,000	-3,131	-2,476
	3 Testemunha	-2,157*	0,121	0,000	-2,485	-1,830
	4 Testemunha	-2,912*	0,121	0,000	-3,239	-2,585
	5 Testemunha	-3,319*	0,121	0,000	-3,647	-2,992
	6 Testemunha	-4,142*	0,121	0,000	-4,470	-3,815
	7 Testemunha	-4,028*	0,121	0,000	-4,356	-3,701
	8 Testemunha	-4,387*	0,121	0,000	-4,715	-4,060
Ir	1 Testemunha	-1,046*	0,114	0,000	-1,356	-0,737
	2 Testemunha	-1,155*	0,114	0,000	-1,466	-0,846
	3 Testemunha	-0,836*	0,114	0,000	-1,146	-0,527
	4 Testemunha	-1,197*	0,114	0,000	-1,507	-0,888
	5 Testemunha	-1,635*	0,114	0,000	-1,945	-1,326
	6 Testemunha	-2,112*	0,114	0,000	-2,422	-1,803
	7 Testemunha	-1,852*	0,114	0,000	-2,163	-1,543
	8 Testemunha	-2,079*	0,114	0,000	-2,389	-1,770
CI	1 Testemunha	-0,282	0,413	0,984	-1,402	0,839
	2 Testemunha	-0,525	0,413	0,714	-1,645	0,596
	3 Testemunha	-0,514	0,413	0,732	-1,635	0,606
	4 Testemunha	-0,512	0,413	0,735	-1,633	0,608
	5 Testemunha	-1,082	0,413	0,063	-2,203	0,038
	6 Testemunha	-2,239*	0,413	0,000	-3,360	-1,119
	7 Testemunha	-1,809*	0,413	0,000	-2,930	-0,689
	8 Testemunha	-2,20860*	0,413	0,000	-3,329	-1,088

CONTINUA

Tabela 4. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de maçaranduba.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite inferior	Conf 95% Limite superior
CAi	1 Testemunha	-0,100	0,092	0,993	-0,304	0,195
	2 Testemunha	-0,269*	0,092	0,028	-0,519	-0,021
	3 Testemunha	-0,225	0,092	0,094	-0,475	0,024
	4 Testemunha	-0,297*	0,092	0,012	-0,547	-0,048
	5 Testemunha	-0,150	0,092	0,454	-0,399	0,100
	6 Testemunha	-0,155	0,092	0,417	-0,404	0,094
	7 Testemunha	-0,354*	0,092	0,002	-0,604	-0,106
	8 Testemunha	-0,358*	0,092	0,001	-0,608	-0,109
Rt	1 Testemunha	-0,287	0,410	0,982	-1,399	0,824
	2 Testemunha	-1,223*	0,410	0,024	-2,334	-0,112
	3 Testemunha	-0,761	0,410	0,313	-1,873	0,350
	4 Testemunha	-1,215*	0,410	0,026	-2,327	-0,104
	5 Testemunha	-2,874*	0,410	0,000	-3,985	-1,763
	6 Testemunha	-3,934*	0,410	0,000	-5,046	-2,823
	7 Testemunha	-3,088*	0,410	0,000	-4,200	-1,977
	8 Testemunha	-4,104*	0,410	0,000	-5,216	-2,994
Rr	1 Testemunha	0,437	0,286	0,526	-0,339	1,213
	2 Testemunha	0,116	0,286	1,000	-0,660	0,893
	3 Testemunha	0,019	0,286	1,000	-0,757	0,796
	4 Testemunha	0,067	0,286	1,000	-0,710	0,843
	5 Testemunha	-0,182	0,286	0,990	-0,958	0,594
	6 Testemunha	-1,160*	0,286	0,001	-1,937	-0,384
	7 Testemunha	-1,104*	0,286	0,002	-1,881	-0,328
	8 Testemunha	-2,075*	0,286	0,000	-2,851	-1,299

CONTINUA

Tabela 4. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de maçaranduba.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite inferior	Conf 95% Limite superior
Rl	1 Testemunha	0,100	0,071	0,426	-0,074	0,311
	2 Testemunha	0,001	0,071	1,000	-0,191	0,193
	3 Testemunha	0,033	0,071	0,999	-0,159	0,226
	4 Testemunha	0,020	0,071	1,000	-0,172	0,213
	5 Testemunha	0,064	0,071	0,930	-0,129	0,256
	6 Testemunha	-0,037	0,071	0,997	-0,229	0,155
	7 Testemunha	-0,084	0,071	0,774	-0,276	0,108
	8 Testemunha	0,128	0,071	0,344	-0,064	0,320
Rv	1 Testemunha	0,268	0,618	0,999	-1,408	1,943
	2 Testemunha	-1,126	0,618	0,333	-2,801	0,550
	3 Testemunha	-0,709	0,618	0,799	-2,384	0,967
	4 Testemunha	-1,140	0,618	0,320	-2,816	0,535
	5 Testemunha	-3,010*	0,618	0,000	-4,686	-1,335
	6 Testemunha	-5,160*	0,618	0,000	-6,835	-3,485
	7 Testemunha	-4,329*	0,618	0,000	-6,005	-2,654
	8 Testemunha	-6,144*	0,618	0,000	-7,820	-4,469
CAr	1 Testemunha	-0,152	0,065	0,126	-0,329	0,025
	2 Testemunha	-0,237*	0,065	0,004	-0,414	-0,060
	3 Testemunha	-0,130	0,065	0,249	-0,307	0,047
	4 Testemunha	-0,227*	0,065	0,006	-0,405	-0,050
	5 Testemunha	-0,471*	0,065	0,000	-0,649	-0,295
	6 Testemunha	-0,492*	0,065	0,000	-0,670	-0,316
	7 Testemunha	-0,309*	0,065	0,000	-0,487	-0,132
	8 Testemunha	-,27721*	0,065	0,000	-0,455	-0,100

CONTINUA

Tabela 4. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de maçaranduba.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Conf. 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
PM	1 Testemunha	2,030*	0,532	0,002	0,587	3,474
	2 Testemunha	5,390*	0,532	0,000	3,947	6,834
	3 Testemunha	5,147*	0,532	0,000	3,703	6,591
	4 Testemunha	7,615*	0,532	0,000	6,171	9,059
	5 Testemunha	10,938*	0,532	0,000	9,495	12,382
	6 Testemunha	14,706*	0,532	0,000	13,263	16,150
	7 Testemunha	12,262*	0,532	0,000	10,819	13,706
	8 Testemunha	16,058*	0,532	0,000	14,615	17,502

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 5. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades mecânicas da madeira de maçaranduba.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
VU	1 Testemunha	28,700	163,478	1,000	-414,518	471,975
	2 Testemunha	77,963	163,478	0,998	-365,284	521,209
	3 Testemunha	-65,914	163,478	1,000	-509,161	377,332
	4 Testemunha	54,156	163,478	1,000	-389,091	497,403
	5 Testemunha	100,468	163,478	0,992	-342,779	543,714
	6 Testemunha	82,608	163,478	0,998	-360,639	525,855
	7 Testemunha	233,268	163,478	0,598	-209,978	676,515
	8 Testemunha	-187,887	163,478	0,797	-631,134	255,360
MOEdu	1 Testemunha	-470,937	1921,732	1,000	-5681,444	4739,571
	2 Testemunha	-770,050	1921,732	1,000	-5980,558	4440,457
	3 Testemunha	-3200,278	1921,732	0,429	-8410,785	2010,230
	4 Testemunha	-2617,473	1921,732	0,646	-7827,981	2593,034
	5 Testemunha	-2205,020	1921,732	0,798	-7415,527	3005,488
	6 Testemunha	-3651,757	1921,732	0,291	-8862,264	1558,751
	7 Testemunha	-1890,087	1921,732	0,893	-7100,595	3320,420
	8 Testemunha	-7747,855*	1921,732	0,001	-12958,363	-2537,348

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 6. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades mecânicas da madeira de maçaranduba.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
VS	1 Testemunha	42,500	146,969	1,000	-355,972	440,999
	2 Testemunha	273,613	146,969	0,311	-124,873	672,098
	3 Testemunha	137,104	146,969	0,916	-261,382	535,590
	4 Testemunha	162,964	146,969	0,823	-235,522	561,449
	5 Testemunha	250,832	146,969	0,403	-147,653	649,318
	6 Testemunha	76,044	146,969	0,997	-322,442	474,529
	7 Testemunha	453,015*	146,969	0,018	54,529	851,501
	8 Testemunha	-23,828	146,969	1,000	-422,314	374,658
MOEds	1 Testemunha	-154,344	1396,269	1,000	-3940,132	3631,444
	2 Testemunha	1510,246	1396,269	0,839	-2275,542	5296,034
	3 Testemunha	-386,297	1396,269	1,000	-4172,085	3399,491
	4 Testemunha	-708,230	1396,269	0,998	-4494,018	3077,557
	5 Testemunha	37,565	1396,269	1,000	-3748,223	3823,353
	6 Testemunha	-2301,697	1396,269	0,440	-6087,485	1484,090
	7 Testemunha	1090,681	1396,269	0,966	-2695,107	4876,469
	8 Testemunha	-4090,937*	1396,269	0,028	-7876,725	-305,150

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 7. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de tauari.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Conf 95% Limite inferior	Limite superior
Dap	1 Testemunha	0,000	0,027	1,000	-0,064	0,084
	2 Testemunha	-0,024	0,027	0,939	-0,098	0,050
	3 Testemunha	-0,031	0,027	0,802	-0,105	0,043
	4 Testemunha	-0,036	0,027	0,669	-0,110	0,038
	5 Testemunha	-0,059	0,027	0,179	-0,133	0,015
	6 Testemunha	-0,042	0,027	0,526	-0,116	0,032
	7 Testemunha	-0,051	0,027	0,305	-0,125	0,023
	8 Testemunha	-0,032	0,027	0,779	-0,106	0,042
Db	1 Testemunha	0,003	0,021	1,000	-0,054	0,059
	2 Testemunha	-0,012	0,021	0,995	-0,069	0,045
	3 Testemunha	-0,015	0,021	0,976	-0,072	0,041
	4 Testemunha	-0,021	0,021	0,891	-0,077	0,036
	5 Testemunha	-0,033	0,021	0,500	-0,090	0,024
	6 Testemunha	-0,014	0,021	0,985	-0,071	0,043
	7 Testemunha	-0,012	0,021	0,994	-0,069	0,045
	8 Testemunha	0,012	0,021	0,995	-0,045	0,069
TA	1 Testemunha	-2,406*	0,797	0,022	-4,567	-0,246
	2 Testemunha	-3,591*	0,797	0,000	-5,753	-1,431
	3 Testemunha	-2,013	0,797	0,079	-4,174	0,148
	4 Testemunha	-1,618	0,797	0,229	-3,778	0,543
	5 Testemunha	-3,082*	0,797	0,002	-5,243	-0,921
	6 Testemunha	-5,658*	0,797	0,000	-7,819	-3,498
	7 Testemunha	-3,964*	0,797	0,000	-6,125	-1,804
	8 Testemunha	-5,302*	0,797	0,000	-7,463	-3,142

CONTINUA

Tabela 7. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de tauari.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite inferior	Conf 95% Limite superior
It	1 Testemunha	-0,995*	0,225	0,000	-1,605	-0,386
	2 Testemunha	-1,089*	0,225	0,000	-1,699	-0,480
	3 Testemunha	-0,652*	0,225	0,030	-1,263	-0,043
	4 Testemunha	-1,361*	0,225	0,000	-1,971	-0,751
	5 Testemunha	-1,403*	0,225	0,000	-2,013	-0,794
	6 Testemunha	-2,071*	0,225	0,000	-2,681	-1,461
	7 Testemunha	-1,810*	0,225	0,000	-2,420	-1,201
	8 Testemunha	-2,623*	0,225	0,000	-3,233	-2,013
Ir	1 Testemunha	-0,263	0,193	0,643	-0,787	0,260
	2 Testemunha	-0,165	0,193	0,944	-0,689	0,358
	3 Testemunha	-0,271	0,193	0,613	-0,794	0,252
	4 Testemunha	-0,229	0,193	0,773	-0,752	0,294
	5 Testemunha	-0,078	0,193	1,000	-0,601	0,445
	6 Testemunha	-0,780*	0,193	0,001	-1,303	-0,257
	7 Testemunha	-1,025*	0,193	0,000	-1,548	-0,502
	8 Testemunha	-0,942*	0,193	0,000	-1,466	-0,420
CI	1 Testemunha	-1,004*	0,368	0,048	-2,002	-0,006
	2 Testemunha	-1,050*	0,368	0,035	-2,048	-0,052
	3 Testemunha	-1,242*	0,368	0,008	-2,240	-0,244
	4 Testemunha	-1,674*	0,368	0,000	-2,673	-0,677
	5 Testemunha	-1,268*	0,368	0,006	-2,267	-0,271
	6 Testemunha	-2,651*	0,368	0,000	-3,649	-1,653
	7 Testemunha	-2,041*	0,368	0,000	-3,039	-1,043
	8 Testemunha	-2,600*	0,368	0,000	-3,598	-1,602

CONTINUA

Tabela 7. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de tauari.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite inferior	Conf 95% Limite superior
Cai	1 Testemunha	-0,100	0,074	0,398	-0,327	0,074
	2 Testemunha	-0,182	0,074	0,091	-0,383	0,018
	3 Testemunha	-0,043	0,074	0,994	-0,244	0,157
	4 Testemunha	-0,223*	0,074	0,022	-0,424	-0,023
	5 Testemunha	-0,288*	0,074	0,001	-0,489	-0,087
	6 Testemunha	-0,216*	0,074	0,029	-0,417	-0,016
	7 Testemunha	-0,035	0,074	0,999	-0,235	0,166
	8 Testemunha	-0,318*	0,074	0,000	-0,519	-0,118
Rt	1 Testemunha	0,541	0,293	0,317	-0,252	1,334
	2 Testemunha	-0,162	0,293	0,996	-0,955	0,632
	3 Testemunha	-0,163	0,293	0,996	-0,956	0,630
	4 Testemunha	-0,270	0,293	0,920	-1,063	0,523
	5 Testemunha	-0,614	0,293	0,199	-1,408	0,179
	6 Testemunha	-1,080*	0,293	0,003	-1,874	-0,288
	7 Testemunha	-0,948*	0,293	0,012	-1,741	-0,155
	8 Testemunha	-1,682*	0,293	0,000	-2,476	-0,889
Rr	1 Testemunha	0,978*	0,359	0,048	0,005	1,953
	2 Testemunha	-0,107	0,359	1,000	-1,081	0,867
	3 Testemunha	0,103	0,359	1,000	-0,872	1,077
	4 Testemunha	0,419	0,359	0,786	-0,555	1,393
	5 Testemunha	-0,307	0,359	0,945	-1,281	0,667
	6 Testemunha	-0,307	0,359	0,946	-1,281	0,668
	7 Testemunha	-0,331	0,359	0,920	-1,305	0,643
	8 Testemunha	-0,967	0,359	0,053	-1,941	0,007

CONTINUA

Tabela 7. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de tauari.

Variável dependente		Diferença média	Erro	Significância	Intervalo Limite inferior	Conf 95% Limite superior
Rl	1 Testemunha	0,000	0,031	0,953	-0,111	0,059
	2 Testemunha	-0,019	0,031	0,992	-0,104	0,066
	3 Testemunha	0,011	0,031	1,000	-0,074	0,096
	4 Testemunha	-0,028	0,031	0,930	-0,113	0,057
	5 Testemunha	-0,021	0,031	0,986	-0,106	0,064
	6 Testemunha	-0,043	0,031	0,633	-0,128	0,042
	7 Testemunha	-0,038	0,031	0,751	-0,123	0,047
	8 Testemunha	-0,050	0,031	0,471	-0,135	0,035
Rv	1 Testemunha	1,494	0,607	0,092	-0,152	3,140
	2 Testemunha	-0,288	0,607	0,999	-1,934	1,358
	3 Testemunha	-0,049	0,607	1,000	-1,695	1,597
	4 Testemunha	0,121	0,607	1,000	-1,525	1,767
	5 Testemunha	-0,942	0,607	0,507	-2,588	0,704
	6 Testemunha	-1,431	0,607	0,116	-3,077	0,215
	7 Testemunha	-1,318	0,607	0,173	-2,964	0,328
	8 Testemunha	-2,699*	0,607	0,000	-4,346	-1,054
Car	1 Testemunha	-0,124	0,056	0,160	-0,276	0,028
	2 Testemunha	0,000	0,056	1,000	-0,153	0,152
	3 Testemunha	-0,051	0,056	0,929	-0,203	0,102
	4 Testemunha	-0,139	0,056	0,089	-0,291	0,013
	5 Testemunha	-0,042	0,056	0,972	-0,195	0,110
	6 Testemunha	-0,132	0,056	0,118	-0,285	0,020
	7 Testemunha	-0,090	0,056	0,476	-0,242	0,063
	8 Testemunha	-0,082	0,056	0,569	-0,235	0,070

CONTINUA

Tabela 7. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades físicas da madeira de tauari.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
PM	1 Testemunha	3,043*	0,369	0,000	2,042	4,045
	2 Testemunha	3,697*	0,369	0,000	2,696	4,699
	3 Testemunha	3,458*	0,369	0,000	2,457	4,460
	4 Testemunha	4,284*	0,369	0,000	3,283	5,286
	5 Testemunha	6,471*	0,369	0,000	5,470	7,473
	6 Testemunha	10,017*	0,369	0,000	9,016	11,019
	7 Testemunha	8,173*	0,369	0,000	7,172	9,175
	8 Testemunha	11,010*	0,369	0,000	10,009	12,012

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 8. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades mecânicas da madeira de tauari.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
VU	1 Testemunha	-102,700	89,684	0,800	-345,891	140,441
	2 Testemunha	-113,173	89,684	0,719	-356,339	129,994
	3 Testemunha	-16,964	89,684	1,000	-260,130	226,203
	4 Testemunha	-244,915*	89,684	0,048	-488,082	-1,750
	5 Testemunha	40,113	89,684	0,999	-203,053	283,279
	6 Testemunha	-1,455	89,684	1,000	-244,621	241,712
	7 Testemunha	-61,284	89,684	0,984	-304,450	181,883
	8 Testemunha	139,519	89,684	0,504	-103,647	382,685
MOEdu	1 Testemunha	-963,016	1474,557	0,988	-4961,072	3035,039
	2 Testemunha	-1786,708	1474,557	0,755	-5784,763	2211,348
	3 Testemunha	-485,814	1474,557	1,000	-4483,870	3512,242
	4 Testemunha	-2868,657	1474,557	0,268	-6866,713	1129,399
	5 Testemunha	-494,549	1474,557	1,000	-4492,604	3503,507
	6 Testemunha	-2872,519	1474,557	0,266	-6870,575	1125,537
	7 Testemunha	-3426,196	1474,557	0,125	-7424,251	571,860
	8 Testemunha	133,030	1474,557	1,000	-3865,025	4131,086

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 9. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades mecânicas da madeira de tauari.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
VS	1 Testemunha	262,691*	68,852	0,002	76,009	449,373
	2 Testemunha	258,129*	68,852	0,002	71,447	444,812
	3 Testemunha	264,140*	68,852	0,002	77,458	450,822
	4 Testemunha	120,057	68,852	0,379	-66,625	306,739
	5 Testemunha	356,887*	68,852	0,000	170,205	543,570
	6 Testemunha	309,233*	68,852	0,000	122,552	495,916
	7 Testemunha	321,865*	68,852	0,000	135,184	508,548
	8 Testemunha	306,083*	68,852	0,000	119,401	492,766
MOEds	1 Testemunha	2104,193	1011,615	0,207	-638,659	4847,045
	2 Testemunha	1495,951	1011,615	0,560	-1246,901	4238,803
	3 Testemunha	1805,436	1011,615	0,355	-937,416	4548,289
	4 Testemunha	424,731	1011,615	0,999	-2318,121	3167,583
	5 Testemunha	2097,979	1011,615	0,210	-644,874	4840,831
	6 Testemunha	280,596	1011,615	1,000	-2462,256	3023,448
	7 Testemunha	378,504	1011,615	1,000	-2364,348	3121,356
	8 Testemunha	1592,519	1011,615	0,491	-1150,334	4335,371

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 10. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face tangencial da madeira de cumaru.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
L*	1 Testemunha	-4,693*	1,015	0,000	-7,445	-1,941
	2 Testemunha	-8,760*	1,015	0,000	-11,512	-6,008
	3 Testemunha	-5,174*	1,015	0,000	-7,927	-2,423
	4 Testemunha	-14,139*	1,015	0,000	-16,891	-11,387
	5 Testemunha	-14,506*	1,015	0,000	-17,258	-11,755
	6 Testemunha	-19,478*	1,015	0,000	-22,230	-16,726
	7 Testemunha	-19,772*	1,015	0,000	-22,524	-17,021
	8 Testemunha	-19,925*	1,015	0,000	-22,677	-17,174
a*	1 Testemunha	-1,441	0,626	0,131	-3,138	0,256
	2 Testemunha	-3,422*	0,626	0,000	-5,120	-1,725
	3 Testemunha	-1,820*	0,626	0,030	-3,518	-0,123
	4 Testemunha	-6,025*	0,626	0,000	-7,722	-4,328
	5 Testemunha	-6,542*	0,626	0,000	-8,239	-4,845
	6 Testemunha	-12,713*	0,626	0,000	-14,411	-11,016
	7 Testemunha	-11,740*	0,626	0,000	-13,438	-10,043
	8 Testemunha	-12,201*	0,626	0,000	-13,899	-10,505
b*	1 Testemunha	-2,563	1,202	0,187	-5,822	0,695
	2 Testemunha	-7,225*	1,202	0,000	-10,485	-3,967
	3 Testemunha	-3,201	1,202	0,056	-6,459	0,058
	4 Testemunha	-12,226*	1,202	0,000	-15,485	-8,967
	5 Testemunha	-13,445*	1,202	0,000	-16,704	-10,186
	6 Testemunha	-21,200*	1,202	0,000	-24,459	-17,942
	7 Testemunha	-20,134*	1,202	0,000	-23,393	-16,875
	8 Testemunha	-20,599*	1,202	0,000	-23,858	-17,341

CONTINUA

Tabela 11. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face tangencial da madeira de cumaru.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
C	1 Testemunha	-2,939	1,326	0,157	-6,534	0,656
	2 Testemunha	-7,919*	1,326	0,000	-11,515	-4,325
	3 Testemunha	-3,671*	1,326	0,043	-7,267	-0,077
	4 Testemunha	-13,523*	1,326	0,000	-17,118	-9,928
	5 Testemunha	-14,768*	1,326	0,000	-18,364	-11,174
	6 Testemunha	-24,701*	1,326	0,000	-28,296	-21,106
	7 Testemunha	-23,276*	1,326	0,000	-26,871	-19,681
	8 Testemunha	-23,909*	1,326	0,000	-27,505	-20,315
h*	1 Testemunha	-0,292	1,986	1,000	-5,678	5,094
	2 Testemunha	-3,001	1,986	0,537	-8,387	2,385
	3 Testemunha	-0,460	1,986	1,000	-5,845	4,926
	4 Testemunha	-5,207	1,986	0,063	-10,593	0,179
	5 Testemunha	-8,257*	1,986	0,001	-13,643	-2,872
	6 Testemunha	-0,828	1,986	0,999	-6,214	4,557
	7 Testemunha	-4,626	1,986	0,124	-10,012	0,760
	8 Testemunha	-1,405	1,986	0,981	-6,791	3,980

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 12. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face radial da madeira de cumaru.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
L*	1 Testemunha	-3,904*	0,973	0,001	-6,543	-1,267
	2 Testemunha	-7,827*	0,973	0,000	-10,465	-5,190
	3 Testemunha	-4,905*	0,973	0,000	-7,544	-2,268
	4 Testemunha	-13,337*	0,973	0,000	-15,976	-10,700
	5 Testemunha	-16,859*	0,973	0,000	-19,498	-14,222
	6 Testemunha	-21,748*	0,973	0,000	-24,386	-19,111
	7 Testemunha	-19,285*	0,973	0,000	-21,924	-16,648
	8 Testemunha	-21,971*	0,973	0,000	-24,609	-19,333
a*	1 Testemunha	-0,538	0,373	0,588	-1,551	0,475
	2 Testemunha	-1,620*	0,373	0,000	-2,633	-0,607
	3 Testemunha	-0,776	0,373	0,208	-1,789	0,237
	4 Testemunha	-3,589*	0,373	0,000	-4,603	-2,577
	5 Testemunha	-5,458*	0,373	0,000	-6,471	-4,445
	6 Testemunha	-10,884*	0,373	0,000	-11,897	-9,871
	7 Testemunha	-7,813*	0,373	0,000	-8,826	-6,800
	8 Testemunha	-11,061*	0,373	0,000	-12,074	-10,049
b*	1 Testemunha	-1,255	0,882	0,600	-3,645	1,135
	2 Testemunha	-4,206*	0,882	0,000	-6,597	-1,816
	3 Testemunha	-2,069	0,882	0,119	-4,459	0,321
	4 Testemunha	-8,814*	0,882	0,000	-11,205	-6,425
	5 Testemunha	-14,284*	0,882	0,000	-16,675	-11,894
	6 Testemunha	-20,826*	0,882	0,000	-23,216	-18,436
	7 Testemunha	-16,831*	0,882	0,000	-19,222	-14,441
	8 Testemunha	-20,708*	0,882	0,000	-23,098	-18,318

CONTINUA

Tabela 12. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face radial da madeira de cumaru.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
C	1 Testemunha	-1,400	0,916	0,561	-3,837	1,131
	2 Testemunha	-4,446*	0,916	0,000	-6,931	-1,962
	3 Testemunha	-2,181	0,916	0,110	-4,665	0,303
	4 Testemunha	-9,415*	0,916	0,000	-11,899	-6,931
	5 Testemunha	-14,921*	0,916	0,000	-17,406	-12,438
	6 Testemunha	-23,448*	0,916	0,000	-25,933	-20,964
	7 Testemunha	-18,409*	0,916	0,000	-20,894	-15,926
	8 Testemunha	-23,462*	0,916	0,000	-25,946	-20,978
h*	1 Testemunha	-0,393	1,317	1,000	-3,965	3,180
	2 Testemunha	-1,825	1,317	0,629	-5,397	1,747
	3 Testemunha	-0,768	1,317	0,994	-4,340	2,804
	4 Testemunha	-3,827*	1,317	0,030	-7,399	-0,255
	5 Testemunha	-11,244*	1,317	0,000	-14,817	-7,673
	6 Testemunha	-9,424*	1,317	0,000	-12,996	-5,852
	7 Testemunha	-9,079*	1,317	0,000	-12,651	-5,507
	8 Testemunha	-4,824*	1,317	0,003	-8,396	-1,252

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 13. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face tangencial da madeira de maçaranduba.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
L*	1 Testemunha	-6,799*	1,098	0,000	-9,775	-3,823
	2 Testemunha	-8,154*	1,098	0,000	-11,130	-5,179
	3 Testemunha	-7,324*	1,098	0,000	-10,300	-4,349
	4 Testemunha	-8,656*	1,098	0,000	-11,632	-5,680
	5 Testemunha	-11,083*	1,098	0,000	-14,060	-8,108
	6 Testemunha	-19,023*	1,098	0,000	-21,999	-16,048
	7 Testemunha	-15,849*	1,098	0,000	-18,826	-12,874
	8 Testemunha	-18,492*	1,098	0,000	-21,468	-15,516
a*	1 Testemunha	-3,486*	0,635	0,000	-5,208	-1,765
	2 Testemunha	-5,517*	0,635	0,000	-7,239	-3,795
	3 Testemunha	-4,465*	0,635	0,000	-6,187	-2,744
	4 Testemunha	-5,243*	0,635	0,000	-6,965	-3,522
	5 Testemunha	-4,710*	0,635	0,000	-6,432	-2,989
	6 Testemunha	-12,589*	0,635	0,000	-14,311	-10,868
	7 Testemunha	-9,549*	0,635	0,000	-11,271	-7,828
	8 Testemunha	-13,197*	0,635	0,000	-14,919	-11,476
b*	1 Testemunha	-3,252*	0,767	0,000	-5,332	-1,173
	2 Testemunha	-5,231*	0,767	0,000	-7,311	-3,152
	3 Testemunha	-3,796*	0,767	0,000	-5,876	-1,717
	4 Testemunha	-4,455*	0,767	0,000	-6,535	-2,376
	5 Testemunha	-4,622*	0,767	0,000	-6,702	-2,543
	6 Testemunha	-12,579*	0,767	0,000	-14,659	-10,500
	7 Testemunha	-9,625*	0,767	0,000	-11,705	-7,546
	8 Testemunha	-13,876*	0,767	0,000	-15,956	-11,797

CONTINUA

Tabela 13. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face tangencial da madeira de maçaranduba.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
C	1 Testemunha	-4,751*	0,959	0,000	-7,350	-2,152
	2 Testemunha	-7,578*	0,959	0,000	-10,177	-4,979
	3 Testemunha	-5,816*	0,959	0,000	-8,415	-3,217
	4 Testemunha	-6,818*	0,959	0,000	-9,417	-4,219
	5 Testemunha	-6,589*	0,959	0,000	-9,188	-3,990
	6 Testemunha	-17,776*	0,959	0,000	-20,375	-15,177
	7 Testemunha	-13,548*	0,959	0,000	-16,147	-10,949
	8 Testemunha	-19,146*	0,959	0,000	-21,746	-16,548
h*	1 Testemunha	0,830	1,103	0,972	-2,160	3,820
	2 Testemunha	1,189	1,103	0,841	-1,801	4,179
	3 Testemunha	1,956	1,103	0,361	-1,034	4,946
	4 Testemunha	2,316	1,103	0,199	-0,674	5,306
	5 Testemunha	0,722	1,103	0,988	-2,268	3,712
	6 Testemunha	4,421*	1,103	0,001	1,431	7,412
	7 Testemunha	1,721	1,103	0,501	-1,270	4,711
	8 Testemunha	1,110	1,103	0,881	-1,880	4,100

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 14. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face radial da madeira de maçaranduba.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
L*	1 Testemunha	-6,920*	1,092	0,000	-9,881	-3,960
	2 Testemunha	-8,060*	1,092	0,000	-11,021	-5,101
	3 Testemunha	-7,332*	1,092	0,000	-10,292	-4,372
	4 Testemunha	-8,341*	1,092	0,000	-11,301	-5,381
	5 Testemunha	-12,531*	1,092	0,000	-15,492	-9,572
	6 Testemunha	-19,186*	1,092	0,000	-22,147	-16,227
	7 Testemunha	-15,568*	1,092	0,000	-18,528	-12,608
	8 Testemunha	-19,379*	1,092	0,000	-22,339	-16,419
a*	1 Testemunha	-3,964*	0,478	0,000	-5,261	-2,669
	2 Testemunha	-4,505*	0,478	0,000	-5,802	-3,210
	3 Testemunha	-3,749*	0,478	0,000	-5,045	-2,453
	4 Testemunha	-4,289*	0,478	0,000	-5,585	-2,993
	5 Testemunha	-6,001*	0,478	0,000	-7,298	-4,706
	6 Testemunha	-12,218*	0,478	0,000	-13,514	-10,922
	7 Testemunha	-8,664*	0,478	0,000	-9,961	-7,368
	8 Testemunha	-13,890*	0,478	0,000	-15,187	-12,595
b*	1 Testemunha	-4,170*	0,692	0,000	-6,046	-2,296
	2 Testemunha	-5,084*	0,692	0,000	-6,960	-3,209
	3 Testemunha	-3,735*	0,692	0,000	-5,611	-1,860
	4 Testemunha	-4,427*	0,692	0,000	-6,303	-2,552
	5 Testemunha	-7,025*	0,692	0,000	-8,901	-5,151
	6 Testemunha	-13,790*	0,692	0,000	-15,666	-11,916
	7 Testemunha	-9,919*	0,692	0,000	-11,794	-8,044
	8 Testemunha	-15,756*	0,692	0,000	-17,632	-13,882

CONTINUA

Tabela 14. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face radial da madeira de maçaranduba.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
C	1 Testemunha	-5,743*	0,803	0,000	-7,920	-3,568
	2 Testemunha	-6,784*	0,803	0,000	-8,961	-4,609
	3 Testemunha	-5,282*	0,803	0,000	-7,458	-3,106
	4 Testemunha	-6,157*	0,803	0,000	-8,333	-3,981
	5 Testemunha	-9,230*	0,803	0,000	-11,407	-7,055
	6 Testemunha	-18,424*	0,803	0,000	-20,601	-16,249
	7 Testemunha	-13,169*	0,803	0,000	-15,345	-10,993
	8 Testemunha	-21,004*	0,803	0,000	-23,180	-18,828
h*	1 Testemunha	0,351	0,852	0,999	-1,960	2,662
	2 Testemunha	-0,225	0,852	1,000	-2,536	2,086
	3 Testemunha	0,751	0,852	0,936	-1,560	3,061
	4 Testemunha	0,644	0,852	0,972	-1,667	2,955
	5 Testemunha	-0,821	0,852	0,902	-3,132	1,490
	6 Testemunha	-0,651	0,852	0,970	-2,962	1,659
	7 Testemunha	-0,736	0,852	0,942	-3,047	1,574
	8 Testemunha	-1,686	0,852	0,252	-3,997	0,625

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 15. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face tangencial da madeira de tauari.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
L*	1 Testemunha	-2,700	2,312	0,797	-8,925	3,610
	2 Testemunha	-5,370	2,312	0,125	-11,637	0,898
	3 Testemunha	-3,156	2,312	0,644	-9,424	3,111
	4 Testemunha	-6,772*	2,312	0,028	-13,040	-0,504
	5 Testemunha	-7,452*	2,312	0,012	-13,720	-1,184
	6 Testemunha	-18,888*	2,312	0,000	-25,156	-12,621
	7 Testemunha	-14,138*	2,312	0,000	-20,406	-7,871
	8 Testemunha	-22,984*	2,312	0,000	-29,252	-16,717
a*	1 Testemunha	-0,155	0,380	0,999	-1,186	0,876
	2 Testemunha	0,817	0,380	0,181	-0,214	1,848
	3 Testemunha	0,578	0,380	0,530	-0,453	1,610
	4 Testemunha	1,789*	0,380	0,000	0,758	2,821
	5 Testemunha	1,192*	0,380	0,016	0,161	2,223
	6 Testemunha	2,683*	0,380	0,000	1,652	3,715
	7 Testemunha	2,977*	0,380	0,000	1,946	4,009
	8 Testemunha	0,667	0,380	0,373	-0,364	1,699
b*	1 Testemunha	-1,097	1,198	0,923	-4,346	2,152
	2 Testemunha	-0,970	1,198	0,959	-4,219	2,279
	3 Testemunha	-0,410	1,198	1,000	-3,659	2,839
	4 Testemunha	0,071	1,198	1,000	-3,178	3,320
	5 Testemunha	-0,329	1,198	1,000	-3,578	2,920
	6 Testemunha	-4,643*	1,198	0,002	-7,893	-1,395
	7 Testemunha	-0,633	1,198	0,997	-3,882	2,615
	8 Testemunha	-9,570*	1,198	0,000	-12,820	-6,322

CONTINUA

Tabela 15. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face tangencial da madeira de tauari.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
C	1 Testemunha	-1,100	1,171	0,914	-4,272	2,077
	2 Testemunha	-0,682	1,171	0,994	-3,856	2,493
	3 Testemunha	-0,228	1,171	1,000	-3,402	2,946
	4 Testemunha	0,610	1,171	0,997	-2,565	3,784
	5 Testemunha	0,034	1,171	1,000	-3,140	3,209
	6 Testemunha	-3,416*	1,171	0,029	-6,591	-0,242
	7 Testemunha	0,373	1,171	1,000	-2,801	3,547
	8 Testemunha	-8,619*	1,171	0,000	-11,794	-5,446
h*	1 Testemunha	-0,342	1,226	1,000	-3,666	2,983
	2 Testemunha	-2,274	1,226	0,315	-5,598	1,051
	3 Testemunha	-1,435	1,226	0,783	-4,759	1,890
	4 Testemunha	-3,568*	1,226	0,030	-6,892	-0,244
	5 Testemunha	-2,642	1,226	0,179	-5,967	0,682
	6 Testemunha	-9,449*	1,226	0,000	-12,773	-6,125
	7 Testemunha	-6,400*	1,226	0,000	-9,725	-3,076
	8 Testemunha	-12,256*	1,226	0,000	-15,580	-8,932

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

Tabela 16. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face radial da madeira de tauari.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
L*	1 Testemunha	-0,900	1,334	0,988	-4,484	2,748
	2 Testemunha	-3,220	1,334	0,102	-6,835	0,396
	3 Testemunha	-2,102	1,334	0,490	-5,717	1,514
	4 Testemunha	-4,456*	1,334	0,009	-8,072	-0,840
	5 Testemunha	-6,634*	1,334	0,000	-10,250	-3,018
	6 Testemunha	-20,067*	1,334	0,000	-23,683	-16,452
	7 Testemunha	-12,377*	1,334	0,000	-15,993	-8,762
	8 Testemunha	-23,327*	1,334	0,000	-26,944	-19,712
a*	1 Testemunha	-0,177	0,316	0,996	-1,033	0,680
	2 Testemunha	0,778	0,316	0,091	-0,078	1,634
	3 Testemunha	0,060	0,316	1,000	-0,797	0,916
	4 Testemunha	1,679*	0,316	0,000	0,824	2,536
	5 Testemunha	1,453*	0,316	0,000	0,597	2,309
	6 Testemunha	2,684*	0,316	0,000	1,828	3,541
	7 Testemunha	2,841*	0,316	0,000	1,985	3,698
	8 Testemunha	1,904*	0,316	0,000	1,049	2,761
b*	1 Testemunha	-0,233	0,961	1,000	-2,839	2,373
	2 Testemunha	0,019	0,961	1,000	-2,586	2,625
	3 Testemunha	-0,039	0,961	1,000	-2,645	2,566
	4 Testemunha	1,017	0,961	0,853	-1,589	3,623
	5 Testemunha	-0,390	0,961	1,000	-2,996	2,215
	6 Testemunha	-6,344*	0,961	0,000	-8,950	-3,738
	7 Testemunha	-1,519	0,961	0,487	-4,124	1,087
	8 Testemunha	-8,973*	0,961	0,000	-11,580	-6,368

CONTINUA

Tabela 16. Teste de Dunnett bilateral para as propriedades colorimétricas da face radial da madeira de tauari.

Variável dependente	Diferença média	Erro	Significância	Intervalo de Confiança 95%		
				Limite inferior	Limite superior	
C	1 Testemunha	-0,300	0,965	1,000	-2,890	2,346
	2 Testemunha	0,251	0,965	1,000	-2,367	2,868
	3 Testemunha	-0,023	0,965	1,000	-2,640	2,595
	4 Testemunha	1,484	0,965	0,517	-1,133	4,102
	5 Testemunha	0,078	0,965	1,000	-2,540	2,695
	6 Testemunha	-4,909*	0,965	0,000	-7,527	-2,292
	7 Testemunha	-0,462	0,965	0,998	-3,079	2,156
	8 Testemunha	-7,573*	0,965	0,000	-10,191	-4,956
h*	1 Testemunha	0,192	0,718	1,000	-1,755	2,139
	2 Testemunha	-1,527	0,718	0,189	-3,474	0,421
	3 Testemunha	-0,176	0,718	1,000	-2,124	1,771
	4 Testemunha	-2,613*	0,718	0,003	-4,561	-0,666
	5 Testemunha	-3,124*	0,718	0,000	-5,072	-1,177
	6 Testemunha	-10,986*	0,718	0,000	-12,934	-9,040
	7 Testemunha	-6,722*	0,718	0,000	-8,669	-4,775
	8 Testemunha	-13,074*	0,718	0,000	-15,022	-11,128

*: A diferença média é significativa no nível 0,05 (5%).

APÊNDICE 2 – ANÁLISES DE VARIÂNCIA FATORIAL

Tabela 1. Análise de Variância Fatorial para o fator tempo na estufa para a madeira de cumaru.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	85,878	1	85,878	12,552	0,001
a* (tang)	22,231	1	22,231	12,706	0,001
b* (tang)	79,451	1	79,451	8,758	0,005
C (tang)	100,356	1	100,356	9,662	0,004
h* (tang)	14,091	1	14,091	3,768	0,060
L* (rad)	105,986	1	105,986	12,569	0,001
a* (rad)	12,185	1	12,185	20,408	0,000
b* (rad)	73,503	1	73,503	14,461	0,001
C (rad)	83,999	1	83,999	16,141	0,000
h* (rad)	14,132	1	14,132	4,253	0,046
Dap	1,125E-05	1	1,125E-05	0,009	0,926
Db	0,002	1	0,002	3,473	0,071
TA	6,683	1	6,683	99,682	0,000
It	0,751	1	0,751	446,155	0,000
Ir	0,585	1	0,585	333,819	0,000
CI	0,043	1	0,043	4,897	0,033
Cai	0,032	1	0,032	1,828	0,185
Rt	1,910	1	1,910	5,708	0,022
Rr	2,473	1	2,473	9,608	0,004
Rl	0,097	1	0,097	8,321	0,007
Rv	10,565	1	10,565	10,542	0,003
Car	0,019	1	0,019	1,399	0,245
PM	75,551	1	75,551	168,592	0,000
VU	40516,397	1	40516,397	0,687	0,413
MOEdu	1828829,734	1	1828829,734	0,213	0,647
VS	68157,328	1	68157,328	1,145	0,292
MOEDs	2805185,001	1	2805185,001	0,559	0,459

Tabela 2. Análise de Variância Fatorial para o fator temperatura na estufa para a madeira de cumaru.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	424,530	1	424,530	62,051	0,000
a* (tang)	95,666	1	95,666	54,677	0,000
b* (tang)	468,417	1	468,417	51,635	0,000
C (tang)	549,985	1	549,985	52,950	0,000
h* (tang)	138,991	1	138,991	37,171	0,000
L* (rad)	381,584	1	381,584	45,252	0,000
a* (rad)	37,945	1	37,945	63,553	0,000
b* (rad)	235,094	1	235,094	46,252	0,000
C (rad)	266,653	1	266,653	51,240	0,000
h* (rad)	50,432	1	50,432	15,179	0,000
Dap	3,991E-05	1	3,991E-05	0,031	0,862
Db	0,001	1	0,001	0,785	0,381
TA	11,514	1	11,514	171,735	0,000
It	0,379	1	0,379	225,024	0,000
Ir	0,105	1	0,105	59,862	0,000
CI	0,111	1	0,111	12,510	0,001
Cai	0,216	1	0,216	12,237	0,001
Rt	0,378	1	0,378	1,131	0,295
Rr	0,065	1	0,065	0,251	0,619
Rl	0,004	1	0,004	0,304	0,585
Rv	0,893	1	0,893	0,891	0,352
Car	0,002	1	0,002	0,171	0,681
PM	90,165	1	90,165	201,204	0,000
VU	671,280	1	671,280	0,011	0,916
MOEdu	6050944,081	1	6050944,081	0,704	0,407
VS	22573,041	1	22573,041	0,379	0,542
MOEDs	369,804	1	369,804	0,000	0,993

Tabela 3. Análise de Variância Fatorial para o fator tempo na prensa para a madeira de cumaru.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	81,604	1	81,604	19,222	0,000
a* (tang)	54,915	1	54,915	21,454	0,000
b* (tang)	92,650	1	92,650	13,464	0,001
C (tang)	148,834	1	148,834	16,446	0,000
h* (tang)	23,331	1	23,331	0,577	0,452
L* (rad)	17,538	1	17,538	11,050	0,002
a* (rad)	16,030	1	16,030	17,875	0,000
b* (rad)	14,750	1	14,750	4,431	0,042
C (rad)	30,651	1	30,651	7,854	0,008
h* (rad)	114,447	1	114,447	7,200	0,011
Dap	0,005	1	0,005	5,925	0,020
Db	0,001	1	0,001	1,155	0,290
TA	0,010	1	0,010	0,407	0,528
It	0,212	1	0,212	335,721	0,000
Ir	0,118	1	0,118	183,228	0,000
CI	4,758E-05	1	4,758E-05	0,021	0,884
Cai	0,048	1	0,048	3,030	0,090
Rt	11,161	1	11,161	47,052	0,000
Rr	4,696	1	4,696	19,176	0,000
Rl	0,005	1	0,005	0,764	0,388
Rv	31,131	1	31,131	41,040	0,000
Car	0,024	1	0,024	1,077	0,306
PM	26,971	1	26,971	24,433	0,000
VU	86546,427	1	86546,427	1,636	0,209
MOEdu	18200626,702	1	18200626,702	2,083	0,158
VS	34440,146	1	34440,146	0,806	0,375
MOEDs	5713911,361	1	5713911,361	1,460	0,235

Tabela 4. Análise de Variância Fatorial para o fator temperatura na prensa para a madeira de cumaru.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	65,656	1	65,656	15,465	0,000
a* (tang)	109,985	1	109,985	42,969	0,000
b* (tang)	168,942	1	168,942	24,550	0,000
C (tang)	279,122	1	279,122	30,842	0,000
h* (tang)	283,530	1	283,530	7,017	0,012
L* (rad)	143,414	1	143,414	90,357	0,000
a* (rad)	188,113	1	188,113	209,764	0,000
b* (rad)	271,368	1	271,368	81,518	0,000
C (rad)	460,953	1	460,953	118,108	0,000
h* (rad)	92,282	1	92,282	5,806	0,021
Dap	0,006	1	0,006	6,716	0,014
Db	0,000	1	0,000	0,107	0,745
TA	0,018	1	0,018	0,736	0,397
It	0,016	1	0,016	25,213	0,000
Ir	0,000	1	0,000	0,070	0,793
CI	3,124E-02	1	3,124E-02	14,057	0,001
Cai	0,157	1	0,157	9,931	0,003
Rt	12,681	1	12,681	53,459	0,000
Rr	8,064	1	8,064	32,930	0,000
Rl	0,001	1	0,001	0,171	0,681
Rv	40,597	1	40,597	53,519	0,000
Car	0,000	1	0,000	0,020	0,888
PM	74,225	1	74,225	67,241	0,000
VU	2199,344	1	2199,344	0,042	0,840
MOEdu	625569,265	1	625569,265	0,072	0,791
VS	57490,742	1	57490,742	1,345	0,254
MOEDs	8809370,856	1	8809370,856	2,251	0,142

Tabela 5. Análise de Variância Fatorial com um fator (equipamento) e dois níveis (estufa e prensa) para a madeira de cumaru.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	2092,577	1	2092,577	138,935	0,000
a* (tang)	1161,974	1	1161,974	170,429	0,000
b* (tang)	3145,446	1	3145,446	156,847	0,000
C (tang)	4292,743	1	4292,743	163,054	0,000
h* (tang)	47,392	1	47,392	1,757	0,189
L* (rad)	3111,153	1	3111,153	226,330	0,000
a* (rad)	1029,089	1	1029,089	245,166	0,000
b* (rad)	3962,830	1	3962,830	324,927	0,000
C (rad)	4937,150	1	4937,150	309,775	0,000
h* (rad)	963,258	1	963,258	76,314	0,000
Dap	0,020	1	0,020	17,434	0,000
Db	0,000	1	0,000	0,534	0,467
TA	26,322	1	26,322	94,057	0,000
It	0,993	1	0,993	50,017	0,000
Ir	0,573	1	0,573	48,569	0,000
CI	1,151E+00	1	1,151E+00	151,268	0,000
Cai	0,088	1	0,088	3,998	0,049
Rt	32,731	1	32,731	53,645	0,000
Rr	17,665	1	17,665	39,608	0,000
Rl	0,085	1	0,085	8,796	0,004
Rv	104,253	1	104,253	53,834	0,000
Car	0,011	1	0,011	0,641	0,426
PM	711,810	1	711,810	156,971	0,000
VU	58611,485	1	58611,485	0,979	0,325
MOEdu	9090684,658	1	9090684,658	1,040	0,311
VS	2533,723	1	2533,723	0,042	0,838
MOEDs	19442160,637	1	19442160,637	3,923	0,051

Tabela 6. Análise de Variância Fatorial para o fator tempo na estufa para a madeira de maçaranduba.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	2,638	1	2,638	0,357	0,554
a* (tang)	1,242	1	1,242	0,776	0,384
b* (tang)	0,135	1	0,135	0,040	0,843
C (tang)	0,232	1	0,232	0,052	0,821
h* (tang)	12,704	1	12,704	2,193	0,147
L* (rad)	1,198	1	1,198	0,129	0,722
a* (rad)	0,467	1	0,467	0,370	0,547
b* (rad)	2,983	1	2,983	0,900	0,349
C (rad)	2,966	1	2,966	0,720	0,402
h* (rad)	4,023	1	4,023	1,109	0,299
Dap	0,012	1	0,012	6,311	0,017
Db	0,003	1	0,003	2,244	0,143
TA	0,033	1	0,033	,046	0,831
It	0,069	1	0,069	0,715	0,403
Ir	0,071	1	0,071	0,911	0,346
CI	1,209E-01	1	1,209E-01	0,147	0,704
Cai	0,098	1	0,098	2,515	0,122
Rt	0,543	1	0,543	0,565	0,457
Rr	0,546	1	0,546	1,092	0,303
Rl	0,011	1	0,011	0,410	0,526
Rv	2,456	1	2,456	1,079	0,306
Car	0,002	1	0,002	0,101	0,753
PM	71,325	1	71,325	107,025	0,000
VU	35075,755	1	35075,755	0,385	0,539
MOEdu	52366913,812	1	52366913,812	3,643	0,064
VS	644,689	1	644,689	0,009	0,924
MOEDs	15011516,355	1	15011516,355	2,097	0,156

Tabela 7. Análise de Variância Fatorial para o fator temperatura na estufa para a madeira de maçaranduba.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	18,050	1	18,050	2,441	0,127
a* (tang)	19,714	1	19,714	12,314	0,001
b* (tang)	17,398	1	17,398	5,144	0,029
C (tang)	36,651	1	36,651	8,220	0,007
h* (tang)	1,294	1	1,294	0,223	0,639
L* (rad)	11,550	1	11,550	1,240	0,273
a* (rad)	2,918	1	2,918	2,313	0,137
b* (rad)	6,448	1	6,448	1,945	0,172
C (rad)	9,177	1	9,177	2,228	0,144
h* (rad)	1,167	1	1,167	0,322	0,574
Dap	0,003	1	0,003	1,731	0,197
Db	0,000	1	0,000	0,410	0,526
TA	0,002	1	0,002	0,003	0,958
It	5,310	1	5,310	55,253	0,000
Ir	0,553	1	0,553	7,148	0,011
CI	1,453E-01	1	1,453E-01	0,176	0,677
Cai	0,207	1	0,207	5,294	0,027
Rt	4,826	1	4,826	5,019	0,031
Rr	0,187	1	0,187	0,373	0,545
Rl	0,042	1	0,042	1,604	0,213
Rv	8,327	1	8,327	3,659	0,064
Car	0,084	1	0,084	3,379	0,074
PM	84,924	1	84,924	127,431	0,000
VU	71660,088	1	71660,088	0,787	0,381
MOEdu	201201,534	1	201201,534	0,014	0,906
VS	165069,330	1	165069,330	2,391	0,131
MOEDs	4506818,002	1	4506818,002	0,630	0,433

Tabela 8. Análise de Variância Fatorial para o fator tempo na prensa para a madeira de maçaranduba.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	44,825	1	44,825	8,306	0,007
a* (tang)	74,180	1	74,180	28,489	0,000
b* (tang)	99,219	1	99,219	38,949	0,000
C (tang)	173,456	1	173,456	35,118	0,000
h* (tang)	13,380	1	13,380	1,797	0,188
L* (rad)	26,061	1	26,061	9,012	0,005
a* (rad)	46,987	1	46,987	41,242	0,000
b* (rad)	59,025	1	59,025	31,881	0,000
C (rad)	106,208	1	106,208	37,827	0,000
h* (rad)	2,255	1	2,255	0,533	0,470
Dap	0,012	1	0,012	8,984	0,005
Db	0,004	1	0,004	4,449	0,042
TA	5,667	1	5,667	8,391	0,006
It	2,273	1	2,273	38,696	0,000
Ir	0,085	1	0,085	1,770	0,192
CI	1,212E+00	1	1,212E+00	1,267	0,268
Cai	0,418	1	0,418	8,217	0,007
Rt	0,370	1	0,370	0,658	0,422
Rr	8,441	1	8,441	23,349	0,000
Rl	0,001	1	0,001	,027	0,870
Rv	13,267	1	13,267	8,956	0,005
Car	0,357	1	0,357	25,222	0,000
PM	17,901	1	17,901	7,094	0,011
VU	47399,122	1	47399,122	0,263	0,612
MOEdu	35743047,464	1	35743047,464	1,538	0,223
VS	26168,996	1	26168,996	0,176	0,677
MOEDs	1354697,472	1	1354697,472	0,107	0,746

Tabela 9. Análise de Variância Fatorial para o fator temperatura na prensa para a madeira de maçaranduba.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	279,947	1	279,947	51,874	0,000
a* (tang)	332,179	1	332,179	127,576	0,000
b* (tang)	372,600	1	372,600	146,267	0,000
C (tang)	704,374	1	704,374	142,608	0,000
h* (tang)	23,849	1	23,849	3,204	0,082
L* (rad)	273,838	1	273,838	94,691	0,000
a* (rad)	327,338	1	327,338	287,318	0,000
b* (rad)	397,076	1	397,076	214,473	0,000
C (rad)	724,976	1	724,976	258,207	0,000
h* (rad)	1,521	1	1,521	0,359	0,553
Dap	0,014	1	0,014	10,153	0,003
Db	0,002	1	0,002	2,030	0,163
TA	44,578	1	44,578	66,008	0,000
It	3,498	1	3,498	59,545	0,000
Ir	1,239	1	1,239	25,884	0,000
CI	6,057E+00	1	6,057E+00	6,332	0,016
Cai	0,000	1	0,000	0,004	0,951
Rt	10,787	1	10,787	19,195	0,000
Rr	9,496	1	9,496	26,267	0,000
Rl	0,031	1	0,031	1,127	0,295
Rv	39,303	1	39,303	26,533	0,000
Car	0,000	1	0,000	0,023	0,881
PM	143,031	1	143,031	56,685	0,000
VU	481836,193	1	481836,193	2,668	0,111
MOEdu	133389504,146	1	133389504,146	5,740	0,022
VS	1061559,887	1	1061559,887	7,132	0,011
MOEDs	141409126,504	1	141409126,504	11,159	0,002

Tabela 10. Análise de Variância Fatorial com um fator (equipamento) e dois níveis (estufa e prensa) para a madeira de maçaranduba

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	1404,086	1	1404,086	125,011	0,000
a* (tang)	568,908	1	568,908	70,734	0,000
b* (tang)	718,093	1	718,093	75,538	0,000
C (tang)	1287,716	1	1287,716	74,988	0,000
h* (tang)	3,541	1	3,541	0,481	0,490
L* (rad)	1620,981	1	1620,981	163,720	0,000
a* (rad)	736,073	1	736,073	123,052	0,000
b* (rad)	1056,651	1	1056,651	126,066	0,000
C (rad)	1791,838	1	1791,838	127,365	0,000
h* (rad)	36,646	1	36,646	9,670	0,003
Dap	0,145	1	0,145	66,995	0,000
Db	0,029	1	0,029	24,521	0,000
TA	207,827	1	207,827	161,489	0,000
It	43,572	1	43,572	196,799	0,000
Ir	14,822	1	14,822	170,732	0,000
CI	3,790E+01	1	3,790E+01	40,379	0,000
Cai	0,037	1	0,037	0,711	0,402
Rt	138,202	1	138,202	149,809	0,000
Rr	33,295	1	33,295	51,915	0,000
Rl	0,013	1	0,013	0,449	0,505
Rv	317,507	1	317,507	123,089	0,000
Car	0,811	1	0,811	34,148	0,000
PM	1426,577	1	1426,577	256,389	0,000
VU	22285,999	1	22285,999	0,160	0,690
MOEdu	88957235,868	1	88957235,868	4,266	0,042
VS	24454,132	1	24454,132	0,202	0,654
MOEDs	38167578,263	1	38167578,263	3,285	0,074

Tabela 11. Análise de Variância Fatorial para o fator tempo na estufa para a madeira de tauari.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	9,038	1	9,038	0,863	0,359
a* (tang)	7,277	1	7,277	14,009	0,001
b* (tang)	7,468	1	7,468	4,031	0,052
C (tang)	11,670	1	11,670	6,303	0,017
h* (tang)	14,246	1	14,246	5,997	0,019
L* (rad)	15,252	1	15,252	2,772	0,105
a* (rad)	3,238	1	3,238	10,101	0,003
b* (rad)	3,548	1	3,548	1,975	0,169
C (rad)	5,497	1	5,497	3,105	0,087
h* (rad)	5,292	1	5,292	3,762	0,060
Dap	0,007	1	0,007	1,720	0,198
Db	0,002	1	0,002	0,705	0,407
TA	14,017	1	14,017	4,903	0,033
It	0,013	1	0,013	0,093	0,763
Ir	0,013	1	0,013	0,076	0,785
CI	1,860E+00	1	1,860E+00	2,798	0,103
Cai	0,005	1	0,005	0,140	0,710
Rt	1,649	1	1,649	3,309	0,077
Rr	0,306	1	0,306	0,419	0,521
Rl	0,002	1	0,002	0,295	0,590
Rv	3,215	1	3,215	1,532	0,224
Car	0,011	1	0,011	0,645	0,427
PM	2,510	1	2,510	7,891	0,008
VU	5285,758	1	5285,758	0,108	0,744
MOEdu	914297,622	1	914297,622	0,078	0,782
VS	46664,775	1	46664,775	1,457	0,235
MOEDs	4692089,234	1	4692089,234	0,748	0,393

Tabela 12. Análise de Variância Fatorial para o fator temperatura na estufa para a madeira de tauari.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	100,122	1	100,122	9,560	0,004
a* (tang)	11,917	1	11,917	22,942	0,000
b* (tang)	0,925	1	0,925	0,499	0,484
C (tang)	3,924	1	3,924	2,119	0,154
h* (tang)	41,317	1	41,317	17,392	0,000
L* (rad)	55,366	1	55,366	10,064	0,003
a* (rad)	16,574	1	16,574	51,710	0,000
b* (rad)	4,282	1	4,282	2,383	0,131
C (rad)	10,303	1	10,303	5,820	0,021
h* (rad)	43,166	1	43,166	30,690	0,000
Dap	0,004	1	0,004	0,909	0,347
Db	0,001	1	0,001	0,399	0,532
TA	1,561	1	1,561	0,546	0,465
It	1,608	1	1,608	11,722	0,002
Ir	,050	1	0,050	0,298	0,589
CI	5,707E-01	1	5,707E-01	0,858	0,360
Cai	0,139	1	0,139	4,280	0,046
Rt	1,639	1	1,639	3,290	0,078
Rr	1,482	1	1,482	2,029	0,163
Rl	0,003	1	0,003	0,388	0,537
Rv	6,495	1	6,495	3,095	0,087
Car	0,003	1	0,003	0,188	0,668
PM	5,469	1	5,469	17,195	0,000
VU	142086,006	1	142086,006	2,910	0,097
MOEdu	25704655,171	1	25704655,171	2,185	0,148
VS	55238,231	1	55238,231	1,725	0,197
MOEDs	9889778,436	1	9889778,436	1,577	0,217

Tabela 13. Análise de Variância Fatorial para o fator tempo na prensa para a madeira de tauari.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	290,661	1	290,661	5,991	0,019
a* (tang)	0,133	1	0,133	0,135	0,716
b* (tang)	68,432	1	68,432	4,922	0,033
C (tang)	59,171	1	59,171	4,504	0,041
h* (tang)	107,768	1	107,768	7,620	0,009
L* (rad)	202,689	1	202,689	14,183	0,001
a* (rad)	0,926	1	0,926	1,371	0,249
b* (rad)	35,305	1	35,305	4,464	0,042
C (rad)	25,646	1	25,646	3,226	0,081
h* (rad)	80,826	1	80,826	19,208	0,000
Dap	0,001	1	0,001	0,189	0,666
Db	0,005	1	0,005	2,376	0,132
TA	0,693	1	0,693	0,191	0,664
It	2,298	1	2,298	6,633	0,014
Ir	3,080	1	3,080	14,456	0,001
CI	1,303E+00	1	1,303E+00	2,246	0,143
Cai	0,057	1	0,057	2,273	0,140
Rt	2,187	1	2,187	5,831	0,021
Rr	1,172	1	1,172	2,118	0,154
Rl	0,001	1	0,001	0,444	0,510
Rv	6,757	1	6,757	4,311	0,045
Car	0,000	1	0,000	0,001	0,976
PM	18,165	1	18,165	14,929	0,000
VU	3915,886	1	3915,886	0,111	0,741
MOEdu	13653,980	1	13653,980	0,001	0,973
VS	3642,802	1	3642,802	0,190	0,666
MOEDs	415245,777	1	415245,777	0,085	0,772

Tabela 14. Análise de Variância Fatorial para o fator temperatura na prensa para a madeira de tauari.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	1028,460	1	1028,460	21,199	0,000
a* (tang)	1,675	1	1,675	1,695	0,201
b* (tang)	439,085	1	439,085	31,584	0,000
C (tang)	387,096	1	387,096	29,466	0,000
h* (tang)	400,828	1	400,828	28,342	0,000
L* (rad)	1486,375	1	1486,375	104,009	0,000
a* (rad)	0,218	1	0,218	0,322	0,574
b* (rad)	449,496	1	449,496	56,835	0,000
C (rad)	365,971	1	365,971	46,039	0,000
h* (rad)	505,166	1	505,166	120,051	0,000
Dap	0,003	1	0,003	0,840	0,366
Db	0,005	1	0,005	2,004	0,166
TA	38,297	1	38,297	10,584	0,002
It	5,480	1	5,480	15,815	0,000
Ir	0,961	1	0,961	4,511	0,041
CI	9,422E+00	1	9,422E+00	16,241	0,000
Cai	0,112	1	0,112	4,447	0,042
Rt	3,604	1	3,604	9,612	0,004
Rr	1,010	1	1,010	1,825	0,185
Rl	0,003	1	0,003	0,893	0,351
Rv	8,748	1	8,748	5,581	0,024
Car	0,017	1	0,017	1,085	0,305
PM	101,842	1	101,842	83,700	0,000
VU	63389,586	1	63389,586	1,794	0,189
MOEdu	3488412,304	1	3488412,304	0,307	0,583
VS	10060,359	1	10060,359	0,524	0,474
MOEDs	910133,962	1	910133,962	0,187	0,668

Tabela 15. Análise de Variância Fatorial com um fator (equipamento) e dois níveis (estufa e prensa) para a madeira de tauari.

Origem	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Sig.
L* (tang)	2588,700	1	2588,700	56,550	0,000
a* (tang)	25,199	1	25,199	17,621	0,000
b* (tang)	203,886	1	203,886	13,989	0,000
C (tang)	130,857	1	130,857	9,462	0,003
h* (tang)	668,752	1	668,752	44,922	0,000
L* (rad)	3349,027	1	3349,027	105,009	0,000
a* (rad)	53,509	1	53,509	59,911	0,000
b* (rad)	404,577	1	404,577	37,157	0,000
C (rad)	255,877	1	255,877	25,886	0,000
h* (rad)	1108,836	1	1108,836	102,529	0,000
Dap	0,013	1	0,013	3,318	0,072
Db	0,000	1	0,000	0,002	0,964
TA	87,756	1	87,756	22,983	0,000
It	18,136	1	18,136	50,873	0,000
Ir	4,498	1	4,498	18,170	0,000
CI	1,611E+01	1	1,611E+01	20,927	0,000
Cai	0,099	1	0,099	2,822	0,097
Rt	22,825	1	22,825	42,815	0,000
Rr	13,657	1	13,657	18,989	0,000
Rl	0,010	1	0,010	2,121	0,149
Rv	73,514	1	73,514	33,988	0,000
Car	0,001	1	0,001	0,078	0,780
PM	561,216	1	561,216	237,168	0,000
VU	442042,515	1	442042,515	9,823	0,002
MOEdu	386472,909	1	386472,909	0,032	0,860
VS	189203,018	1	189203,018	7,338	0,008
MOEDs	2740644,090	1	2740644,090	0,484	0,489