

571 – PIRÓLISE DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE BIOCÁRVÃO

Julia Couri Trevizan⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Química da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

Daniel Colombari Filho⁽²⁾

Graduando em Engenharia Química da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

Marília Vasconcellos Agnesini⁽³⁾

Engenheira Química (USP), mestre e doutora em Tecnologia Ambiental (UNAERP). Professora e pesquisadora dos cursos de graduação em Engenharia Química (UNAERP) e de pós-graduação em Tecnologia Ambiental (UNAERP). Sócia-proprietária da consultoria Agnesini & Ismail Ambiental.

Juliana Chiaretti Novi⁽⁴⁾

Graduada em Direito (UNAERP) e em Administração de Empresas e Pedagogia (Estácio), especialista em Gestão Pública e Inovação (FUNDAJ/MEC), mestre em doutora em Administração (FEARP – USP), com pós-doutoramento em Administração de Organizações (FEARP – USP). Professora e pesquisadora dos cursos de pós-graduação em Tecnologia Ambiental (UNAERP) e em Saúde e Educação (UNAERP).

Isadora Alves Lovo Ismail⁽⁵⁾

Engenheira Química (UNAERP), mestre e doutora em Tecnologia Ambiental (UNAERP). Pós-doutoranda em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC – USP). Professora e pesquisadora dos cursos de graduação em Engenharia Química (UNAERP) e de pós-graduação em Tecnologia Ambiental (UNAERP). Sócia-proprietária da consultoria Agnesini & Ismail Ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Costábile Romano, 2201 Ribeirão – Ribeirão Preto - São Paulo - 14096-900 - Brasil - Tel: +55 (16) 3603-7792 e-mail: julia.trevizan@sou.unaerp.edu.br

RESUMO

Os resíduos sólidos industriais, resultantes das atividades de transformação e produção nas indústrias, representam uma parcela significativa dos resíduos gerados globalmente. Compreendem materiais variados, como serragens, cinzas, fuligens, lodos e sobras de processos produtivos, muitos dos quais apresentam alto potencial de reaproveitamento. A valorização desses resíduos consiste em transformá-los em insumos úteis, seja por meio da reciclagem, recuperação energética ou pela conversão em novos produtos, como o biocárvão. Essa prática reduz o impacto ambiental do descarte inadequado, diminui a demanda por matérias-primas virgens e contribui para a eficiência dos processos industriais. O estudo investigou a produção de biocárvão a partir da pirólise de resíduos sólidos industriais oriundos da indústria moveleira (pó de madeira) e do setor sucroenergético (fuligem). A valorização de resíduos sólidos visa transformar materiais descartados em recursos úteis, com aplicações sustentáveis, como o biocárvão, que pode ser utilizado na agricultura, na captura de carbono e no tratamento de poluentes. A pirólise foi realizada em forno tipo mufla sob atmosfera inerte, a 500 °C, com tempos de residência de 15, 30 e 60 minutos, utilizando diferentes proporções dos dois resíduos. Os resultados mostraram que a fuligem, isoladamente, apresentou maior rendimento gravimétrico de biocárvão, sendo que menores tempos de residência favoreceram esse rendimento. A caracterização morfológica por MEV evidenciou maior desorganização estrutural nas amostras com menor tempo, enquanto o aumento do tempo favoreceu a formação de poros com paredes mais espessas. A análise elementar (EDS) indicou que as amostras com 30 e 60 minutos apresentaram teores de carbono similares, superiores à amostra de 15 minutos. Ao adotar tecnologias de valorização, como a pirólise, as indústrias não apenas mitigam os passivos ambientais, mas também criam oportunidades econômicas, promovendo uma produção mais limpa e alinhada com os princípios da economia circular. Conclui-se que a pirólise de resíduos industriais é uma alternativa viável e sustentável para a produção de biocárvão, contribuindo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, ao proporcionar o reaproveitamento de resíduos e a produção de materiais com valor agregado. O estudo reforça a importância da escolha adequada da matéria-prima e dos parâmetros do processo para otimizar a qualidade e o rendimento do biocárvão.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos sólidos, processos termoquímicos, reatores químicos, valorização de resíduos, biomassa.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são provenientes de atividades humanas na sociedade e, devido ao crescimento populacional aliado ao incremento de atividades industriais, houve um aumento considerável em sua geração. Há décadas a problemática dos resíduos sólidos vem sendo discutida, evidenciando a necessidade de sua reutilização ou reciclagem, aplicando-se o conceito de valorização de resíduos sólidos.

A valorização de resíduos busca reutilizar e dar um destino mais nobre a estes materiais que, dependendo das suas composições, podem substituir as matérias-primas tradicionais comumente comercializadas. Em escala industrial, engloba a capacidade de processar e valorizar materiais que, a princípio, eram considerados inservíveis, trazendo inúmeros benefícios para a sociedade, para o meio ambiente e para as próprias indústrias (MARTINS, MARTINS, FERRACIN e DACUNHA, 2007).

Essa valorização de resíduos representa uma estratégia essencial para a sustentabilidade ambiental, econômica e social no contexto do crescimento urbano e industrial. Com o aumento da geração de resíduos decorrente da expansão populacional e das atividades produtivas, torna-se imprescindível adotar medidas que priorizem a reutilização e o reaproveitamento de materiais anteriormente considerados inservíveis. Essa abordagem não apenas reduz a pressão sobre os aterros sanitários e os custos associados à destinação final de resíduos, como também contribui para a preservação de recursos naturais, ao substituir matérias-primas convencionais por alternativas recicladas ou transformadas.

Um dos processos utilizados para valorizar resíduos são os processos térmicos, tais como a pirólise. A pirólise é um processo físico-químico no qual a biomassa é aquecida a temperaturas em torno de 500 °C a 800 °C em atmosfera não-oxidante, dando lugar à formação de um resíduo sólido rico em carbono (biocarvão) e uma fração volátil composta de gases e vapores orgânicos condensáveis (licor pirolenhoso) (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2008).

O biocarvão é um material produzido a partir da pirólise de biomassa, amplamente utilizado em práticas agrícolas e ambientais sustentáveis. A pirólise consiste na decomposição térmica da biomassa sob condições de oxigênio limitadas ou ausentes, resultando na formação de produtos nas fases sólidas, líquidas e gasosas. Nesse processo, a restrição de oxigênio impede a combustão do carbono, dando origem ao biocarvão, um material sólido e de coloração escura. Considerado uma tecnologia eficaz de captura e armazenamento de carbono, o biocarvão contribui para a redução do CO₂ atmosférico. Além disso, graças à sua capacidade de aumentar a produtividade agrícola e adsorver substâncias poluentes, seu uso tem se expandido como alternativa sustentável aos compostos de carbono de origem fóssil. Consequentemente, diversos grupos de pesquisa vêm focando na valorização de resíduos de biomassa por meio da produção de biocarvão. Contudo, a composição elementar do biocarvão, embora predominantemente composta por carbono, varia de acordo com a matéria-prima utilizada e com as condições específicas do processo (LEHMANN, 2007; CERNANSKY, 2015; FÉLIX, AZEVEDO JÚNIOR, FREITAS, PIRES, TEIXEIRA, FRETY e BRANDÃO, 2017; MULABAGAL, BAAH, EGIEBOR, SAJJADI, CHEN, VITICOSKI e HAYWORTH, 2021; WANI, RAMOLA, GARG e KUSHVAHA, 2021; KÄTTERER, ROOBROECK, KIMUTAI, KARLTUN, NYBERG, SUNDBERG e NOWINA, 2022; LOPES, GUIMARÃES, MORO, GUIASOLA, MOYA e ASTRUC, 2022; DING, LI, ZHAO, LIN e WANG, 2023; DWIVEDI e DEY, 2023; JING, JI, LI, WANG, LI e JU, 2023; LIU, WANG, ZHAO e HU, 2023; SILVA, ALCANTARA, DE SOUZA, BEZERRA, GONÇALVES, COSTA, ALVES, MACHADO e FERREIRA, 2023).

A valorização de resíduos sólidos está diretamente alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo um modelo de economia circular e baixo carbono. Tecnologias como a compostagem, a reciclagem e os processos termoquímicos, como a pirólise, permitem transformar resíduos orgânicos e industriais em produtos com valor agregado, como fertilizantes, energia ou materiais adsorventes. No caso específico da produção de biocarvão, resíduos de origem vegetal e industrial podem ser convertidos em materiais que melhoram a qualidade do solo, capturam carbono e contribuem para práticas agrícolas mais sustentáveis. Dessa forma, a valorização de resíduos se consolida como uma prática estratégica para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos e promover o desenvolvimento sustentável.

OBJETIVOS

Produção de biocarvão a partir do processo pirolítico de resíduos sólidos provenientes das indústrias moveleira e do setor sucroenergético.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para realização do trabalho foram utilizados os resíduos sólidos provenientes das indústrias moveleira e do setor sucroenergético.

Na indústria moveleira são gerados diversos tipos de resíduos sólidos, tais como o pó de madeira, uma serragem extremamente fina, material utilizado no presente trabalho, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1: Pó de madeira proveniente da indústria moveleira.

Os resíduos provenientes do setor moveleiro foram coletados na indústria “Fabricando Arte” localizada na cidade de Ribeirão Preto – SP.

A indústria do setor sucroenergético, usina produtora de açúcar, etanol e energia elétrica, é geradora de uma gama diversificada de resíduos sólidos, como, por exemplo, a fuligem proveniente da queima incompleta do bagaço da cana-de-açúcar nas caldeiras para geração de energia elétrica. A fuligem, apresentada na Figura 2, também foi utilizada como matéria-prima na pesquisa.



Figura 2: Fuligem proveniente da queima incompleta do bagaço de cana-de-açúcar.

Os resíduos provenientes do setor sucroenergético serão coletados na “Usina São Martinho” localizada na cidade de Pradópolis – SP.

Inicialmente, determinou-se o teor de umidade presente nas amostras. Esta determinação foi realizada de acordo com a norma ABNT (NBR 9656), em triplicata. Em pesa-filtros previamente tarados, foi pesado 1,0 g de amostra

(m1). As amostras foram secas em estufa com circulação de ar a 105 °C por 4 h. Em seguida, as amostras foram transferidas para um dessecador e pesadas até massa constante. O teor de umidade foi calculado pela Equação 1:

$$\% \text{Umidade} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Equação (1)

Sendo:

- m_1 = massa inicial da amostra (g)
- m_2 = massa da amostra seca (g)

Para realização dos ensaios, utilizaram-se os resíduos secos. Os ensaios foram realizados em forno tipo mufla equipado com fluxo de nitrogênio, que tem capacidade operacional até 1000 °C. O reator tem volume aproximado de 9,0 L, com dimensões de 0,35 m de comprimento, 0,16 m de largura e 0,16 m de altura. Em cada ensaio foram utilizados 10 g de amostra. Como a composição do biocarvão se modifica de acordo com a composição da biomassa, foram avaliadas diferentes proporções de pó de madeira e fuligem para sua produção.

O biocarvão foi produzido variando-se a composição da biomassa, da temperatura e o tempo de residência, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros para produção do biocarvão.

Composição da Matéria-prima (%)		Temperatura (°C)	Tempo de residência (min)
Pó de Madeira	Fuligem		
100	0	500	15 / 30 / 60
75	25		
50	50		
25	75		
0	100		

Após a produção do biocarvão foram realizadas sua caracterização físico-química. As propriedades avaliadas até o momento foram rendimento gravimétrico, composição elementar e morfologia da superfície.

O rendimento gravimétrico relaciona a quantidade de biocarvão produzido e a quantidade de matéria-prima utilizada nos ensaios de pirólise, como pode ser observado na Equação 2.

$$\% \text{Rendimento Gravimétrico} = \frac{m_f}{m_i} \times 100$$

Equação (2)

Sendo:

- m_i = massa inicial da amostra (g)
- m_f = massa final da amostra (g)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada na avaliação da morfologia da superfície das amostras e a Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) foi utilizada para caracterização química / análise elementar das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade obtido nas amostras está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Teor de umidade obtido nas amostras de resíduos sólidos utilizadas na pesquisa.

Tipo de Resíduo	Teor de Umidade (%)
Fuligem	70,82
Pó de madeira	6,16

O teor de umidade é um dos parâmetros que mais influenciam na qualidade do produto final. Segundo Cortez et al. (2008), a quantidade de água presente é um fator muito importante por vários aspectos: abaixa o poder calorífico do bio-óleo, afeta o pH (acidez), reduz a viscosidade e influencia em sua estabilidade físico-química.

Os resíduos sólidos utilizados para realização dos ensaios estão apresentados na Figura 3 de acordo com as proporções adotadas.

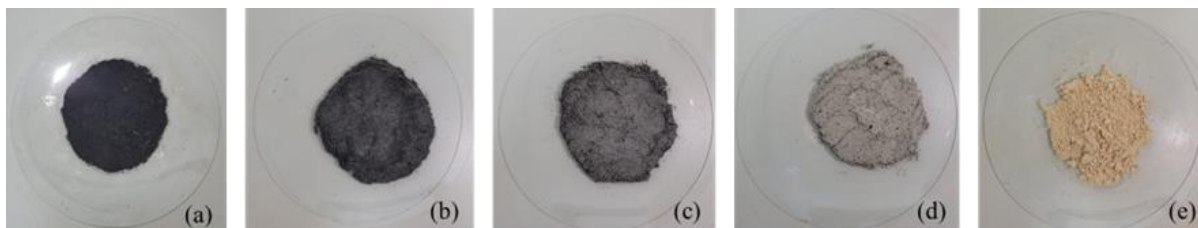


Figura 3: Resíduos sólidos utilizados nos ensaios de pirólise: (a) 100% fuligem, (b) 75% fuligem e 25% pó de madeira, (c) 50% fuligem e 50% pó de madeira, (d) 25% fuligem e 75% pó de madeira e (e) 100% pó de madeira.

O tipo de biomassa tem influência decisiva no tipo de produto resultante e nas proporções das frações sólidas, líquidas e gasosas obtidas. O reaproveitamento da biomassa com elevado teor de matéria orgânica, oriunda de resíduos da atividade industrial, se mostra uma promissora fonte de calor e de material a ser pirolizado (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2008; NICOLINI, 2013).

O biocarvão obtido nos ensaios de pirólise está apresentado na Figura 4.

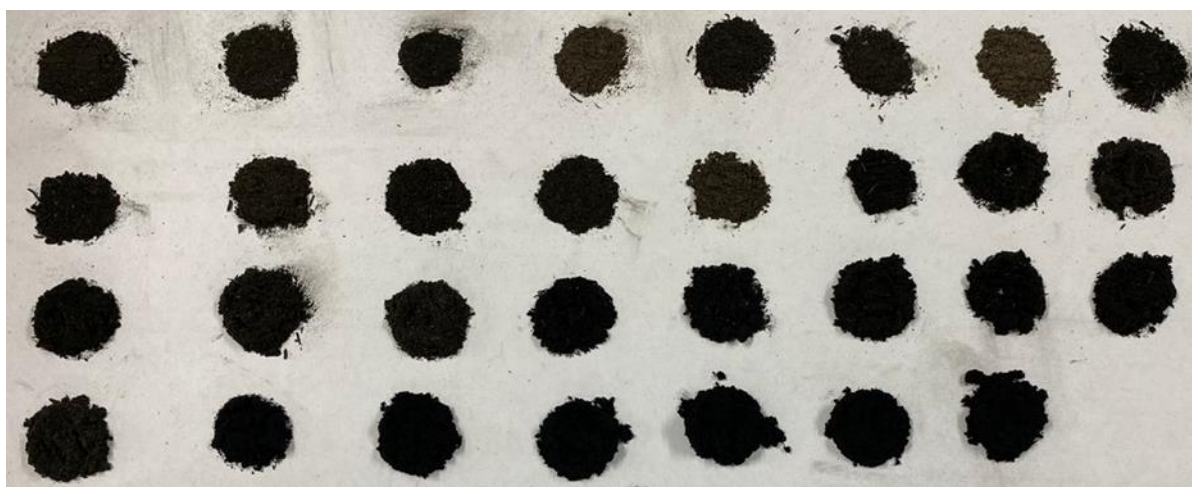


Figura 4: Biocarvão obtido nos ensaios de pirólise.

Nota-se que, pela Figura 4, apenas visualmente não é possível verificar diferenças consideráveis nos biocarvões produzidos.

Os resultados obtidos nos ensaios de pirólise para o rendimento médio de biocarvão estão apresentados na Figura 5, com diferentes tempos de residência.

De acordo com os parâmetros utilizados para realização dos ensaios (temperatura de 500 °C e tempos de residência de 15, 30 e 60 minutos), pode-se afirmar que o processo de pirólise utilizado foi o convencional, onde há a formação de biocarvão, bio-óleo e gases (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2008).

É possível verificar, pela Figura 5, que quanto maior a presença do pó de madeira, menor o rendimento médio de biocarvão, ou seja, a maior presença de fuligem favorece a formação de biocarvão.

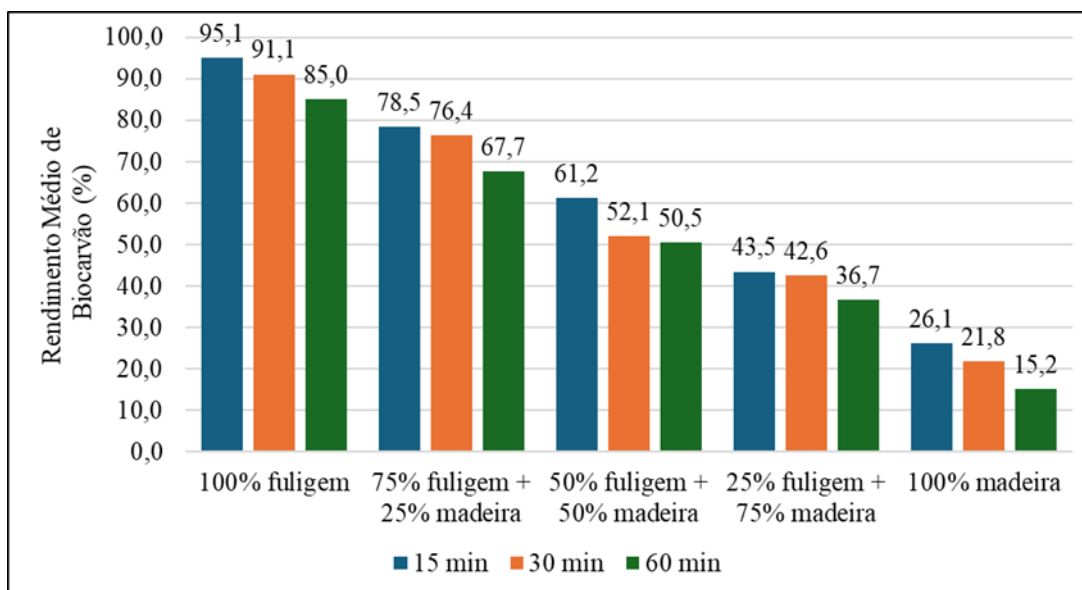


Figura 5: Rendimento Médio de Biocarvão obtido nos ensaios de pirólise para diferentes composições de biomassa e tempos de residência na temperatura de 500 °C.

Outro ponto que merece destaque é que, quanto menor o tempo de residência, maior o rendimento médio de biocarvão. Logo, para este estudo, tempos de residência mais elevados não são favoráveis para produção de biocarvão. No entanto, é necessário avaliar as características do biocarvão produzido. Para isso, foram realizadas análises de MEV.

A Figura 6 apresenta um dos melhores resultados obtidos para MEV. A amostra utilizada era composta por 75% fuligem e 25% pó de madeira, a 500 °C, com diferentes tempos de residência (15, 30 e 60 minutos).

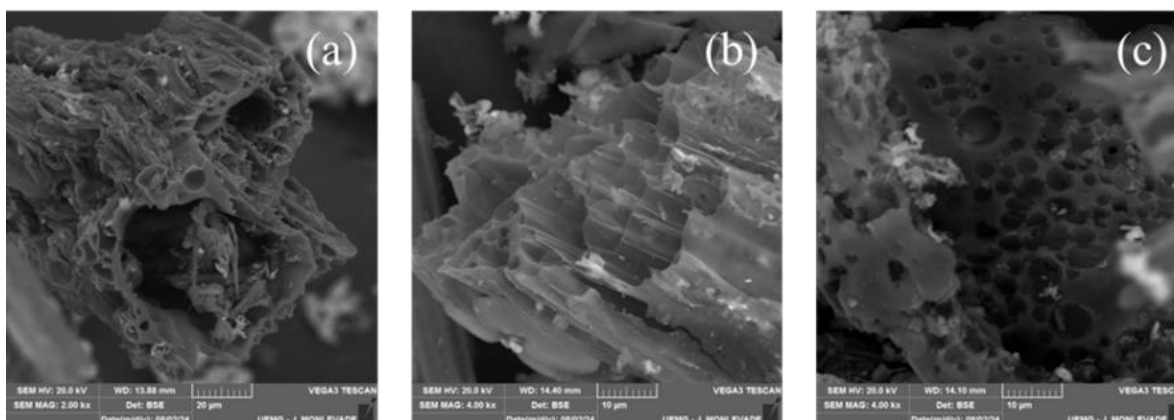


Figura 6: Resultados obtidos para MEV para amostras compostas de 75% fuligem e 25% madeira, com 15 (a), 30 (b) e 60 (c) minutos a 500 °C.

Visualmente, pela Figura 6, é possível observar a formação de poros devido ao processo de pirólise, evidenciando as alterações morfológicas ocorridas.

No biocarvão pirolizado a 500 °C com 15 minutos (a) houve um maior desarranjo estrutural, com uma superfície heterogênea com aparência rugosa, apresentando cavidades de diferentes tamanhos. Nota-se que houve a formação de poros maiores e com paredes mais finas no biocarvão pirolizado a 500 °C e com 30 minutos (b), ao passo que o biocarvão obtido nas condições de 60 minutos de residência (c) a 500 °C apresentou poros menores, com parede celular mais espessa (BARBOSA, SILVA, ROCHA, ASSIS e PASSOS, 2016; BERNI, DE CESARO, SCHEUFELLE e VIEIRA, 2018).

A Figura 7 apresenta um dos melhores resultados obtidos para EDS, nas mesmas condições da amostra apresentada na Figura 6 (amostra utilizada era composta por 75% fuligem e 25% pó de madeira, a 500 °C, com diferentes tempos de residência (15, 30 e 60 minutos)).

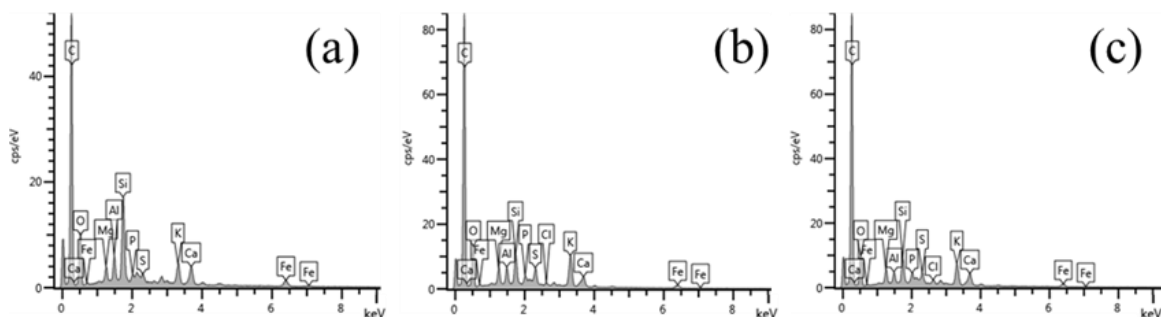


Figura 7: Resultado obtido para EDS para amostras compostas de 75% fuligem e 25% madeira, 15, 30 e 60 minutos a 500 °C.

Pela Figura 7 foi possível realizar a análise elementar do biocarvão obtido. O maior interesse para produção do biocarvão é na quantidade de carbono apresentada. Sendo assim, nota-se que o biocarvão obtido com 15 minutos de residência (a) foi o que apresentou menor teor de carbono fixo quando comparado com os demais. A análise elementar dos biocarvões obtidos nos ensaios de 30 minutos (b) e 60 minutos (c) foi praticamente a mesma, com valores muito próximos principalmente para carbono.

Sendo assim, os biocarvões pirolisados a 500 °C com tempos de residência de 30 e 60 minutos apresentaram características parecidas, mas com diferença no rendimento médio e em sua morfologia. Portanto, sugere-se a realização de ensaios do índice de azul de metileno para a obtenção de estimativas sobre a qualidade de mesoporos presentes nos biocarvões.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos mostram que a amostra composta somente por fuligem apresentou um rendimento maior para produção de biocarvão e que quanto menor o tempo de reação, maior esse rendimento.

O biocarvão produzido com menor tempo de residência apresentou um maior desarranjo estrutural. Em contrapartida, os biocarvões produzidos com tempos de residência mais elevados apresentaram formação de poros maiores. A análise elementar mostrou que os biocarvões produzidos com 30 e 60 minutos apresentaram praticamente a mesma quantidade de carbono fixo em sua composição.

O estudo realizado se mostra promissor, uma vez que tais resíduos industriais são muitas vezes encaminhados para o campo, como a fuligem, ou para aterros industriais, como o pó de madeira. Além de aumentar a vida útil de aterros industriais e economizar com transporte de materiais até as lavouras, pode-se produzir um material com valor agregado e que seja ambientalmente correto.

Portanto, tendo em vista a necessidade de redução, reaproveitamento, reciclagem e não geração de resíduos sólidos, a valorização desses resíduos torna-se essencial e indispensável, visando agregar valor aos resíduos sólidos gerados pelas indústrias moveleiras e do setor sucroenergético, atingindo metas que fazem parte dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, C. F., SILVA, R. W., ROCHA, L. P., ASSIS, J. C. C. F., PASSOS, R. R. Características Físicas de Biocarvões de Palha de Café Produzidos a 350 e 600 °C. *Agroecol.* Dourados – MS, 2016.
- BERNI, J. V., DE CESARO, J. P. V., SCHEUFELLE, F. B., VIEIRA, M. F. Produção e Caracterização de

Carvão Ativado proveniente do Carço de Açai. *XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química e XVII Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia Química*. São Paulo – SP, 2018.b

CERNANSKY, R. Agriculture: state-of-the-art soil. *Nature*, v. 517, n. 7534, pp. 258–260, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/517258a>. PubMed PMID: 25592517

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. *Biomassa para energia*. Campinas: Editora Unicamp, 2008. 732 p.

DING, X., LI, G., ZHAO, X., LIN, Q., WANG, X. Biochar application significantly increases soil organic carbon under conservation tillage: an 11-year field experiment. *Biochar*, v. 5, pp. 28, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42773-023-00226-w>

DWIVEDI, S., DEY, S. Review on biochar as an adsorbent material for removal of dyes from waterbodies. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 20, n. 8, pp. 9335–9350, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-022-04364-9>

FÉLIX, C.R. O., AZEVEDO JÚNIOR, A.F., FREITAS, C.C., PIRES, C. A. M., TEIXEIRA, V., FRETY, R. BRANDÃO, S. T. “Pirólise rápida de biomassa de eucalipto na presença de catalisador Al-MCM-41”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 22, e-11915, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170005.0251>

JING, H., JI, L., LI, Z., WANG, Z., LI, R., JU, K. Zn/Fe bimetallic modified *Spartina alterniflora*-derived biochar heterostructure with superior catalytic performance for the degradation of malachite green. *Biochar*, v. 5, pp. 29, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42773-023-00227-9>

KÄTTERER, T., ROOBROECK, D., KIMUTAI, G., KARLTUN, E., NYBERG, G., SUNDBERG, C., NOWINA, K. R. Maize grain yield responses to realistic biochar application rates on smallholder farms in Kenya. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 42, n. 63, pp. 63, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-022-00793-5>

LEHMANN, J. A handful of carbon. *Nature*, v. 447, n. 7141, pp. 143–144, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/447143a>. PubMed PMID: 17495905.

LIU, F., WANG, S., ZHAO, C., HU, B. Constructing coconut shell biochar/MXenes composites through self-assembly strategy to enhance U(VI) and Cs(I) immobilization capability. *Biochar*, v. 5, pp. 31, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42773-023-00231-z>

LOPES, R.P., GUIMARÃES, T., MORO, M.M., GUIASOLA, E., MOYA, S., ASTRUC, D. Magnetic biochar-supported Pd nanoparticles as a peroxidase-like catalyst. *Waste and Biomass Valorization*, v. 13, n. 8, pp. 3629–3637, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-022-01740-x>

MARTINS, F.; MARTINS, J.; FERRACIN, L.; DACUNHA, C. Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of a Kraft pulp and paper mill. *Journal of Hazardous Materials*, v. 147, n. 1–2, p. 610–617, ago. 2007.

MULABAGAL, V., BAAH, D.A., EGIEBOR, N.O., SAJJADI, B., CHEN, W-Y., VITICOSKI, R. L., HAYWORTH, J. S. Biochar from biomass: a strategy for carbon dioxide sequestration, soil amendment, power generation, CO₂ utilization, and removal of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the environment. In: Lackner, M., Sajjadi, B., Chen, WY. (eds), *Handbook of climate change mitigation and adaptation*, New York, USA, Springer, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-6431-0_80-2

NIKOLINI, K. P. *Pirólise de Biomassa em Baixas Temperaturas*. Campinas – SP. Editora Átomo, 2013.

SILVA, H. D. M., ALCANTARA, G. U., DE SOUZA, L. Z. M., BEZERRA, A. C. S., GONÇALVES, E. P., COSTA, G. H. G., ALVES, A. B., MACHADO, A. R. T., FERREIRA, O. E. Produção e caracterização do biocarvão obtido de palha de cana-de-açúcar. *Matéria. (Rio de Janeiro.)* 28 (4), 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2023-0218>

TREVIZAN, J. C., COLOMBARI FILHO, D., MACHADO, A. R. T., AGNESINI, M. V., SCHALCH, V., ISMAIL, I. A. L. Produção de Biocarvão através do Processo Pirolítico de Resíduos Industriais. *25º Congresso de Iniciação Científica e Pesquisa da UNAERP*. Ribeirão Preto – SP, 2024.

WANI, I., RAMOLA, S., GARG, A., KUSHVAHA, V. Critical review of biochar applications in geoenvironmental infrastructure: moving beyond agricultural and environmental perspectives. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021. In press. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-021-01346-8>