

QUALIDADE ENERGÉTICA DE RESÍDUOS MADEIREIROS PARICÁ E PINUS

VIVIAN MIDORI TAKAHASHI¹, VITÓRIA ROBERTA DA SILVA FERREIRA¹, PEDRO HENRIQUE GONZALEZ DE CADEMARTORI^{1,2}, MAYARA ELITA CARNEIRO², DIMAS AGOSTINHO DA SILVA^{1,2}

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), Universidade Federal do Paraná, Av. Prefeito Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico, Curitiba - PR, 80210-170, viviantakahashi@hotmail.com; victoria_roberta19@hotmail.com

² Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal (DETF), Universidade Federal do Paraná, Av. Prefeito Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico, Curitiba - PR, 80210-170, pedroc@ufpr.br; mayaraecarneiro@gmail.com; dimas.agostinho.silva@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho investigou a qualidade energética de resíduos de Paricá e Pinus. Para tal, foram investigadas as propriedades químicas, térmicas e energéticas das biomassas de paricá e pinus por meio da química elementar, química macromolecular e química imediata, além da obtenção do poder calorífico por meio de normas regulamentadoras. Além disso, realizou-se análise termogravimétrica em ambiente inerte e oxidativo para simular o comportamento das biomassas em processos de pirólise e combustão. Ambas as biomassas apresentaram teor de carbono próximo à 45%. O teor de lignina para a paricá e do pinus foi de 26 e de 31%, respectivamente. A madeira de paricá apresentou teor de cinzas cerca de três vezes maior que o pinus, enquanto o poder calorífico foi estatisticamente igual. Qualitativamente, as curvas termogravimétricas mostraram um comportamento de degradação similar, porém, denotou-se uma maior massa residual para a biomassa de pinus. Portanto, concluiu-se que a biomassa de paricá apresenta potencial como fonte alternativa para a geração de energia, porém, ressalta-se que potenciais rotas de conversão termoquímica devem levar em consideração o maior teor de cinzas da biomassa de paricá em comparação a biomassa de pinus, o que pode causar problemas durante a utilização desta espécie como biocombustível.

Palavras-chave: biocombustível, biomassa residual, composição química, energia

ENERGY QUALITY OF PARICÁ AND PINE WOOD RESIDUES

This work investigated the energy quality of residues of Paricá and Pinus. Chemical, thermal and energetics properties of the biomasses were investigated by means of elemental analysis, macromolecular chemical components, proximate analysis, and high heating value. The thermogravimetry. Was investigated in an inert and oxidative environment to simulate the behavior of the biomasses in both pyrolysis and combustion processes. Both biomasses presented fixed carbon around 45%. The lignin content for paricá and pinus was 26 and 31%, respectively. The paricá wood presented an ash content of about three times higher than the pinus, while the calorific value was statistically equal. Qualitatively, the thermogravimetric curves showed a similar degradation behavior, however, a higher residual mass was denoted for the pinus biomass, showing the possibility of using nontraditional species for this purpose compared to pinus biomass. However, note that potential thermo-chemical conversion routes should consider the higher ash content of paricá biomass compared to pinus biomass, which can cause problems during the use of this species as biofuel.

Keywords: biofuel, residual biomass, chemical composition, energy

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal produz um volume significativo de resíduos, fato que vai contra ao novo contexto mundial de produção

sustentável. O uso inteligente de resíduos de biomassa para substituição de combustíveis fósseis e tecnologias de produção fazem parte de uma economia circular (KRUUS; HAKALA, 2017), a qual sugere o

aproveitamento máximo dos materiais e subprodutos gerados em um processo produtivo.

Os resíduos florestais são comumente utilizados para a queima direta na geração de energia. Baseado no conceito de refinaria de petróleo, as biorrefinarias florestais propõem a utilização da biomassa como matéria-prima para o desenvolvimento de químicos, materiais avançados, e biocombustíveis e derivados, com menor impacto ambiental. Portanto, a valorização de resíduos florestais depende de uma adequada compreensão do seu comportamento quando exposto a aplicações, tais como em pré-tratamentos químicos e enzimáticos, beneficiamento mecânico e processos de conversão termoquímica. Por exemplo, as propriedades energéticas da madeira de espécies florestais não tradicionais podem auxiliar no direcionamento das melhores rotas de conversão termoquímica e produção de biocombustíveis, especialmente se há potencial de ampliação do uso de determinada espécie se comparado a aplicação de espécies tradicionais, como dos gêneros *Pinus*. e *Eucalyptus*. Esses dois gêneros correspondem a mais de 7 milhões de hectares de área plantada no Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES, 2019).

O Brasil possui uma matriz energética majoritariamente renovável, e para atingir a meta 7.3 (energia renovável na matriz energética) dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS – ONU) estipulada para 2030, é extremamente importante fomentar a utilização de biomassa como fonte para geração de energia, principalmente devido ao potencial do país em termos de distribuição territorial e condições edafoclimáticas para o desenvolvimento sustentável de florestas plantadas. Espécies não tradicionais têm ganhado notoriedade no cenário florestal e madeireiro, a ressaltar a *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá), visto que a demanda por matérias-primas originárias de florestas plantadas está em constante evolução.

Essa constante evolução na demanda por matérias-primas resulta em uma consequente geração de resíduos florestais, seja durante as etapas de colheita das árvores ou no

beneficiamento da madeira. Por exemplo, a indústria de laminação de toras de paricá possui rendimento médio entre 40 e 50% (MELO, 2012; SILVA et al., 2015). Comparativamente, a-paricá ainda apresenta maior rendimento do que a madeira de espécies tradicionais, tais como o pinus, que pode variar de 37 a 46% (MURARA JUNIOR; ROCHA; TRUGILHO, 2013).

Levando em consideração a elevada geração de resíduos no setor florestal e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a utilização destes recursos como fonte de energia é imprescindível, uma vez que há o maior aproveitamento do recurso natural e a utilização de uma fonte renovável em um sistema baseado nos conceitos de economia circular (DELUCIS et al., 2018). Especificamente, a madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* sob diferentes condições de plantio e colheita tem sido investigada como fonte alternativa para o direcionamento em diferentes setores de beneficiamento (MELO et al., 2013; MODES et al., 2018; MODES et al., 2020), a ressaltar para a geração de biocombustíveis sólidos (VIDAURRE et al., 2012; FREITAS et al., 2016; FERREIRA et al., 2020). Com isso, evidencia-se a necessidade de explorar as melhores rotas para uma aplicação de cunho energético em potencial de resíduos madeireiros de paricá, o que está diretamente relacionado a uma compreensão adequada das suas propriedades.

No presente estudo investigou-se o potencial e o comportamento energético de resíduos madeireiros de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) advindos do processo de laminação de toras na região Norte do Brasil. Similarmente, a qualidade energética de resíduos madeireiros de *Pinus ssp* (pinus) foi investigada para estabelecer critérios comparativos quanto ao potencial de madeiras não tradicionais no mercado florestal e madeireiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A biomassa de paricá foi gentilmente cedida pela empresa Adeco Indústrias e comércio de Compensados localizada no

município de Dom Eliseu (latitude 04°17'06" sul e longitude 47°21'10"), região nordeste do estado do Pará. De acordo com a empresa, a biomassa é oriunda de lâminas descartadas devido à presença de defeitos no processo de laminação de toras seccionadas de árvores com cinco anos de idade. Já a biomassa de pinus, foi gentilmente doada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Florestas (Colombo, PR) na forma de serragem residual oriunda de serrarias da região de Curitiba (PR).

Para a utilização do material no estudo, as lâminas de paricá foram moídas em moinho martelo e, em seguida, reduzidas em moinho de facas Willey. As biomassas de paricá e pinus foram classificadas de acordo com a granulometria. Utilizou-se a serragem que passou pela peneira de abertura 1,44 mm e ficou retida na peneira de abertura 0,84 mm.

O teor de umidade (base úmida e base seca) foi determinado conforme a NBR 14929 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003). A análise química imediata, especificamente, o teor de materiais voláteis, carbono fixo e teor de cinzas, foi realizada conforme descrito na norma ASTM D1762-84 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2013). A análise foi realizada em triplicata para cada biomassa. Já a caracterização química macromolecular foi realizada por meio da determinação do teor de extrativos, conforme procedimento descrito na norma T 204 cm-97 (TAPPI, 2007). O teor de lignina insolúvel em ácido (Klason) foi determinado em duplicata conforme metodologia adaptada de Gomide e Demuner (1986). A lignina solúvel em ácido foi determinada por espectrometria UV-Vis (GOLDSCHIMID, 1971) a partir da diluição do filtrado proveniente do procedimento para obtenção da lignina Klason. O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel em ácido. O teor de holocelulose (somatório dos teores de celulose e hemiceluloses) foi determinado subtraindo-se de 100 o teor de lignina total e o teor de cinzas.

Para a determinação da composição química elementar, as amostras foram novamente moídas e peneiradas, sendo

utilizada a fração que ficou retida entre as peneiras de 60 *mesh* e 200 *mesh*. As amostras foram caracterizadas em um analisador universal da marca Elementar (modelo Vario Micro Cube) no Laboratório de Solos da Embrapa Florestas. Para tal, quantificou-se em base seca, os teores de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e enxofre (S). O teor de oxigênio foi obtido por diferença de acordo com a Equação 1:

$$O = 100 - C - H - N - S - CZ \quad (1)$$

Em que: O = teor de Oxigênio (%); C = teor de Carbono (%); H = teor de Hidrogênio (%); N = teor de Nitrogênio (%); S = teor de Enxofre (%); e CZ = teor de cinzas (%)

O poder calorífico superior foi determinado em uma bomba calorimétrica IKA C5000, conforme descrito na norma ASTM D5865-13 (AMERICAN STANDARD OF TESTING METHODS, 2013). Previamente, o material foi seco em estufa com temperatura de $103 \pm 3^\circ\text{C}$ até peso constante. O poder calorífico inferior foi determinado segundo a Equação 2:

$$PCI = PCS - (600 * (9 * \%H + \%U)) \quad (2)$$

Em que: PCI=Poder calorífico inferior (cal. g^{-1}); PCS= Poder calorífico superior (cal. g^{-1}); %H= Teor de Hidrogênio; e %U= Teor de umidade base úmida

Para a análise termogravimétrica (TGA) de ambas as biomassas, as partículas foram reduzidas em um moinho IKA A11 a uma granulometria de 60 *mesh*. O equipamento utilizado foi um analisador termogravimétrico STD Q600 (TA Instruments). Foram realizadas análises de simulação de combustão em atmosfera de ar sintético com fluxo de 50 mL min^{-1} em amostras de biomassa de aproximadamente 2 mg, e um gradiente de temperatura variando da temperatura ambiente até 600°C , com taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C} \text{min}^{-1}$. Além disso, realizou-se análise de simulação de pirólise em atmosfera de nitrogênio (N_2), com fluxo de 50 mL min^{-1} e a amostra de, aproximadamente, 2 mg, em um gradiente de temperatura variando da

temperatura ambiente até 600°C, com taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹.

Para a análise estatística do teor de umidade, análise química imediata, poder calorífico superior e inferior, o desenho estatístico utilizado foi um delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os dados foram analisados com o auxílio do *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2017), utilizando o pacote “*ExpDes.pt*” (FERREIRA et al., 2018). Preliminarmente, o conjunto de dados foi submetido ao teste de Bartlett para análises de homogeneidade e, em seguida, análise de variância (ANOVA) teste F a 5% de probabilidade de erro para verificar as diferenças entre os tratamentos. Quando estabelecida diferenças significativas, aplicou-se análise de médias comparativas, utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a composição química elementar das biomassas de paricá e pinus. A determinação da composição química elementar quantifica os elementos presentes em combustíveis. Entre eles, o carbono (C) e o hidrogênio (H), que são os principais elementos para a geração de energia. O oxigênio (O) e o nitrogênio (N) contribuem negativamente para a geração de energia. A composição química elementar do paricá de cinco anos foi definida por Viduarre (2012); o qual encontrou percentagens de carbono, nitrogênio, hidrogênio e oxigênio (45,39%, 0,12%, 6,78% e 47,41% respectivamente) que se aproximam do verificado neste estudo. Altos teores de nitrogênio e enxofre podem causar maiores danos ao ambiente, pois formam poluentes durante a queima da biomassa (BRAND, 2010).

Tabela 1. Composição química elementar das biomassas de paricá e pinus

Material	N (%)	C (%)	H (%)	S (%)	O (%)
Paricá	0,12	47,22	7,71	0,06	44,70
Pinus	0,25	45,31	7,82	0,08	45,98

Legenda: N= teor de Nitrogênio; C= teor de Carbono; H= teor de Hidrogênio; S = teor de Enxofre; O= teor de Oxigênio.

Os constituintes químicos básicos da madeira são holocelulose (celulose e hemicelulose), lignina e extrativos. Estes se apresentam em diferentes percentagens na

composição da madeira. Os resultados obtidos na análise macromolecular e poder calorífico das biomassas estudadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise macromolecular das biomassas de paricá e pinus

Material	Holocelulose (%)	Lignina (%)	Extrativos (%)	PCS (MJ/kg ⁻¹)	PCI (MJ kg ⁻¹)
Paricá	69,65 ± 0,41	26,16 ± 0,30	4,19 ± 0,11	19,28 ± 39 a	17,50 ± 39 a
Pinus	65,04 ± 0,03	31,68 ± 0,30	3,28 ± 0,27	19,41 ± 41 a	17,66 ± 41 a

Legenda: PCS = Poder calorífico superior; PCI= Poder calorífico inferior

O teor de lignina do paricá foi inferior a biomassa de pinus, em torno de 26%, uma vez que o Paricá é uma espécie folhosa. O pinus, por se tratar de uma conífera, possui maior teor de lignina na sua composição. Os valores encontrados para os componentes macromoleculares (Tabela 2) para a biomassa de paricá são similares aos encontrados por Viduarre et al. (2012), porém as porcentagens dos componentes apresentada por Modes

(2018) são ligeiramente superiores ao deste estudo, possivelmente devido a idade das árvores (14 anos) e o local de plantio diferentes dos utilizados no presente trabalho. Isso evidencia a necessidade de compreensão das propriedades da madeira de paricá, visto que as condições de plantio e colheita podem influenciar no direcionamento da biomassa para aplicações como fonte alternativa para geração de energia.

Menores teores de holocelulose beneficiam o uso da biomassa para o uso energético, uma vez que a celulose e as hemiceluloses são mais instáveis termicamente. Neves et al. (2013) afirmaram que os extrativos influenciam diretamente as propriedades energéticas da madeira. De acordo com Medeiros, Oliveira e Paes (2014), altas quantidades de extrativos refletem diretamente na produção de carvão vegetal, tendo em vista que estes aumentam a densidade da madeira, gerando um carvão mais denso.

Ainda na Tabela 2 pode-se verificar o poder calorífico superior (PCS), o qual indica a quantidade de energia liberada durante a combustão por unidade de massa, ou seja, melhor será o combustível quanto maior a quantidade desta variável. Observa-se que o PCS e o PCI não apresentaram diferença estatística entre as biomassas, permanecendo em torno de 19 MJ/kg^{-1} , o que denota um primeiro aspecto positivo para a espécie em

potencial, o paricá, quando comparado ao pinus, uma espécie tradicional e de ampla aplicação no setor de energia. Os resultados se aproximam ao encontrado na literatura para ambas as biomassas estudadas (VIDAURRE et al., 2012) fato que confirma o potencial energético da madeira de paricá.

Na Tabela 3 pode-se observar os resultados da análise de química imediata das biomassas de paricá e pinus. A análise química imediata do material mostra que apenas o teor de cinzas apresentou diferença estatística entre as espécies. A quantidade de cinzas encontrada para o pinus está de acordo com a literatura. Segundo Fonte et al. (2017), a quantidade ideal de cinzas deve variar em torno de 0,5%. Quando comparado com o pinus, o teor de cinzas do paricá é três vezes maior, fato que é inerente a quantidade de material inorgânico na composição da madeira sendo que estes podem estar relacionados à fatores como tipo de solo, local de plantio, espécie vegetal, dentre outros.

Tabela 3. Análise química imediata das biomassas de paricá e pinus.

Material	Ubu (%)	MV (%)	CZ (%)	CF (%)
Paricá	$9,65 \pm 1,04$ a	$80,48 \pm 0,96$ a	$0,62 \pm 0,03$ a	$18,90 \pm 0,95$ b
Pinus	$13,31 \pm 1,67$ a	$81,03 \pm 0,79$ a	$0,19 \pm 0,02$ b	$18,78 \pm 0,77$ b

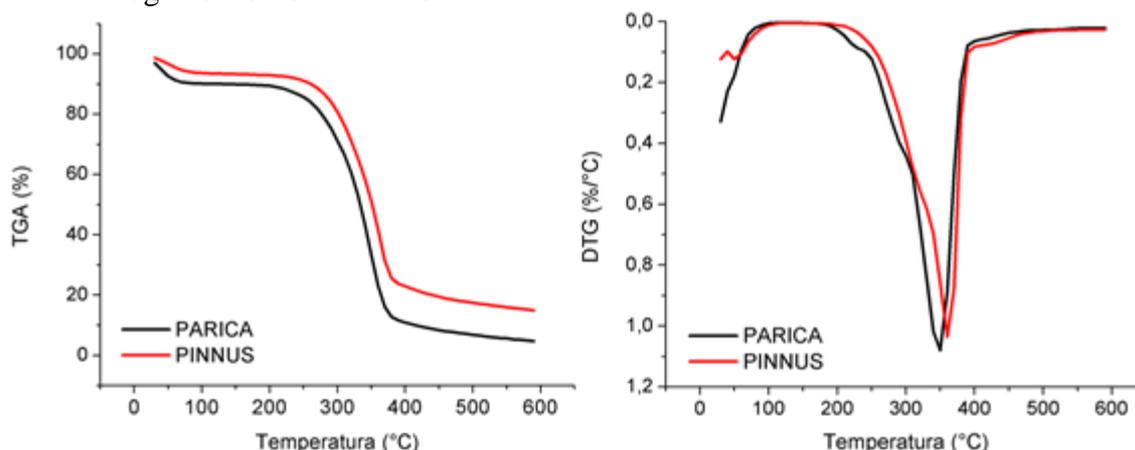
Legenda: Ubu=Umidade base úmida, MV=Materiais Voláteis, CZ= Cinzas, CF: Carbono Fixo

No entanto, não foi observada influência negativa do maior teor de cinzas do paricá no poder calorífico da biomassa (Tabela 2), uma vez que não houve diferença estatística entre elas. De acordo com Medeiros, Oliveira e Paes (2014), altos teores de cinzas poderão ocasionar danos em fornalhas, além de danos a outros equipamentos utilizados na geração de energia. Apesar do aumento do teor de cinzas

do paricá, o teor de materiais voláteis e carbono fixo se mantiveram similares para ambas as biomassas.

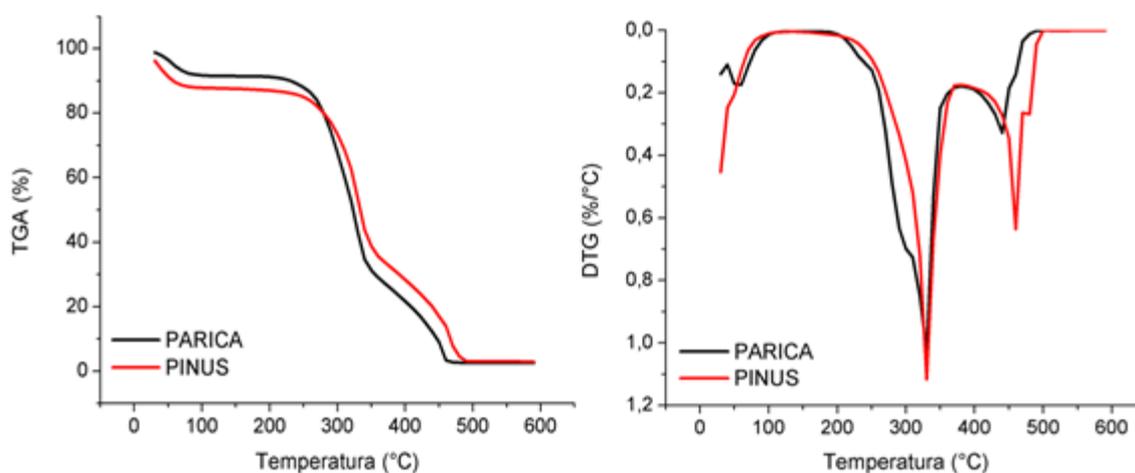
Nas Figuras 1 e 2 observa-se as curvas termogravimétricas e suas derivadas em atmosfera de nitrogênio e ar sintético das biomassas estudadas, de maneira a simular processos de conversão termoquímica de pirólise e combustão, respectivamente.

Figura 1. Curvas termogravimétricas de perda de massa das biomassas em atmosfera inerte de nitrogênio e suas derivadas.



Legenda: TGA Analise termogravimétrica; DTG: Derivada da curva termogravimétrica

Figura 2. Curvas termogravimétricas de perda de massa das biomassas em atmosfera de ar sintético e suas derivadas.



Legenda: TGA: curva termogravimétrica; DTG: derivada de curva termogravimétrica

Observa-se que em atmosfera de nitrogênio (Figura 1), as biomassas apresentaram três eventos térmicos evidentes de degradação, com ocorrência de dois picos pronunciados. O primeiro na faixa de 0 – 125°C, refere-se à evaporação da água e materiais voláteis. O segundo evento térmico inicia-se em torno de 215°C. As curvas termogravimétricas são similares sem grandes diferenças (CADEMARTORI et al., 2013). No entanto, evidencia-se que a perda de massa ocorre antecipadamente para a biomassa de paricá, sugerindo uma maior estabilidade térmica do pinus neste intervalo de temperatura, a qual caracteriza-se pela degradação das hemiceluloses e celulose. Este evento térmico apresenta pico máximo de degradação em 348 e 362 °C para a biomassa de paricá e pinus,

respectivamente, o que também sugere esta maior estabilidade térmica. Possivelmente, isto pode estar relacionado a composição química das biomassas, visto que folhosas e coníferas apresentam diferenças substanciais em termos de compostos químicos, especialmente relacionados a proporção de hexoses e pentoses em cada biomassa.

Na Figura 2 é possível observar as curvas de perda de massa e suas derivadas para as biomassas em atmosfera oxidante. Nas DTGs (Figura 2b) é possível observar duas etapas de degradação bem evidentes nas faixas de temperatura de 200 a 350 °C e de 350 a 450°C sendo a primeira referente a volatilização dos componentes das biomassas e a produção de carvão a baixa temperatura (PEREIRA et al., 2013), com picos em 318 °C para paricá e

330°C para pinus. E a segunda faixa demonstrando a acentuação da degradação térmica da lignina presente nas madeiras e a combustão do carvão gerado no estágio inicial com temperaturas de pico em 434 e 457°C para paricá e pinus, respectivamente. A diferença entre os picos de degradação da lignina do paricá e do pinus se deve a diferença estrutural da lignina, uma vez que o pinus, por se tratar de uma madeira de espécie conífera apresenta

predominantemente unidades siringila na estrutura da lignina e o paricá por ser uma espécie folhosa apresenta na sua composição a presença de unidades siringila e guaiacila, as quais possuem menor estabilidade térmica. Além disso, a massa residual (Tabela 5) obtida pela análise termogravimétrica em atmosfera inerte é menor que em atmosfera oxidativa devido a maior formação de subprodutos na presença de oxigênio na atmosfera.

Tabela 5. Porcentagem de perda de massa das biomassas separadas por faixas de temperatura.

Amostra / atmosfera	Faixas de temperatura (°C)			Massa residual (%)
	50-200	200-350	350-500	
Paricá / ar sintético	3,25	56,25	26,40	14,10
Pinus/ ar sintético	3,74	41,78	33,79	20,69
Paricá / nitrogênio	3,61	61,96	26,61	7,82
Pinus / nitrogênio	4,23	48,32	35,71	11,75

4 CONCLUSÃO

As propriedades químicas e energéticas das biomassas analisadas neste estudo evidenciaram a qualidade energética da biomassa de paricá em comparação a biomassa de pinus, esta com ampla e tradicional utilização no setor de geração de energia.

Apesar dos materiais possuírem diferenças na composição química elementar, macromolecular e imediata devido à heterogeneidade da madeira e a distinção das espécies em folhosas e coníferas, estas não

apresentaram características que impeçam sua utilização como fonte de energia.

A madeira de paricá apresentou teor de cinzas maior do que o pinus, o que deve ser levado em consideração para evitar limitações de uso devido à incrustação em equipamentos de queima.

A degradação térmica em atmosfera inerte ou oxidativa da biomassa de paricá denotou uma menor estabilidade térmica em comparação a madeira de pinus na região referente a celulose e as hemiceluloses. Em contrapartida, a massa residual da biomassa de paricá foi substancialmente menor.

5 REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D1762-84**: Standard test method for chemical analysis of wood charcoal Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken: ASTM, 2013.
- ABNT. **NBR 14929**: Madeira – Determinação do teor de umidade de cavacos. Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- AMERICAN STANDARD OF TESTING METHODS. **D5865-13**: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. West Conshohocken: ASTM, 2013.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

CADEMARTORI, P. H. G.; SANTOS, P. S. B.; SERRANO, L.; GATTO, D. A. Effect of thermal treatment on physicochemical properties of Gympie messmate wood. **Industrial crops and products**, Amsterdam, v. 45, n. 2 p. 360-366, 2013.

DELUCIS, R. A.; SANTOS, P. S. B.; BELTRAME, R.; GATTO, D.A. Chemical and fuel properties of forestry wastes from pine plantations. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, n. 5, p. 1-7, 2018.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt**: Pacote Experimental Designs (Portuguese). R package version 1.2.0. [S. l.]: Editorial Board, 2018. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt> Acesso em: 02 fev. 2018.

FERREIRA, V. R. S.; CADEMARTORI, P. H. G.; LIMA, E. A.; FERRAZ, F. A.; AGUIAR, O. J. R.; SILVA, D. A. Produção e avaliação de briquetes de *Schizolobium parahyba var. amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48. n. 128, p. 1-14, 2020.

FONTE, A. P. N.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; ANJOS, R. A. M. Propriedades físicas e químicas da madeira de cerne e alburno de *Cryptomeria japonica*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 3. p. 277-285, 2017.

FREITAS, A. J.; COSTA, A. C. S.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L.; ROCHA. C.; M. F. V.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito da pressão e do tempo de compactação nas propriedades de briquetes de resíduos madeireiros de paricá. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 6, p. 380-385, 2016.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins**: occurrence, formation, structure and reactions. New York: John Wiley & Sons, 1971. p. 241-298.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina na madeira: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 1, p. 36-38, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. **Relatório 2019**. Brasília, DF: IBÁ, 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Estimativa do rendimento de madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. **Floram**, Seropédica, v. 20, n. 4, p. 556- 563, 2013.

KRUUS, K.; HAKALA, T. **The making of bioeconomy transformation**. Espoo: Vtt Technical Research Centre Of Finland Ltd, 2017.

MEDEIROS, P. N.; N. O.; OLIVEIRA L.; PAES J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas Espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 484-493, 2014.

MELO, R. R. **Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; STANGERLIN, D. M.; Avaliação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e de superfície de lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 2, p. 238-249, 2013.

MODES, K. S.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; TOMAZELLO FILHO, M.; SANTOS, L. M. H.; VIVAN, M. A.; SILVA JUNIOR, F. G. Caracterização morfológica e química da madeira de *Schizolobium amazonicum* aos 14 anos de plantios no estado de Rondônia. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 118, p. 271-283, 2018.

MODES, K. S.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; VIVIAN, M. A.; SANTOS, L. M. H. Propriedades físico-mecânicas da madeira sólida de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. **Advances in forestry Science**, Cuiabá, v. 7, n. 2, p. 989-995, 2020.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A.; SOUSA, L. C.; VIEIRA, C. M. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, A. C. Estudo da degradação térmica de *Eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. **Revista árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 567-576, 2013.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

TAPPI. **T204 cm-97**: Solvent extractives of wood and pulp. [S. l.]: TAPPI, 2007. Disponível em: <http://www.tappi.org/content/sarg/t204.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2020.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R. V.; SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 365-371, 2012.