



<http://pev-proex.uergs.edu.br/index.php/xsiepex/index>

ISSN do Livro de Resumos: 2448-0010

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RESÍDUO FLORESTAL DO EUCALIPTO PARA PROCESSAMENTO TERMOQUÍMICO

Ricardo Henrique Thomé DORNELES¹, Joyce Helena da Silveira¹, Victor Hugo Andreis Sebben¹, Laura Fernanda Costantin¹, Fabiano Perin Gasparin², Lúcia Allebrandt da Silva Ries¹.

¹Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

E-mails: ricardo-dorneles@uergs.edu.br; joyce-silveira@uergs.edu.br; victor-sebben@uergs.edu.br; laura-costantin@uergs.edu.br; fabiano.gasparin@ufrgs.br; lucia-ries@uergs.edu.br.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar as características físico-químicas do resíduo florestal do eucalipto e suas diferentes partes (cascas, folhas e galhos), visando seu processamento termoquímico. A análise aproximada do resíduo apresentou valores semelhantes às frações constituintes. As análises elementar e energética do resíduo demonstraram seu alto poder calorífico, comparável a outras biomassas importantes. A análise termogravimétrica mostrou três regiões principais de degradação, sendo elas: de 30 a 150 °C, de 200 a 325 °C e, 325 a 380 °C, e ainda outros dois picos em torno de 500 e 700°C. O FTIR revelou a presença de grupos funcionais relacionados aos componentes majoritários da biomassa: hemiceluloses, celulose e lignina. Os resultados obtidos demonstraram que o resíduo do eucalipto é uma excelente fonte de biomassa para processos de conversão térmica. A obtenção de produtos de maior valor agregado a partir desse resíduo contribui para o desenvolvimento econômico e a responsabilidade ambiental.

INTRODUÇÃO

Atualmente, é notória a preocupação com a escassez dos recursos naturais. Cada vez mais pesquisas e projetos que estimulam o consumo e a produção sustentável vêm sendo fomentados, bem como a redução na utilização dos recursos e a geração de energia limpa e de baixo custo. Diante disso, a indústria entra como participante ativo na aplicação de políticas e ações sustentáveis e socialmente responsáveis, uma vez que está ligada diretamente à produção de resíduos passíveis de serem explorados e usados para um novo processamento. A possibilidade de emprego desses resíduos pode significar não somente uma contribuição ambiental, mas também receita através de produtos com maior valor agregado.

Considerando os impactos sociais, ambientais e econômicos do cultivo do eucalipto, são crescentes a preocupação e o interesse mercadológico em transformar os resíduos florestais em produtos renováveis, que contribuam para o melhor aproveitamento das florestas plantadas e que possam colaborar para a consolidação de uma economia de baixo carbono (IBÁ, 2017). O processamento termoquímico é considerado uma das alternativas tecnológicas para agregar valor aos produtos oriundos dos resíduos agroflorestais, destacando-se a pirólise para a produção de bio-óleo (fase líquida) e biochar (fase sólida).

Dentro do contexto do aproveitamento da biomassa, e especificamente, o aproveitamento do resíduo florestal da colheita do eucalipto para produção de produtos de maior valor agregado (PMVA), torna-se fundamental o conhecimento das propriedades desta biomassa. As propriedades da biomassa se refletem nas características e rendimentos dos produtos obtidos, possibilitando, por exemplo, o gerenciamento das condições operacionais do processo de termoconversão e a melhoria da qualidade dos produtos obtidos.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo a avaliação das propriedades físico-químicas do resíduo florestal do eucalipto e suas partes (cascas, folhas e galhos), por meio das análises: imediata, elementar, energética, térmica e química. Com os resultados obtidos, pretende-se avaliar a qualidade do resíduo como fonte de biomassa

e as melhores condições de processamento termoquímico do resíduo para sua conversão em produtos de maior valor agregado, no caso biochar e/ou bio-óleo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo florestal do eucalipto utilizado no estudo foi coletado no horto florestal da empresa CMPC Celulose Brasil, localizado no município de Barra do Ribeiro-RS, e corresponde à espécie *Eucalyptus saligna*, aos sete anos de idade. Parte do resíduo foi dividida em cascas, galhos e folhas. As amostras foram reduzidas em um moinho de facas e peneiradas em peneira de 40 mesh. As análises foram realizadas com a biomassa residual do eucalipto e com suas diferentes partes (cascas, folhas e galhos) para uma compreensão mais aprofundada da composição e do comportamento apresentado pela biomassa residual.

As concentrações de água, matéria volátil, carbono fixo e cinzas foram determinadas em um forno mufla construído pelo próprio grupo de pesquisa, empregando as normas ASTM.

A composição elementar foi determinada através do emprego de correlações baseadas nos dados obtidos através da análise imediata, de acordo com Parikh *et al.* (2007).

Para a determinação do poder calorífico foram utilizadas equações empíricas que definem uma correlação geral entre o mesmo (em base seca) e os valores obtidos na análise imediata (Parikh; Channiwala; Ghosal, 2005).

Para a análise térmica, amostras de aproximadamente 5 mg foram postas em cadinho de alumina, em equipamento térmico simultâneo Netzsch 449 F3 Júpiter. Os ensaios foram realizados em atmosfera inerte (N₂) com taxa de fluxo de 50 mL/min, taxa de aquecimento de 20 °C/min, e temperatura variando entre 25 e 850 °C. A análise de espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) foi realizada em um espectrofotômetro Bruker Tensor II com ATR (refletância total atenuada). A faixa espectral variou de 4000 a 850 cm⁻¹ e os espectros foram obtidos com 20 scans e 4 cm⁻¹ de resolução.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta os resultados referentes à análise imediata da biomassa residual e suas partes.

Tabela 1 - Análise imediata para a biomassa residual do eucalipto e suas partes

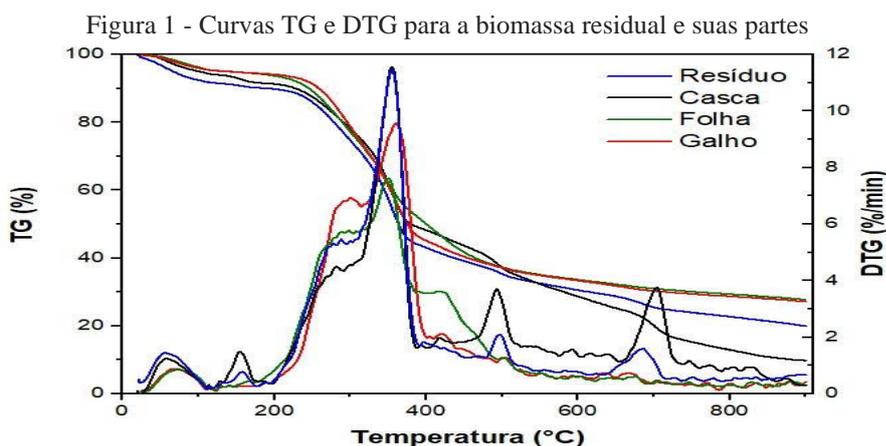
Amostra	% Umidade	% Cinzas	% Voláteis	% Carbono Fixo
Resíduo	10.1	3.9	81.1	15.0
Casca	10.2	6.2	79.9	13.9
Folha	9.1	3.7	81.0	15.3
Galho	10.4	1.9	85.1	13.0

A quantidade de água presente na biomassa pode impactar em algumas propriedades físico-químicas do material, tais como o poder calorífico, que é fortemente influenciado, sendo ambos inversamente proporcionais. No caso do teor de compostos voláteis, porcentagens maiores favorecem a formação da fase líquida (o bio-óleo), enquanto porcentagens menores são favoráveis à formação da fase sólida (o carvão vegetal). Além disso, quanto maior o teor de voláteis, maior é a reatividade do material e mais rapidamente ele entrará em combustão. O teor de cinzas reflete o conteúdo incombustível do material, isto é, minerais e compostos inorgânicos. Um elevado teor de cinzas configura um menor poder calorífico e representa impurezas que devem ser evitadas para uma melhor conversão térmica da biomassa, sem causar danos ao reator. O teor de carbono fixo é diretamente proporcional ao rendimento de carvão vegetal obtido no processo de termoconversão, e pode ser considerado um fator importante na qualificação energética do produto final, pois está diretamente relacionado ao poder calorífico (Nones *et al.*, 2015). Resultados de análise imediata realizados com a madeira de diferentes espécies de eucalipto (Silva & Ataíde, 2019; Santos, 2012) mostram valores similares aos encontrados no presente trabalho, demonstrando a viabilidade da conversão térmica da biomassa residual do eucalipto para obtenção de produtos de maior valor agregado.

A análise elementar fornece o percentual em massa de C, H, O, N e S. Para fins energéticos, em geral, biomassas com alto teor de carbono e baixo teor de oxigênio são preferidas. As amostras estudadas apresentaram valores semelhantes entre si, com valores médios de 46% para o carbono e 43% para o oxigênio. Uma comparação com diferentes biomassas lignocelulósicas revela que o resíduo do eucalipto exibe valores bastante semelhantes aos da própria madeira de eucalipto (parte nobre da planta), demonstrando o elevado valor energético deste resíduo.

A composição elementar tem relação direta com o poder calorífico, pois fornece os percentuais mássicos dos principais elementos formadores da biomassa e assim é possível relacionar com a quantidade de energia liberada na quebra das ligações químicas destes elementos. O valor médio encontrado para o poder calorífico foi de 18 MJ/kg, não sendo detectada diferença significativa entre a biomassa residual e suas partes. Comparações com a madeira de diferentes espécies de eucalipto não revelaram diferença significativa entre os valores, comprovando, mais uma vez, a viabilidade da conversão térmica da biomassa residual do eucalipto para a obtenção de produtos de maior potencial econômico.

Na Figura 1 são exibidas as curvas termogravimétricas (TG) e derivada termogravimétricas (DTG) para a biomassa residual do eucalipto e suas partes.



Conforme se pode observar, as análises térmicas do resíduo e suas partes não apresentaram diferenças expressivas, sendo possível distinguir diferentes regiões (picos nas curvas de DTG) que correspondem à perda de massa sofrida pelo material ao longo do aumento da temperatura. A primeira região (até 100 °C) é atribuída à evaporação da água e perda de alguns componentes mais voláteis presentes nos materiais. Ainda, de 100 a 200 °C, observa-se um pequeno pico que pode estar associado à degradação de extrativos. A segunda região, compreendida entre 200 e 325 °C representa a degradação das hemiceluloses (Silva *et al.*, 2017). Ainda durante esse intervalo, ocorre concomitantemente a degradação de algumas frações de lignina e celulose.

A terceira região, entre 325 e 380 °C, representa a degradação da celulose (Silva *et al.*, 2017). A celulose é responsável por cerca de metade da composição da biomassa seca, além de ser mais resistente à degradação, justificando o pico intenso na curva da derivada (DTG), na proximidade dos 350 °C (Yang *et al.*, 2007). Há ainda dois picos, um em torno de 500 °C e outro próximo de 750 °C, e os mesmos são atribuídos à lignina. Sabe-se da literatura que a lignina é degradada lentamente e por uma ampla faixa de temperatura, variando de 150 a 900 °C (Fermanelli *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2007). Segundo (Fermanelli *et al.*, 2020), depois de 450 °C não há mais degradação das hemiceluloses e celulose, o que atribuiria a massa residual à lignina remanescente.

A análise termogravimétrica, entre outras propriedades, possibilita a determinação da estabilidade térmica dos materiais estudados, bem como estimar o rendimento da fase sólida a ser obtida durante a pirólise. O rendimento obtido para casca, folha, galho e resíduo foi, respectivamente, 26,1%, 41,4%, 36,1% e 35,5%, com as cascas apresentando a maior perda de massa e as folhas, a maior massa residual, para uma temperatura de 450 °C.



A espectroscopia na região do infravermelho foi realizada para avaliação da presença de grupos funcionais orgânicos na superfície dos materiais estudados, e a atribuição das bandas foi realizada de acordo com a literatura disponível (Yang *et al.*, 2007; Quan; Gao; Song, 2019; Gautam *et al.*, 2021).

As principais bandas observadas foram relacionadas à presença dos componentes majoritários: hemiceluloses, celulose e lignina. Foram observadas bandas relativas ao grupamento O-H presente em grupos fenólicos oriundos da lignina, e em grupos hidroxílicos oriundos da água, celulose e hemiceluloses. Além disso, constatou-se a presença de bandas de ligações C-H de hidrocarbonetos aromáticos e não aromáticos, C=O presente em hemiceluloses, C=C presente em aromáticos e C-OH e C-O-C presentes em grupos oxigenados de cadeia aberta oriundos da celulose e hemiceluloses.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biomassa residual de *Eucalyptus saligna* apresenta potencial para a geração de produtos de maior valor agregado através de processamento termoquímico. Comparado com outras biomassas (residuais ou não), o resíduo da colheita do eucalipto possui propriedades que o caracterizam como uma promissora fonte de bioprodutos. Os resultados obtidos podem ser empregados no gerenciamento de parâmetros operacionais na conversão termoquímica da biomassa estudada. A utilização deste resíduo corrobora com as práticas sustentáveis ao firmar a busca por novas matérias-primas oriundas de fontes renováveis, e fomenta a implementação de práticas que aliam rentabilidade e sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS: CMPC Celulose Brasil; Lateclim/UFPE; Labsol/UFRGS; UERGS.

REFERÊNCIAS

- FERMANELLI, C. S;** CÓRDOBA, A; PIERELLA, L. B; SAUX C. Pyrolysis and copyrolysis of three lignocellulosic biomass residues from the agro-food industry: A comparative study. 2020. Waste Management, v. 102, p. 362–370.
- GAUTAM, R. K;** TECH, M. G. M; MISHRA, R. K; CHATURVEDI, P; AWASHTHI, M. K; SINGH, R. S; GIRI, B. S; PANDEY, A. Biochar for remediation of agrochemicals and synthetic organic dyes from environmental samples: A review. 2021. Chemosphere, v. 272.
- IBÁ.** Indústria Brasileira de Árvores - Relatório 2017. São Paulo-SP: [sn], 2017. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>.
- NONES, D. L.;** BRAND, M. A.; CUNHA, A. B. da.; CARVALHO, A. F. de.; WEISC, S. M. K. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. 2015. Floresta, Curitiba-PR. v. 45, n. 1, p. 57 – 64.
- PARIKH, J.;** CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. Uma correlação para calcular a composição elementar da análise aproximada de materiais de biomassa. Fuel, 2007. v. 86, n. 12–13, pág. 1710–1719. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236107000294>.
- PARIKH, J.;** CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. Uma correlação para calcular HHV a partir da análise aproximada de combustíveis sólidos. Fuel, março. 2005. v. 84, n. 5, pág. 487–494. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236104003072>.
- SANTOS, R. C. dos;** CARNEIRO, A. C. O; TRUGILHO, P. F; MENDES, L. M; CARVALHO, A. M. M. L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. Lavras-MG: Cerne, 2012. v. 18, n. 1, pág. 143–151. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74423494017>.
- SILVA, C.M.S. da;** VITAL, B. R; CARNEIRO, A. C. O; COSTA, E. V. S; MAGALHÃES, M. A. TRUGILHO, P. F. Alterações estruturais e composicionais em cavacos de eucalipto submetidos à torrefação a seco. Culturas e produtos industriais, 2017. v. 109, n. Maio, p. 598–602. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.010>.
- SILVA, F. T. M.;** ATAÍDE, C. H. Valorização da madeira de eucalipto *urograndis* via carbonização: Rendimentos e caracterização do produto. Energy, 2019. v. 172, p. 509–516.



10º Siepex Salão Integrado de Ensino,
Pesquisa e Extensão da Uergs



SONG, X; HUANG, D; ZHANG, L; WANG, H; WANG, L; BIAN, Z. Electrochemical degradation of the antibiotic chloramphenicol via the combined reduction-oxidation process with Cu-Ni/graphene cathode. 2019. *Electrochimica Acta*, v. 330.

YANG, H; YAN, R; CHEN, H; LEE, D. H; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. 2007. *Fuel*, v. 86, p. 1781-1788.