III CBCTEM
Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

PROPRIEDADES FÍSICAS, E DE RIGIDEZ DE MADEIRAS TRATADAS TERMICAMENTE

vanesssa gonçalves coelho[1]
aline neves[1]
Thalita Stevens[1]
Alexandre Nascimento[1]

[1] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

PROPRIEDADES FÍSICAS, E DE RIGIDEZ DE MADEIRAS TRATADAS TERMICAMENTE

RESUMO: As madeiras de *Corymbia citriodora, Khaya ivorensis* e *Pinus caribeae* foram tratadas termicamente a temperaturas de 160°C, 180°C e 200°C com amostras cortadas nos planos radiais e tangenciais, para verificar a influência da temperatura e do plano de corte nas propriedades físicas, umidade e densidade, e módulo e elasticidade de cada espécie. A umidade e a densidade foram calculadas segundo a ABNT NBR 7190. Os resultados mostraram que, após tratamento térmico a madeira de *Corymbia citriodora* reduziu suas propriedades físicas e de rigidez, principalmente nas madeiras cortadas no plano radial. Em *Khaya ivorensis* os resultados, pós tratamento térmico, não foram estatisticamente significativos quanto a rigidez. Em *Pinus caribeae* o tratamento térmico ocasionou aumento significativo na rigidez, independente dos planos de cortes e das temperaturas aplicadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Corymbia citriodora*, *Khaya ivorensis* e *Pinus cari*beae, umidade e densidade.

PHYSICAL PROPERTIES, AND STIFFNESS OF TREATED THERMICALLY WOOD

ABSTRACT: The wood of *Corymbia citriodora, Khaya ivorensis* and *Pinus caribeae* were thermally treated to temperature of 160°C, 180°C and 200°C with samples cut in radial and tangential planes, to verify the influence of the temperature and the cutting plane on the physical properties, humidity and density, and modulus of elasticity of each species. The humidity and density were calculated according to ABNT NBR 7190/1997. The results showed that, after the thermal treatment the wood of Corymbia citriodora reduced its physical and stiffness properties, mainly in the woods cut in the radial plane. In Khaya ivorensis the results, post thermal treatment, were not statistically meaningful in terms of stiffness. In Pinus caribeae the thermal treatment caused a significant increase in stiffness, regardless of the cutting planes and the applied temperatures.

KEY WORDS: *Corymbia citriodora*, *Khaya ivorensis* and *Pinus caribeae*, humidity and density.

1. INTRODUÇÃO

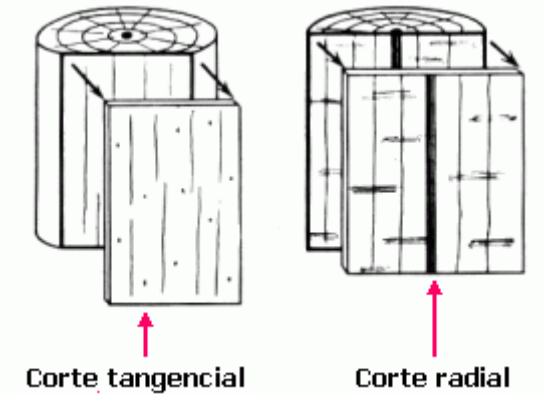
A importância do uso da madeira de reflorestamento para fins construtivos e demais usos tem sido reforçado nas pesquisas realizadas no Brasil, especialmente, região sul e sudeste. Os resultados destas pesquisas têm potencializado o uso das madeiras de reflorestamento, e de rápido crescimento, por exemplo, espécies do gênero pinus e do gênero eucaliptos, reduzindo o impacto sobre espécies de madeira nativa, especialmente nas regiões norte e centro oeste do território nacional.Este desenvolvimento tecnológico para as espécies de reflorestamento tende a compensar, em parte, a qualidade das madeiras nativas, proporcionando a aquelas uma certa potencialidade para substituí-las. Isto pode ser visto claramente no uso continuo da madeira de pinus e eucaliptus para construção de mobiliário e para fins estruturais. Com a introdução de outras espécies exóticas em reflorestamentos, espécies de maior valor comercial, tais como cedro australiano, mogno africano e teca, ampliam mais ainda as opções nacionais para um menor impacto sobre nossas espécies. Um exemplo atual é o mogno africano, espécie pertencente à família Meliaceae, natural da

costa ocidental africana, que foi introduzido no Brasil visando substituir o mogno brasileiro que atualmente é protegido por lei quanto a sua exploração e comercialização. Além de serem semelhantes quanto suas características tecnológicas, o mogno africano é resistente ao microlepidóptero *Hypsiphyla grandella*, que é a principal praga do mogno brasileiro (GASPAROTTO *et al.*, 2001). Em estudo com madeira de reflorestamento, observou que a madeira de *Eucalyptus grandis* com 18 anos de idade teve alterações das propriedades mecânicas, quando submetidas a tratamento térmico, revelando uma melhoria da rigidez da madeira, na ausência de oxigênio, à medida que se aumentava a temperatura em 20°C, o mesmo ocorrendo com a madeira de *Pinus caribeae, var. hondurensis* (MOURA, 2002). Quanto à resistência ao cisalhamento e na flexão, observou-se maiores alterações de resistência e no caso da compressão, pouco foi afetado pelo efeito dos tratamentos térmicos. Calonego (2014), também estudou as propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus grandis* com 30 anos de idade, divididas em madeira juvenil e madeira madura, e observou que a influência do tratamento térmico no lenho juvenil foi menor do que no lenho adulto o que ocasionou uma maior uniformização nas propriedades físicas entre esses dois tipos de lenho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas arvores de Pinus (*Pinus Caribeae),* Mogno *(Khaya ivorensis)* e Citriodora *(Corymbia citriodora)*, provenientes de plantios localizados no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica-RJ. As toras obtidas foram desdobradas em pranchões com 3,6m x 0,07 x 0,40 m, e armazenadas em ambiente climatizado, devidamente tabicadas, com umidade relativa média de 65% e temperatura média de 20°C. Depois de climatizado, do material foi produzido amostras com dimensões de 400 x 60 x 28 mm (comprimento x largura x espessura), cortadas radialmente e tangencialmente. Após a produção, as amostras foram novamente climatizadas em ambiente com umidade e temperatura controlada. Após o equilíbrio, foram pesadas e medidas as suas dimensões e calculado a densidade aparente.

Figura 1. Planos de corte radial e tangencial.



Parte da madeira foi tratada termicamente a 160, 180 e 200°C e um lote ficou destinado ao controle, sem tratamento térmico.A termorretificação das amostras de madeira foi realizada em uma mufla elétrica laboratorial, da marca Linn Elektro Therm,

com as seguintes dimensões 60 x 60 x 70 cm e equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo. Os tratamentos de termorretificação foram realizados em quatro etapas, sendo elas: 1) aquecimento do material até 100°C para eliminação completa da água durante 120 minutos; 2) aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de termorretificação desejada (160, 180 ou 200°C) durante 60 minutos; 3) tempo de permanência na temperatura de termorretificação (90 minutos); e 4) resfriamento do material (Figura 3). Após o tratamento térmico, as amostras foram recondicionadas em câmara climática à 20°C e 65% UR até atingir o teor de umidade de equilíbrio e então utilizadas para determinação das propriedades e para as avaliações.

Figura 2- Etapas do tratamento de termorretificação aplicado às espécies.

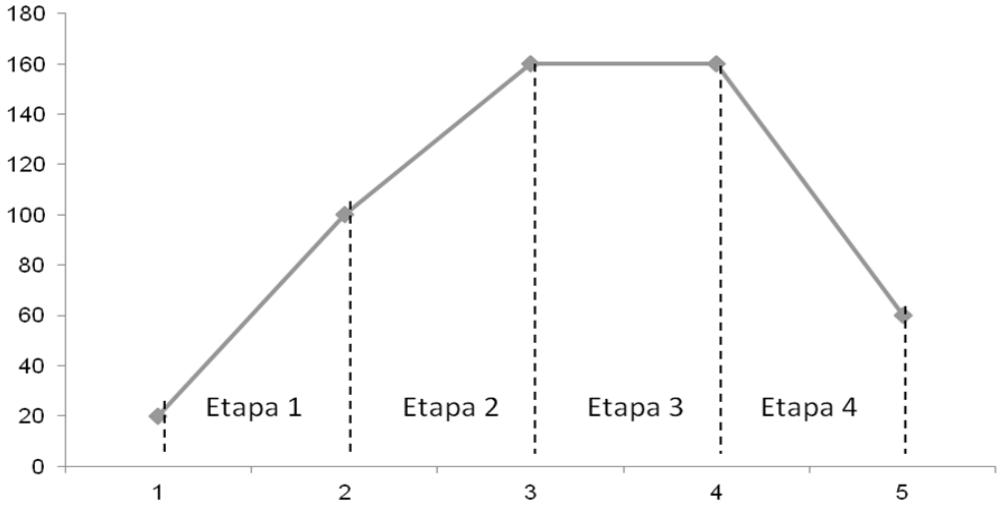


Figura 2- Etapa 1: aquecimento até 100^{o}C. Etapa 2: aumento da temperatura de 100^{o}C até a temperatura de termorretificação. Etapa 3: tratamento de termorretificação. Etapa 4: resfriamento.

Determinação da densidade aparente e umidade de equilíbrio.

As propriedades físicas da madeira avaliadas foram: a densidade aparente e o teor de umidade de equilíbrio das amostras termorretificadas e do controle. A densidade aparente foi determinada segundo a norma NBR- 7190. Para tal, o peso e volume foram obtidos após o acondicionamento em câmara climática a 20°C e 65% de UR. O teor de umidade de parte das amostras foi determinado por medidor de contato SULTECH ST7500, antes do tratamento térmico e pelo método em estufa após tratamento térmico.

Avaliação da rigidez da madeira

As amostras com dimensões finais de 19 x 54 x 315 mm (espessura x largura x comprimento), antes de serem prensadas e coladas, foram avaliadas segundo a rigidez. Na determinação da rigidez, foi medido o módulo de elasticidade em ensaio de flexão, ensaio a 3 pontos, á um ponto de aplicação de carga e dois pontos de apoio (reação). As amostras foram testadas, com a menor inércia, com vão de 350 mm e relação h/L igual a aproximadamente 15 vezes. Devido relação h/L menor que 21 vezes e consequentemente a influência significava das forças cortantes no

deslocamento das amostras, foi então utilizada a equação abaixo para determinar o módulo de elasticidade.

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} + 1{,}2\frac{PL}{4Gbh}$$

Onde: P é a carga aplicada para gerar um deslocamento (δ) de 1,75mm. L é o vão da viga ou distancia entre os apoios; G é o módulo de rigidez, E é o módulo de elasticidade e I é a inércia da seção transversal; h é espessura da amostra e b é a largura. Assim foi avaliado o efeito do plano de corte e do tratamento térmico no módulo de elasticidade na madeira de pinus, citriodora e mogno africano. Para garantir que a tensões normais e cisalhantes não ultrapassassem o limite de proporcionalidade na flexão, as amostras foram tensionadas até o surgimento de um deslocamento igual a 1,75 mm. Devido aos diferentes valores de densidades das madeiras em relação ao plano corte (ver tabela 2) foi calculado módulo relativo. Dividiu-se o módulo E pelo valor da densidade G, desse modo obtivemos os valores de módulo para cada grama de madeira.

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1- Teor de umidade

Os valores médios dos teores de umidade de equilíbrio de pinus, mogno e citriodora antes e após tratamento térmico estão apresentados na tabela 1. Observou-se que a medida que se aumenta a temperatura de tratamento, há uma diminuição do teor de umidade de equilíbrio. Tal resultado corrobora com o que afirma Gouveia (2008), de que após o tratamento térmico, a madeira tende a diminuir sua higroscopicidade devido à degradação da matriz hidroreativa composta por lignina e hemicelulose presente na parede celular, e a substituição de grupos de hidroxilas hidrofílicos por grupos hidrofóbicos.

Tabela 1- Valores médios de umidade para *Pinus caribeae, Khaya ivorensis* e *Corymbia citriodora* em relação a temperatura de tratamento.

	Temperatura (°C)			
Espécie	Não tratada	160	180	200
Pinus caribeae	15,05	11,72	10,36	7,85
Khaya ivorensis	14,70	10,01	9,40	7,17
Corymbia citriodora	12,08	10,90	8,30	6,90

3.2- Densidade aparente

Na tabela 2 estão dispostos os valores médios para densidade aparente, distribuídos nos diferentes tratamentos térmicos e divididos por plano de corte radial e tangencial, para as madeiras de pinus, mogno e citriodora. É possível notar que a temperatura tem efeito inversamente proporcional a densidade da madeira, pois seu aumento acarreta na diminuição da mesma. A densidade das espécies se diferencia com base na anatomia da madeira de cada uma. A espécie que apresentou maior densidade foi a Corymbia citriodora e, consequentemente após

submetida ao tratamento térmico apresentou maiores variações para menos em suas densidades.

Tabela 2 – Valores médios para densidade aparente das madeiras de pinus, mogno e citriodora, distribuídos nos diferentes tratamentos e divididos por plano de corte.

Pinus

Tratamentos	Corte Radial		Corte Tangencial	
	antes	depois	antes	depois
NT	0,601	0,601	0,573	0,573
160°C	0,580	0,539	0,582	0,556
180°C	0,578	0,528	0,570	0,538
200°C	0,604	0,565	0,575	0,546
média	0,590	0,552	0,574	0,551

Mogno

Tratamento	Corte Radial		Corte Tangencial	
	antes	depois	antes	depois
NT	0,648	0,648	0,501	0,502
160°C	0,661	0,636	0,552	0,548
180°C	0,659	0,639	0,553	0,549
200°C	0,668	0,639	0,560	0,545
média	0,660	0,639	0,552	0,546

Citriodora

Tratamento	Plano Radial		Plano Tangencial	
	Antes	Depois	Antes	Depois
NT	1,040	1,041	1,030	1,031
160°C	1,048	1,021	1,037	1,022
180°C	1,042	0,978	1,039	0,975
200°C	1,050	0,945	1,059	0,963
média	1,045	0,999	1,038	0,998

3.3- Módulo de Elasticidade

A Tabela 3 apresenta os valores médios de módulo de elasticidade na flexão da madeira de pinus, mogno e citriodora em função da temperatura e do plano de corte. Ao analisar as madeiras de mogno e pinus percebeu-se que o módulo de elasticidade não apresentou diferença significativa em resposta às temperaturas de tratamento com relação ao plano de corte. Já em citriodora ficou evidente o efeito da termorretificação na diminuição dos módulos de elasticidade conforme houve o aumento da temperatura no plano radial. Esse resultado vai de encontro com GARCIA et al. (2012) que diz que espécie do gênero eucalipto tende a diminuir o módulo de

elasticidade após a realização de tratamentos térmicos, visto que o aumento de temperatura causa maiores variações na estrutura anatômica da madeira.

Tabela 3 – Valores médios de rigidez para Madeira de citriodora, mogno e pinus distribuídos em função a temperatura e plano de corte.

	- Emx10³MPa -					
Tratamento	Citriodora		Mogno		Pinus	
	tangencial	radial	tangencial	radial	tangencial	radial
NT	23,90	23,12	9,12	9,12	9,03	10,22
160	22,93	23,19	9,10	9,41	11,19	12,71
180	23,30	13,99	9,68	9,35	9,98	11,14
200	19,76	12,52	9,59	9,89	11,42	11,18

A Figura 3, notamos a diferença entre o módulo de elasticidade de citriodora, mogno e pinus respectivamente, em função da temperatura de tratamento dos planos de corte. É possível notar que citriodora apresentou maior variação de rigidez, ao contrario de mogno e pinus.

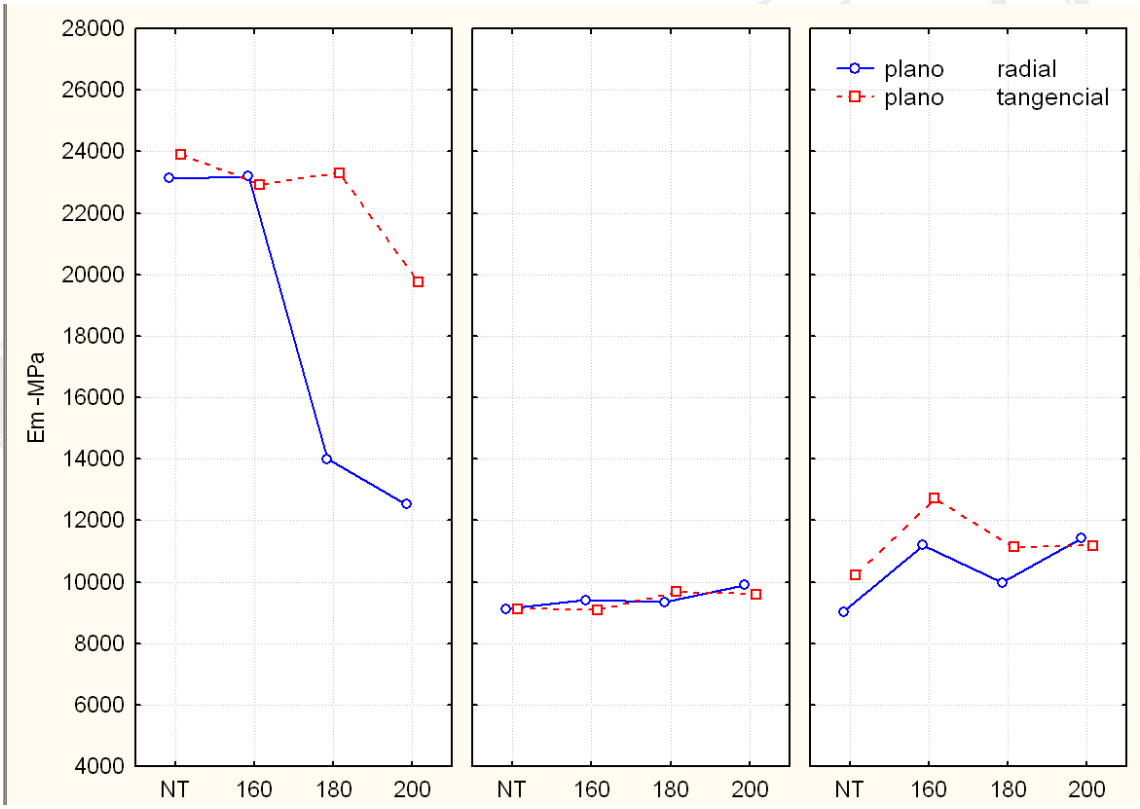


Figura 3. Comportamento das espécies de citriodora, mogno e pinus ao entrar em contato com as temperaturas, em função do plano de cortes. O tratamento térmico na madeira de citriodora favoreceu a degradação dos compostos da madeira presentes na parede celular deixando a mesma menos rígida e levando a redução no módulo de resistência à flexão. No mogno os valores de módulo não apresentou diferença significativa, isso ocorreu devido a densidade da madeira no plano radial ser maior do

que no plano tangencial o que compensou os valores. Em pinus o módulo de elasticidade no plano tangencial apresentou valores numéricos maiores que no plano radial.

3.4- Módulo de elasticidade relativo

Na tabela 4 são apresentados os valores médios de módulo relativo para citriodora, mogno e pinus em função da temperatura de tratamento e o plano de corte. Analisando cada espécie de forma separada notou-se que na madeira de citriodora houve uma intensa redução do seu módulo de elasticidade relativo quando tratada em temperaturas acima de 180°C no plano de corte radial porém, no plano tangencial a madeira de citriodora não apresentou diferenças significativas antes e após tratamento térmico. Ao analisar o efeito do tratamento térmico na madeira de mogno, notou-se que não houve diferença significativa nos valores de módulo de elasticidade relativo para essa espécie. Na madeira de pinus, pode-se notar diferenças significativas no aumento do módulo após a madeira ser submetida ao tratamento térmico de 160°C, sendo essas consideradas iguais em todas as temperaturas após 160°C.

Já em relação aos planos de corte tangenciais e radiais, não há uma diferença significativa em relação aos planos da madeira citriodora quando tratada até 160°C no plano radial, após essa temperatura a madeira ocorreu uma diminuição de sua rigidez quando comparada ao plano tangencial. As madeiras de mogno e de pinus não apresentaram diferença significativa em relação aos planos radiais e tangenciais.

Tabela 4- Valores médios de módulo de elasticidade relativo para madeira de citriodora, mogno e pinus distribuidos em função a temperatura e plano de corte.

	- Em/Gx10³MPa -					
Tratamento	Citriodora		Mogno		Pinus	
	tangencial	radial	tangencial	radial	tangencial	radial
Controle	22,539^{aA}	22,965^{aA}	14,517^{a}	17,880^{a}	15,000^{a}	17,893^{a}
160	22,702^{aA}	22,459^{aA}	15,205^{a}	16,786^{a}	20,191^{b}	22,805^{b}
180	14,809^{bB}	23,901^{aA}	14,897^{a}	17,684^{a}	18,955^{b}	20,552^{b}
200	12,804^{bB}	20,519^{aA}	15,978^{a}	17,614^{a}	20,307^{b}	20,458^{b}

Letras minúsculas distintas mostram diferenças estatísticas entre linhas e letras maiúsculas entre colunas, pelo teste de ANOVA (0,05) , e Tukey a 5% de significância.

A Figura 4, notamos a diferença entre o módulo de elasticidade relativo de citriodora, mogno e pinus respectivamente, em função da temperatura de tratamento dos planos de corte. É possível notar que citriodora apresentou maior diferença variação de rigidez entre os planos radiais e tangenciais.

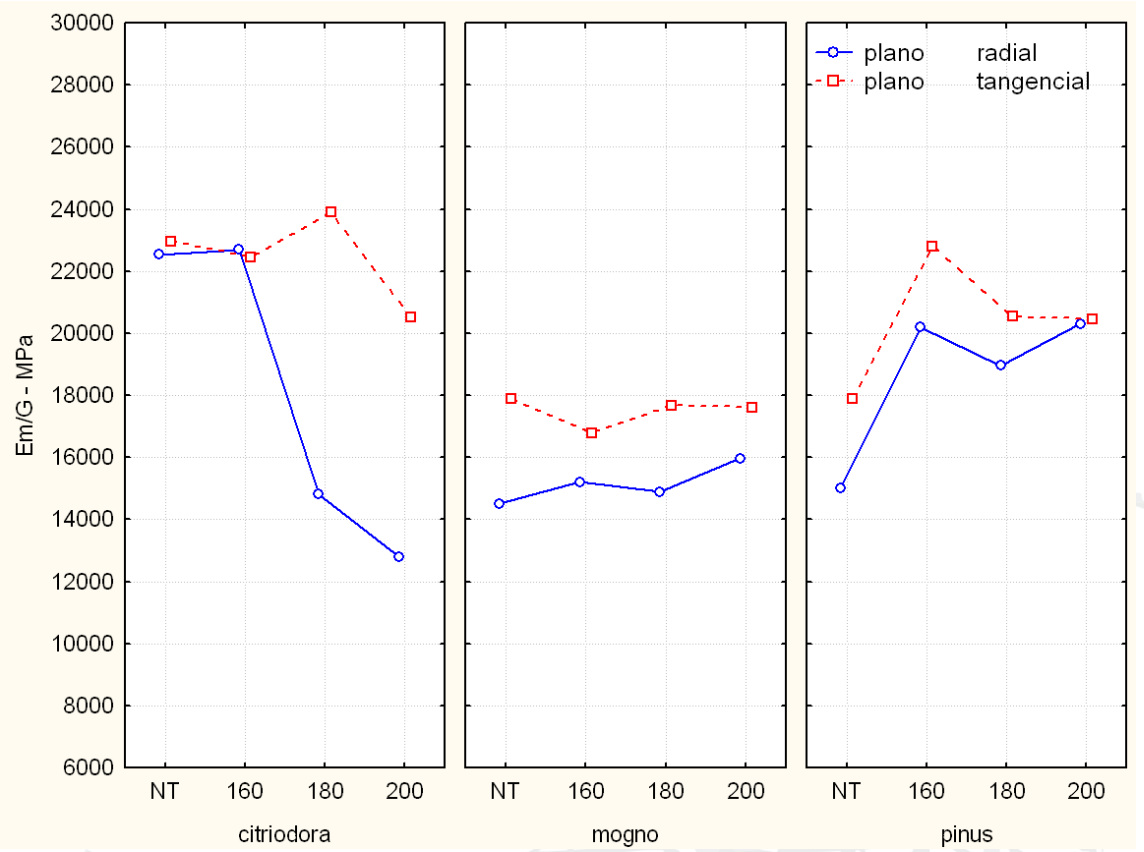


Figura 4. Comportamento das espécies de citriodora, mogno e pinus ao entrar em contato com as temperaturas, em função do plano de cortes. O tratamento térmico a acima de 160°C na madeira de citriodora ocasionou reduções dos valores de módulo relativo quando tratados no plano radial. Em mogno, não houve alterações significativas nos valores de módulo nas diferentes temperaturas porém, houve maiores valores numéricos no plano tangencial. Já em pinus notou-se que após a madeira ser submetida ao tratamento térmico houve um aumento no módulo de elasticidade relativo.

3. CONCLUSÕES

Houve significativa redução do teor de umidade com o aumento da temperatura de tratamento em citriodora, mogno e pinus. Porém, em pinus pode-se relacionar a diminuição da umidade com o aumento do módulo de elasticidade relativo.

A madeira de citriodora foi a que mais reduziu suas propriedades físicas e de rigidez, pós tratamento térmico, o que leva a cautela da aplicação deste para essa espécie. Em citriodora, módulo de elasticidade relativo apresentou menores valores na madeira tratada acima de 160°C.

Pós tratamento térmico, a madeira de mogno não apresentou alterações significativas de suas propriedades de rigidez.

Em pinus, houve um aumento significativo do módulo de elasticidade relativo após tratamento térmico, que não dependeu da temperatura de tratamento e do plano de corte.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Departamento de Produtos Florestais, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook – Wood as an Engineering Material**. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

GARCIA, R.A.; LOPES, J.O.; NASCIMENTO, A.M., LATORRACA, J.V.F. Color stability of weathered heat-treated teakwood. **Maderas Ciencia Tecnollogia**, 16(4):453-462, 2014.

KONICA MINOLTA SENSING Inc. **Comunicação precisa da cor: Controle de qualidade da percepção à instrumentação**, 1998. 59 p.

MARTINS, S.A. FERRAZ, J.M, SANTOS, C.M.T. DEL MEZEZZI, C.H.S. SOUZA, M.R. Efeito da Usinagem na Rugosidade da Superfície da Madeira de *Eucalyptus benthamii.* **Floresta e Ambiente.** Seropédica**,** v18, n 2, p.135-143, 2011.

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.

MOURA, F.D.G.; NASCIMENTO, A.M.; GARCIA, R.A.; PAES, J.B. Velocidade propagação do som na madeira de *Khaya ivorensis* associado à cor. XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira 28-30/Abril, 2014, Natal, RN, Brasil.

MOURA, L. F.; BRITO, J. O.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Efeitos da termorretificação na perda de massa e propriedades mecânicas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 305 - 314, abr./jun. 2012.

NASCIMENTO, A.M.; GARCIA, R. A,; DELLA LUCIA, R.M.; Qualidade de adesão de juntas coladas de diferentes espécies comerciais de madeira. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 593-601, out./dez. 2013.

NUNES, C.S. **Propriedades tecnológicas e qualidade de adesão de madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* termorretificadas**. 2012. 56p. Dissertação

POLTRONIERI, L. S.; TRINDADE, D. R. DE ALBUQUERQUE F. C.; DUARTE, M.L.R. Identificação e Controle da Rubelose em Mogno-africano no Estado do Pará comunicado técnico 68 julho de 2002. 2p.

SANTOS, A. M.L. SOUZA, F.S. COSTA, M.A. TELES, R.F, PAZETTO, V.M.F, DEL MENEZZI, C.H.S. Efeito do tratamento térmico sobre a resistência ao cisalhamento da

linha de cola em painéis OBS . **Ciência florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 31-40, jan.-mar., 2009.

SILVA, E.S.S. STANGERLIN, D.M. GATTO, D.A. CALEGARI, L. PARIZ, E. Colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência da Madeira (*Brazilian Journal of Wood Science).*** Pelotas, v06, n 01, p. 31-37, 2015.

SILVA, L.V.M.S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* a. chev.). Monografia, 17 paginas. 2013

SILVA, L.V.M.S.; NASCIMENTO, A.M.; GARCIA, R.A. Variação radial da densidade, umidade e coloração da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* a. chev.). XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira 28-30/Abril, 2014, Natal, RN, Brasil.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE. Produção sustentável – Aquisição responsável de madeira na construção civil – guia prático para as construtoras. São Paulo, 2011. 71p.

YILDIZA, S. GEZERB, E.D. YILDIZA, U.C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. **Building and Environment**, N.41, p.1762-1766, 2006.