

CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DA MADEIRA DE ROXINHO (*PELTOGYNE SP.*) TRATADA TERMICAMENTE

ACOUSTIC PROPERTIES OF HEAT-MODIFIED ROXINHO WOOD (*PELTOGYNE SP.*)

Ricardo Faustino Teles¹
Matheus Rochy Borges Yamana²

RESUMO: A presente pesquisa teve por objetivo desenvolver produtos voltados para o mercado de instrumentos musicais com o uso de madeiras modificadas por meio de tratamentos térmicos. Inicialmente foi realizado um levantamento das madeiras tradicionalmente empregadas nos instrumentos musicais ou em suas partes. Posteriormente, foi produzida uma pesquisa bibliográfica acerca dos tratamentos de modificação da madeira, a fim de conhecer os limites técnicos e suas características, além de identificar quais dessas técnicas podem ser aplicadas em madeiras brasileiras. A técnica escolhida foi a termorreificação, com a aplicação de temperaturas de 160 °C e 200 °C realizados em estufas laboratoriais. A partir disso, foi escolhido o instrumento musical xilofone como produto teste para avaliar o emprego do uso da técnica escolhida de modificação para a madeira de roxinho (*Peltogyne sp.*). Assim, o instrumento musical foi projetado e produzido com madeiras sem tratamento e tratadas com as temperaturas citadas. Foram avaliados a perda de massa, densidade aparente, frequência de ressonância, a velocidade de propagação sonora e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd). Os resultados indicaram que o tratamento com as temperaturas empregadas proporcionou o aumento da velocidade de propagação sonora e do MOEd, mesmo com a diminuição da densidade aparente. A produção do produto demonstrou ainda um ganho expressivo em relação ao timbre final quando comparada à madeira sem tratamento. Assim, indica-se o uso da temperatura a 160 °C como um produto tecnológico que pode aumentar a qualidade final do instrumento musical.

Palavras-chave: instrumentos musicais; termorreificação; projeto de produto.

ABSTRACT: *The present research aimed to develop products for the musical instruments market using wood modified through heat treatments. Initially, a survey of wood traditionally used in musical instruments, or their parts was carried out. Subsequently, bibliographic research about the wood modification treatments was produced to know the technical limits and their characteristics and to identify which of these can be applied in Brazilian woods, being then chosen as the technique of heat treatment with the application of temperatures of 160°C and 200°C carried out in laboratory ovens. From this, the musical instrument xylophone was chosen as a test product to evaluate the use of the chosen technique of modification for the roxinho wood (*Peltogyne sp.*). Thus, the musical instrument was designed and produced with untreated wood and treated with the mentioned temperatures and evaluated the mass loss, specific gravity, resonance frequency, sound propagation velocity and dynamic modulus of elasticity (MOEd). The results indicated that the treatment with the temperatures used increased the sound propagation velocity and the MOEd, even with the decrease in the apparent density. The production of the product also showed a significant gain in relation to the final timbre when compared to untreated wood. Thus, the use of temperature at 160°C is indicated as a technological product that can increase the final quality of the musical instrument.*

Keywords: musical instruments; heat treatment; product design.

1. Doutor em Ciências Florestais
Instituto Federal de Brasília, *Campus Samambaia*
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7009980883749183>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7405-4971>
E-mail: ricardo.teles@ifb.edu.br

2. Designer de Produtos
Instituto Federal de Brasília, *Campus Samambaia*
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5008583958355097>
E-mail: ryrochiyamana@gmail.com

INTRODUÇÃO

As políticas ambientais e econômicas mundiais têm buscado, por meio de pesquisas, colocar em prática o conceito de desenvolvimento sustentável. Souza *et al.* (1997) afirmam que, para tornar a relação custo-benefício aceitável, é preciso aproveitar todo o material decorrente da exploração madeireira. Tendo em vista que a maior parte do volume comercializado se concentra em poucas espécies e que grande quantidade do volume de uma tora coletada é descartada, o modelo de exploração brasileiro está longe de ser sustentável. Dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada apontam que o Brasil é o país que mais explora madeira tropical no mundo. Contudo, sua participação no mercado internacional de madeira serrada é pouco expressiva, comparada com a dos demais produtos florestais (Roma; Andrade, 2013).

A madeira é um material natural, com importante função estrutural e amplo uso pelo homem, devido principalmente às suas propriedades físicas e mecânicas, bem como ao seu baixo preço e por ser um recurso renovável, quando bem manejado. No entanto, por ser um material higroscópico, ela está sujeita a alterações dimensionais, o que de certa forma reduz o seu uso potencial. Um grande esforço vem sendo feito para modificar e melhorar as propriedades da madeira, com modificações físicas e químicas (Kocafe, 2015).

No setor madeireiro observa-se que apenas algumas espécies possuem mercado firmado, apesar de existir um número grande de espécies conhecidas. Esse fato se dá tanto pelo desconhecimento de propriedades tecnológicas e potencial econômico de madeiras que poderiam substituir as espécies mais exploradas como pelo tradicionalismo no consumo. Essa situação é bastante evidente no mercado de madeira para a manufatura de instrumentos musicais. Esses instrumentos são tradicionalmente e preferencialmente confeccionados com madeiras importadas, o que leva o Brasil a depender do exterior para abastecer a atividade de fabricação de instrumentos musicais. A utilização dessas madeiras está fundamentada no fato de que já são conhecidas as propriedades físicas e mecânicas dessas espécies que atendem muito bem à atividade. Entretanto, algumas espécies brasileiras merecem destaque nesse cenário, como o Jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra*), mogno (*Swietenia macrophylla*) e o pau-brasil (*Caesalpinia echinata*), ao mesmo tempo que estas, atualmente, são espécies florestais protegidas pela CITES (*Convention on International Trade in Endangered Species*), sendo proibidas de serem cortadas e comercializadas (Teles *et al.*, 2018).

Há atualmente poucos trabalhos relacionados à utilização de madeiras brasileiras para a fabricação de instrumentos musicais, sendo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o

Laboratório de Produtos Florestais (LPF/SFB) pioneiros nessa área de pesquisa. Este último já possui cerca de 300 espécies estudadas para qualificação para instrumentos musicais (Souza *et al.*, 2007). Os dados já produzidos vêm atraindo a atenção de diversos setores do mercado fonográfico, caracterizando o seu anseio por soluções para os problemas de matéria-prima enfrentados.

Entre as possibilidades de superar os desafios encontrados no setor produtivo de instrumentos musicais, encontram-se as técnicas de modificação das propriedades da madeira. Basicamente, a modificação da madeira pode dividir-se em: modificação química, modificação térmica, modificação de superfície e modificação por impregnação. O efeito da densificação da madeira por meio da compressão mecânica produz resultados melhores quando realizada concomitante com o calor (Kutnar; Kamke, 2012). Este atua sobre os polímeros viscoelásticos, como a lignina e as hemiceluloses presentes na parede celular da madeira, ajudando na sua deformação, sem causar fraturas.

Quatro técnicas de modificação da madeira são destacadas na literatura, sendo denominadas *Viscoelastic Thermal Compression*, os tratamentos termomecânicos, termorreificação e condições com vácuo. A técnica *Viscoelastic Thermal Compression* ou compressão térmica viscoelástica modifica a madeira usando calor, vapor e a compressão mecânica, aumentando de forma geral a força e rigidez da madeira. Um fator positivo desses processos é que podem ser usados em qualquer espécie de madeira. Os tratamentos termomecânicos têm como objetivo aumentar a densidade da madeira, fazendo uma combinação entre temperatura e calor, resultando um material com melhores propriedades físico-mecânicas (Bekhta; Niemi, 2003; Freitas *et al.*, 2016). Entre as melhorias observadas por esse processo, pode ser citado o aumento da resistência biológica, da estabilidade dimensional e da resistência à radiação ultravioleta. Com isso, obtém-se um material que, no fim do ciclo de vida, não apresenta um perigo ambiental, agregando um maior valor à madeira, com baixo custo e sem a utilização de produtos químicos (Hill, 2006).

A termorreificação ou retificação térmica utiliza o vácuo ou estufas controladas, sendo uma alternativa de modificação da aparência da madeira. Um lado positivo desse processo, em comparação com outros, é o custo, sendo este um dos mais econômicos. Esse método consiste em expor a madeira a elevadas temperaturas sem provocar deterioração dos componentes químicos fundamentais, como a celulose e a hemicelulose, por serem mais sensíveis à ação do calor. Essa técnica é um processo que ocorre mediante a associação de temperatura com valores até 240 °C, dependendo da espécie florestal e do seu teor de umidade. A estabilidade dimensional da madeira

tratada por alta temperatura é melhorada entre 30% e 50% de acordo com a espécie e os processos, dando-lhe uma maior resistência mecânica. Normalmente os tratamentos térmicos são realizados com temperaturas entre 150 e 240 graus Celsius e com durações que variam entre 15 minutos e 24 horas, dependendo do processo, do tamanho da amostra, do teor de umidade da madeira e da espécie, devido à sua composição química e estrutura anatômica (Kamdern; Jermannaud, 2002).

Acusticamente, os princípios de ressonância e as propriedades de radiação do som na madeira foram aplicados durante séculos em instrumentos musicais. Antes mesmo de serem cientificamente comprovados, os princípios de ressonância e as propriedades de radiação do som na madeira já eram aplicados para instrumentos musicais (Slooten; Souza, 1993). Hoje, essas propriedades já são conhecidas e sabe-se que os fatores de influência no comportamento de um corpo de madeira sob vibração são a elasticidade do material, submetido a um esforço de tração ou flexão, e a fricção interna causada pela dissipação da energia proveniente da vibração. As madeiras de baixa densidade costumam apresentar altos valores de velocidade de propagação do som em uma disposição paralela às fibras (Haines, 1979). Bucur (1995) indica que os parâmetros mais importantes na escolha de uma madeira com boas condições para instrumentos musicais são: a densidade do material, a velocidade de propagação do som e o decaimento logarítmico.

Assim, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar a técnica de termorretificação com o uso da madeira de roxinho (*Peltogyne* sp.) e desenvolver protótipos de produtos empregando o processo voltado para o mercado de instrumentos musicais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Madeiras e mercado madeireiro local

As informações de comercialização de madeira no Distrito Federal e entorno foram obtidas por meio de um levantamento inicial de dados comerciais de empresas que possuíam endereço eletrônico na internet e amostrados os principais pontos de venda de madeira da região. Entre as principais madeiras comercializadas na região, destacam-se a *Cariniana legalis* (jequitibá), *Dipteryx odorata* (cumaru), *Dinizia excelsa* (angelim vermelho), *Handroanthus* sp. (ipê) e o *Peltogyne* sp. (roxinho), com destaque para as duas últimas, que são comercializadas em mais de 60% dos estabelecimentos visitados. Dessa forma, para o desenvolvimento do projeto, a madeira de roxinho foi selecionada em função das suas propriedades tecnológicas, da disponibilidade para aquisição e do valor de mercado.

Tratamentos térmicos

A termorretificação emprega o calor gerado por meio de estufas, chegando a uma temperatura próxima daquela que altera a estrutura dos componentes macromoleculares da madeira, como a hemicelulose e a lignina. Assim, o processo foi classificado como tecnicamente viável de ser realizado em condições laboratoriais presentes no Instituto Federal de Brasília (IFB).

Após a realização do tratamento térmico, as madeiras foram avaliadas tecnologicamente a partir das suas propriedades físicas (densidade e módulo de elasticidade dinâmico) e acústicas (velocidade de propagação sonora e frequência de ressonância). Quatorze amostras nas medidas de 20mm x 20mm x 180mm (largura x espessura x comprimento) foram produzidas e, posteriormente, aplicados os tratamentos classificados como natural (T0), ou seja, sem aplicação de temperatura, como T1 a 160 °C e T2 a 200 °C.

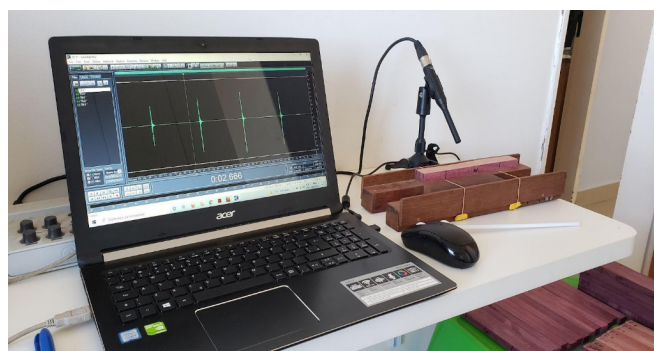
Para o ensaio de velocidade de propagação sonora, foi utilizado o equipamento *stress wave timer* (Figura 1) e desenvolvido o esquema de análise da captação da vibração sonora. Esse esquema é composto por um aparato produzido para tal finalidade, que conta com um suporte de fios de *nylon* em uma estrutura de madeira, além de um microfone condensador para a captação da onda sonora. A posição dos suportes foi tal que proporcionou a livre vibração das amostras de madeira após a aplicação de um impacto em suas porções centrais (Figura 2). O software *Adobe Audition* foi empregado para a captação da onda sonora e a interpretação do resultado de frequências obtidas diretamente por meio da análise da Transformada de Fourier (FFT).

Figura 1 – Equipamento *stress wave timer* empregado na captação da velocidade de propagação sonora, das amostras de madeira.



Fonte: figura própria do autor.

Figura 2 – Aparato de captação das ondas e frequências sonoras das amostras de madeira.



Fonte: figura própria do autor.

As análises estatísticas contaram com a realização de um teste de valores discrepantes (*outliers*) com posterior análise descritiva. Em seguida, foi realizada uma Análise de Variância, seguida de um teste de agrupamento (*Tukey*). Por fim, foi conduzida uma análise de correlação de Pearson para avaliar a relação entre as variáveis estudadas. Para tanto, neste último teste estatístico, foi considerado todo o conjunto de dados disponível.

Produção dos projetos de produtos

A etapa de produção dos projetos de produtos de instrumentos musicais foi realizada após o estudo de identificação dos instrumentos musicais que poderiam ser produzidos protótipos, a fim de serem avaliados após a aplicação do método de modi-

ficação da madeira. Assim, o instrumento musical selecionado foi o xilofone em função de ser quase em sua totalidade feito em madeira e por ter dimensões que poderiam ser produzidas nas instalações do IFB.

Após as análises de instrumentos similares e identificação de suas características, materiais empregados e situações de uso, os projetos do instrumento musical foram produzidos empregando o *software Sketchup*, o qual possibilitou a modelagem tridimensional do produto.

Por fim, um protótipo do produto foi produzido com a madeira obtida por meio do tratamento que apresentou melhor comportamento das suas propriedades tecnológicas. Assim, após a realização da usinagem de suas partes, o instrumento foi montado e avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tratamentos de modificação de madeira

Conforme apresentado previamente, a espécie roxinho (*Peltogyne* sp.) foi selecionada para a realização dos ensaios de modificação da madeira. Assim, a Tabela 1 apresenta os resultados da estatística descritiva acerca das propriedades geométricas, físicas e acústicas. Os resultados da Análise de Variância (ANOVA) apresentaram diferenças significativas para quase todas as propriedades avaliadas, com exceção da frequência de ressonância. A Figura 3 ilustra o resultado com os valores médios e os agrupamentos obtidos pelo teste de *Tukey*.

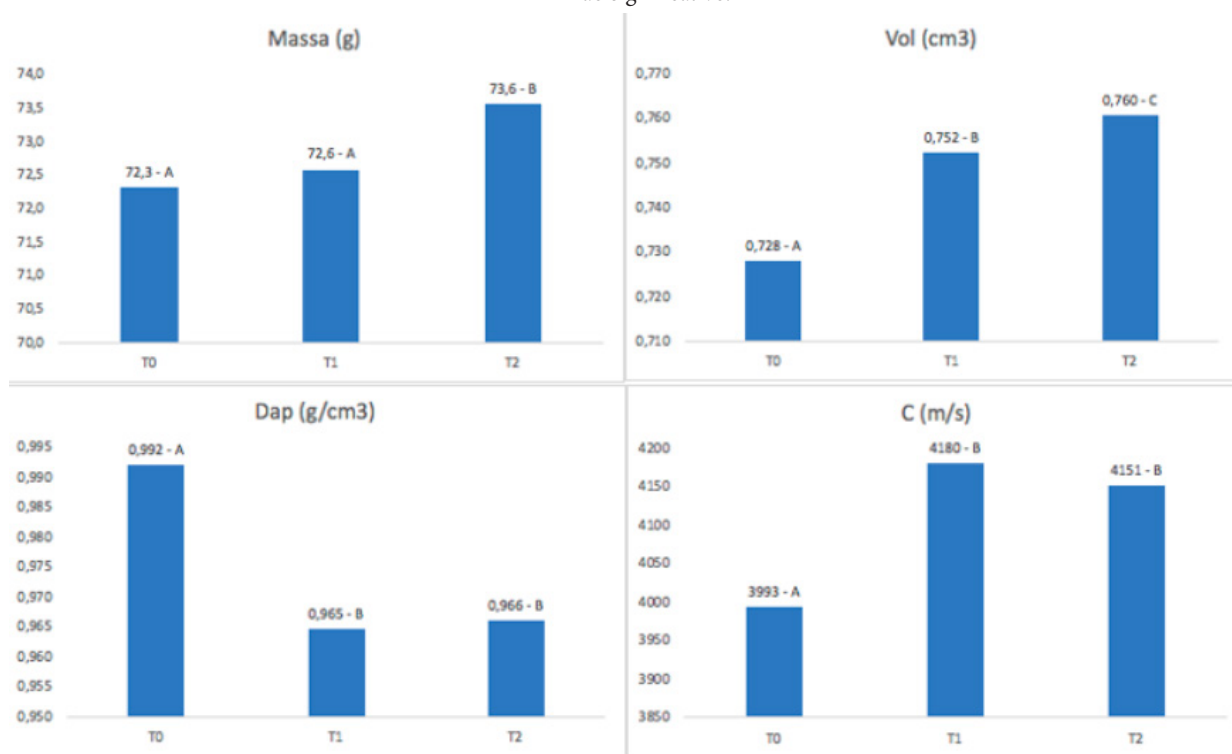
Tabela 1 – Resultados da análise descritiva das propriedades tecnológicas da madeira de Roxinho sem tratamento e tratadas termicamente.

Propriedade / Tratamento		N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Intervalo de confiança de 95% para média	
						Limite inferior	Limite superior
Massa (g)	0	3	72,3108	0,45121	0,12514	72,0381	72,5834
	1	2	72,5708	0,69967	0,20198	72,1263	73,0154
	2	3	73,5546	0,97327	0,26994	72,9665	74,1428
Vol (cm ³)	0	4	0,72776	0,003372	0,000901	0,72581	0,72971
	1	4	0,75226	0,007001	0,001871	0,74821	0,75630
	2	4	0,76047	0,005019	0,001341	0,75757	0,76337

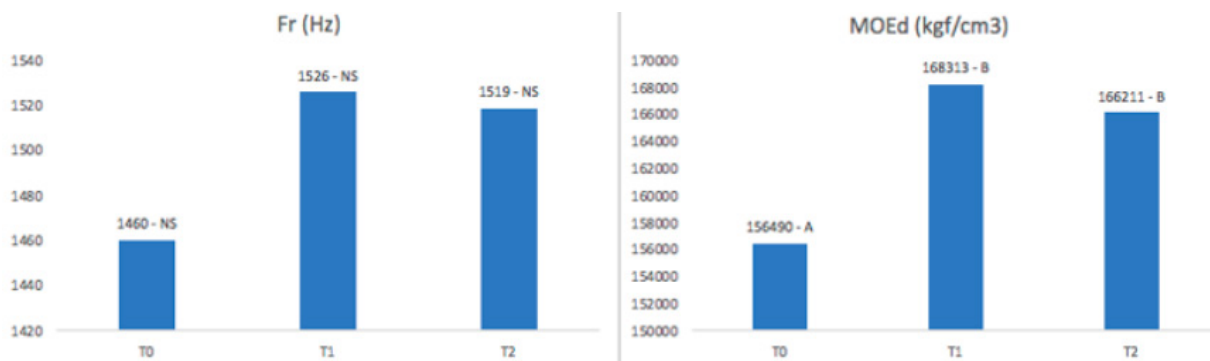
Dap(g/cm ³)	0	4	0,99196	0,010709	0,002862	0,98577	0,99814
	1	4	0,96458	0,009729	0,002600	0,95896	0,97019
	2	3	0,96602	0,009281	0,002574	0,96041	0,97163
C (m/s)	0	0	3993,32	64,376	20,358	3947,27	4039,38
	1	2	4180,24	71,635	20,679	4134,72	4225,75
	2	4	4151,18	141,223	37,743	4069,64	4232,72
Frequência (Hz)	0	4	1460,46	90,308	24,136	1408,32	1512,61
	1	4	1526,28	73,122	19,543	1484,06	1568,50
	2	4	1519,13	74,683	19,960	1476,01	1562,25
MOEd (kgf/cm ²)	0	1	156490,14	7620,355	2297,624	151370,71	161609,56
	1	2	168312,91	5327,720	1537,980	164927,84	171697,98
	2	4	166210,99	12105,021	3235,203	159221,76	173200,22

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 3 – Resultados obtidos das propriedades tecnológicas para os tratamentos térmicos realizados na madeira de roxinho. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significantes, ao nível de significância de 5%, pelo teste de *Tukey*. NS - representa um resultado não significativo.



CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DA MADEIRA DE ROXINHO (PELTOGYNE SP.) TRATADA TERMICAMENTE



Fonte: figura própria do autor.

O que se pode observar é um impacto expressivo do efeito do tratamento térmico nas propriedades da madeira estudada. Iniciando pela análise da massa e do volume, notou-se um aumento a partir do incremento da temperatura, indicando uma alteração estrutural nas amostras. Esse resultado está relacionado à saída de água de adesão, com efeito direto nos componentes químicos presentes na parede celular da madeira. Dessa forma, a massa presente ao final do tratamento envolve apenas os macrocomponentes da parede celular, aumentando parcialmente a sua massa. Nos resultados obtidos, apenas o Tratamento 2 se diferenciou dos demais, demonstrando que o aumento da temperatura age de forma mais intensa a partir de 200 °C. O tratamento térmico reduz a higroscopicidade da madeira por meio da degradação de seu constituinte mais hidrófilo, que é a hemicelulose (De Paula, 2016; Spear *et al.*, 2021). Assim, a formação de novos açúcares altera a relação do peso molecular dos constituintes da madeira e, diretamente, o volume ocupado pela massa única de madeira. Todavia, embora tenha sido observado o aumento da massa e do volume, o impacto mais expressivo está relacionado à diminuição da densidade da madeira por meio da termorreificação. Essa propriedade está intimamente relacionada com as demais propriedades tecnológicas do material e, no caso de instrumentos musicais, com a propagação de ondas sonoras ao longo da madeira, podendo alterar características, como o timbre do instrumento e até a sua usinabilidade.

Entre as propriedades acústicas estudadas, somente a velocidade de propagação apresentou diferenças significativas entre as amostras tratadas e as não tratadas. O aumento dos valores médios dessa propriedade indica que o arranjo interno da madeira realmente se alterou ao passo que a onda sonora

pode propagar-se mais rapidamente. O tratamento 1 foi estatisticamente igual ao tratamento 2, o que pode indicar que temperaturas mais brandas causam o mesmo efeito, indicando assim que é possível realizar a termorreificação na madeira de rosinho com temperaturas mais baixas e ter um ganho nessas propriedades. Resultado semelhante foi obtido por Buchelt *et al.* (2023) para a madeira de spruce (*Picea abies* Karst.), em que, para essa espécie, o emprego de temperaturas a partir de 180 °C proporcionou mudanças significativas nas propriedades acústicas, mesmo sendo essa madeira representante do grupo das coníferas. O módulo de elasticidade dinâmico (MOEd), por relacionar a densidade e a velocidade de propagação sonora, acaba por demonstrar resultado similar. Nesse sentido, o resultado para o MOEd se aproxima do observado por Roohnia e Kohantorabi (2014), que visaram reduzir a densidade da madeira de Maple empregando tratamento térmico com extração em água quente, seguido de exposição em mistura de etanol/acetona, melhorando a propriedade.

Por meio da correlação de Pearson (Tabela 2), as relações entre as propriedades tecnológicas ficaram mais evidenciadas. O volume (cm³) apresentou correlações diretas com todas as propriedades, o que corrobora as observações anteriores, em que o seu aumento indica também aumento das variáveis acústicas. A densidade (g/cm³) e a velocidade de propagação sonora (m/s) são inversamente proporcionais, demonstrando que o efeito da termorreificação, que diminuiu a densidade do material, influenciou no comportamento da propagação da onda sonora. A frequência de ressonância (Hz) não sofreu impacto direto do tratamento térmico.

Tabela 2 – Resultado da análise de correlação entre as propriedades tecnológicas da madeira de roxinho tratada e sem tratamento térmico.

	Massa (g)	Vol (cm ³)	Dap(g/cm ³)	C (m/s)	Frequência (Hz)	MOEd (kgf/cm ²)
Massa (g)	1					
Vol (cm ³)	0,598**	1				
Dap(g/cm ³)	0,008	-0,693**	1			
C (m/s)	0,205	0,519**	-0,511**	1		
Frequência (Hz)	0,339*	0,413**	-0,136	0,286	1	
MOEd (kgf/cm ²)	0,303	0,435**	-0,333*	0,960**	0,367*	1

** . A correlação é significativa no nível 1% de significância (2 extremidades).

*. A correlação é significativa no nível 5% de significância (2 extremidades).

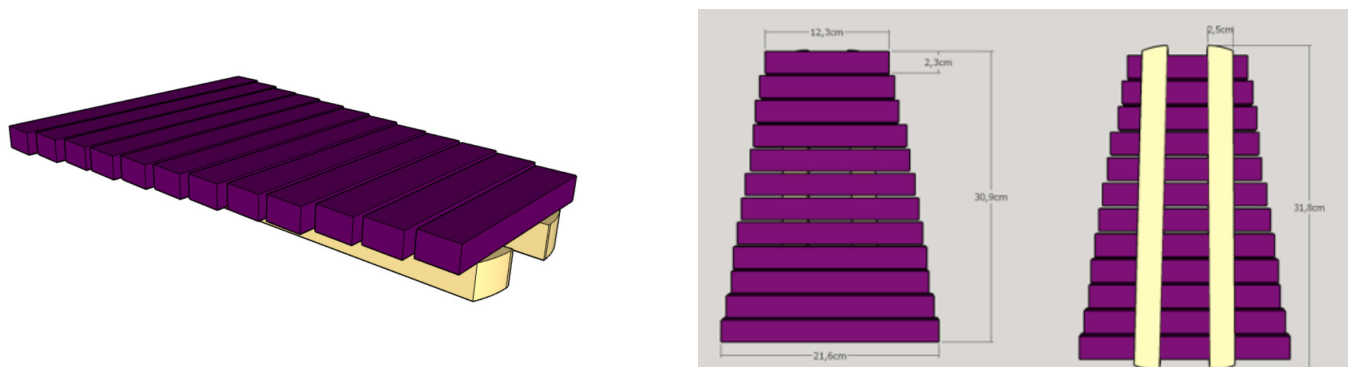
Os resultados obtidos para os dois tratamentos térmicos avaliados, comparados com a madeira em seu estado natural, indicaram a seleção do tratamento 1 (160 oC) como viável a ser executado na produção do instrumento musical xilofone. Essa recomendação ocorre em função da proximidade dos resultados entre os tratamentos 1 e 2, sendo então recomendado empregar temperaturas mais baixas com efeito muito próximo a temperaturas mais elevadas.

Produção dos projetos de produtos

A Figura 5 apresenta a proposta de projeto de produto de instrumento musical. Conforme é possível observar, no xilofone a madeira fica apoiada na região dos pontos nodais, sendo fixada por meio de parafusos ou outro tipo de elemento de fixação. A base de suporte das teclas é feita de material que não limite a vibração do material. A base de sustentação proposta também é feita na madeira de *Pinus* sp. Por fim, o som é gerado por meio do impacto de um estímulo externo (baqueta) produzido pelo músico sob a parte central das teclas.

Em função da disponibilidade de material, o instrumento musical foi produzido com uma oitava e meia, com um total de 12 teclas musicais, levando as notas de dó (C6) até sol (G7).

Figura 4 – Desenho técnico da proposta de protótipo de xilofone com 12 teclas, com as vistas superior, inferior e em perspectiva.



Fonte: figura própria do autor.

Após o processo de afinação do produto, o instrumento foi montado e testado. Verificou-se que foi possível executar as notas musicais na escala proposta, com altura e timbre acima do que as teclas produzidas com a madeira *in natura*. O protótipo do xilofone produzido pode ser visualizado na Figura 5. Um exemplo do som produzido pelo produto pode ser conferido por meio do *link*: https://drive.google.com/file/d/1Z_YfLitQXY-IxkrudbVdSoOK8xS-l9k/view?usp=sharing.

Figura 5 – Protótipo do produto xilofone produzido para a avaliação de fabricação e funcionalidade do instrumento musical.



Fonte: figura própria do autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quantidade e diversidade de madeiras possíveis de serem empregadas para instrumentos musicais é expressiva e carece de estudos tecnológicos que possam apresentar o seu comportamento acústico por meio de análises técnicas. O mercado madeireiro do Distrito Federal possui um grupo de espécies madeireiras que visam atender prioritariamente o mercado da indústria da construção civil, com madeiras de alta e média densidade. A madeira de roxinho está presente na maior parte dos estabelecimentos comerciais e possui valor de mercado mais baixo quando comparada com outras espécies. Assim, a sua seleção para a produção de xilofones está compatível com a oferta e com as características técnicas para a produção do objeto.

O projeto de produto e a produção do instrumento musical xilofone demonstraram um ganho expressivo em relação ao timbre final quando comparados à madeira sem tratamento. Assim, indica-se o uso da temperatura a 160 °C como um produto tecnológico que pode aumentar a qualidade final do instrumento musical.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Brasília por meio do apoio recebido para o desenvolvimento do projeto (Edital n.º 36/2019 – PROGRUPOS).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEKHTA, P.; NIEMZ, P. Effect of High Temperature on the Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood. *Holzforschung*, v. 57, n. 5, p. 539-546, 2003.

BUCHELT, B.; KRÜGE, R.; WAGENFÜHR, A. The vibrational properties of native and thermally modified wood in dependence on its moisture content. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 81, p. 947-956, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-022-01919-y>

BUCUR, V. *Acoustics of Wood*. New York: CRC Press, 1995. 284 p.

DE PAULA, M. H. Efeito do tratamento térmico em propriedades tecnológicas das madeiras de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) e sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess). *Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal*. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 2016.

FREITAS, A. C.; GONÇALEZ, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. S. Tratamento termomecânico e seus efeitos nas propriedades da Simarouba amara (Aubl.). *Floresta e Ambiente*. [online]. In press. Epub Feb 12, 2016.

HAINES, D. On musical instrument wood. *Catgut acoustic*, n.º 24, p. 25-28. 1979.

HILL, C.A.S. **Wood modification: Chemical, thermal and other processes**. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2006.

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

KOCAEFE, D., HUANG, X., KOCAEFE, Y. **Dimensional stabilization of wood**. Wood structure and function, Topical Collection. Springer International Publishing. AG, 2015.

KUTNAR, A.; KAMKE, F. A. Compression of Wood Under Saturated Steam, Superheated Steam, and Transient Conditions at 150 °C, 160 °C and 170 °C. *Wood Science and Technology*, v. 46, n. 1-3, p. 73-88, 2012.

ROMA, J. C.; ANDRADE, A. L. C. Economia, concessões florestais e a exploração sustentável de madeira. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental (BRU)*, n. 8, jul./dez. 2013.

ROOHNIA, M.; KOHANTORABI, M.; TAJDINI, A. Maple wood extraction for a better acoustical performance. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 73, p. 139–142, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-014-0871-z>

SLOOTEN, H. J. VAN DER; SOUZA, M. R. de. **Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para manufatura de instrumentos musicais**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1993.

SPEAR, M.J.; CURLING, S.F.; DIMITRIOU, A.; ORMONDROYD, G.A. Review of Functional Treatments for Modified Wood. **Coatings** 2021, v. 11, n.327 p. 1-29. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/coatings11030327>

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. **Madeiras Tropicais Brasileiras**. Brasília: IBAMA/LPF, 1997, 152 p. il. (Publicação bilíngüe: português e inglês).

SOUZA, M.R.; SOUZA, M.H.; CAMARGOS, J. A. A.; TELES, R.F. **Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais**. IBAMA/LPF. Brasília. (2007).

TELES, R. F.; SOUZA, M. R.; WIMMER, P. Acoustical properties of 10 amazonian hardwoods. In: 25th International Congress on Sound and Vibration (ICSV25), 2018, Hiroshima. **Proceedings of 25th International Congress on Sound and Vibration (ICSV25)**, 2018. v. 1. p. 1-8.