

FLUIDIZAÇÃO E SECAGEM DO CAROÇO DE AÇAÍ PARA APLICAÇÕES EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

Yasmin d. C. Santos¹ (IC), Hugo Perazzini (PQ)¹

¹Núcleo de Estudos em Sistema Particulados (NESP), Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Biomassa. Energia limpa. Resíduos. Secador de leito fluidizado.

Introdução

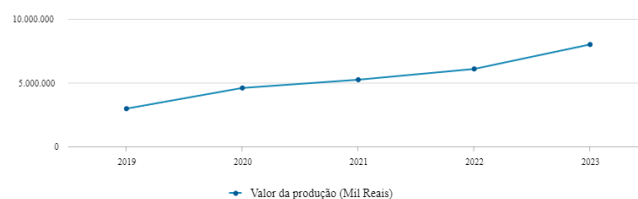
O elevado desenvolvimento econômico e social da população mundial, desencadeia a necessidade de maiores produções e consumo de matéria-prima e energia, proveniente principalmente de recursos não renováveis, como petróleo e gás natural. O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) previu para 2024, um aumento de R\$ 1,4 trilhão em investimentos energéticos, sendo 70,6% destinados ao petróleo e gás natural e apenas 2,6% para outras fontes de energia.

Por outro lado, há uma necessidade crescente de investimento em produção de energias renováveis a partir da biomassa de resíduos agroindustriais.

O açaí tem ganhado grande atenção no mercado consumidor devido ao seu alto teor de antioxidantes que trazem muitos benefícios à saúde humana. Com o aumento da popularidade e comércio da fruta amazonense, sua produção em valor atingiu mais de R\$ 8.000.000,00 (Figura 1), revelando uma ascensão significativa quando comparada aos anos anteriores (IBGE, 2023). O açaí é uma fruta esférica, sésil, drupáceo e com coloração violeta negra, que desabrocha em forma de cachos em palmeiras nativa das várzeas da América do Sul e Central, conhecidas como açazeiro (MIRANDA et. al., 2022). A fruta se destaca pelo seu alto valor nutricional, já que é rica em lipídios, proteínas, fibras e antocianinas (NAGATA et. al., 2024;). O açaí é composto por 3 partes principais: a polpa, o caroço e as fibras. A polpa é parte comestível que corresponde a aproximadamente 17% da massa total do açaí. Já o caroço é denominado endocarpo que equivale em torno de 83% da fruta, rico em material orgânico. Por fim, o caroço é envolvido por um fino tecido fibroso, rico em lignina, que faz com que sua decomposição seja lenta (MIRANDA et. al., 2022). Nas indústrias produtoras de açaí, apenas a polpa é utilizada para fins de consumo, tornando o caroço um subproduto, que geralmente é utilizado como material de aterro em obras ou acumulado em grande escala na vizinhança dos estabelecimentos comerciais, poluindo o

solo, acarretando na proliferação de animais e vetores de doenças, odor desagradável, prejudicando a qualidade de vida da população local ou diretamente despejados em lixões, o que ocorre com 70% de açaí produzido, ocasionando um chorume específico devido a alta DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). (MIRANDA et. al., 2022; BUFALINO, et. al., 2018). Miranda et. al. (2022), ao realizar um estudo sobre o descarte e destino final do caroço de açaí na Amazônia, relatou que são descartados diariamente em Macapá e Santana cerca de 24.455 mil kg de caroço por dia, sendo 11.580 mil kg destinados a olarias, 4.050 mil kg são despejados em lagos e terrenos baldios, 3.085 mil kg são destinados a lixões a céu aberto ou aterros controlados, 1.600 mil kg são usados como adubo e o destino final de 4.140 mil kg é desconhecida. A utilização do caroço de açaí como biomassa para fins energéticos, além de contribuir com a diversificação da matriz energética brasileira, proporciona uma gestão ambiental adequada dos resíduos que são destinados incorretamente no meio ambiente.

Figura 1 - Série Histórica do Valor da Produção do Açaí.



Fonte: Adaptado de IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, censo brasileiro de 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acai-cultivo/br>. Acesso em: 19 set. 2024.

A realização de estudos acerca da reutilização de biomassa se torna cada vez mais relevante nos dias atuais. Uma pesquisa de interesse prático neste tema, é a secagem da biomassa, com o objetivo de reduzir sua umidade inicial para produção de bioenergia, visando o aumento significativo da eficiência deste processo. Os tipos de secadores mais empregados e com um acervo grande na literatura são principalmente do tipo rotativo, esteira transportadora, pneumático e leito fluidizado. No entanto, não foram encontradas pesquisas publicadas

sobre a secagem do caroço de açaí em leito fluidizado.

No secador de leito fluidizado, as partículas da biomassa úmida são fluidizadas com auxílio de ar quente com escoamento ascendente a uma determinada velocidade mínima de fluidização. Em consequência, todo o material particulado é bem misturado e envolvido pelo gás, favorecendo uma elevada transferência de massa e calor por convecção e altas taxas de evaporação de água, garantindo uma elevada eficiência energética de secagem (LAW; MUJUMDAR, 2015; GUPTA; SATHIYAMOORTHY, 1998).

O objetivo do presente trabalho é estudar a secagem em leito fluidizado do caroço de açaí em condições operacionais, visando a máxima eficiência energética da operação. Os resultados foram analisados para verificar semelhanças entre o que foi obtido em laboratório com o que é descrito em literatura sobre o comportamento do secador de leito fluidizado, e assim descrever possíveis melhorias para o equipamento proposto para a secagem.

Metodologia

1. Caroço de Açaí

Para a realização dos experimentos, foi utilizado o caroço de açaí (Figura 2), coletado da etapa de extração da polpa e fornecido diretamente por um fabricante de polpa de açaí. Antes dos experimentos, foi necessário umidificar o material a fim de garantir a mesma umidade inicial do resíduo *in natura*. Para isso, foram separados 25 caroços de açaí, que apresentaram massa entre 0,95 - 1,30 g cada, e imersos em um recipiente com água destilada à temperatura ambiente (27°C) por um período de 24 h. Em seguida, as partículas foram colocadas em peneiras suspensas para a completa remoção de água superficial e em excesso. Para facilitar a fluidização dos grãos, a fibra foi retirada manualmente.

Figura 2 - Caroço de açaí utilizado nos experimentos de secagem.

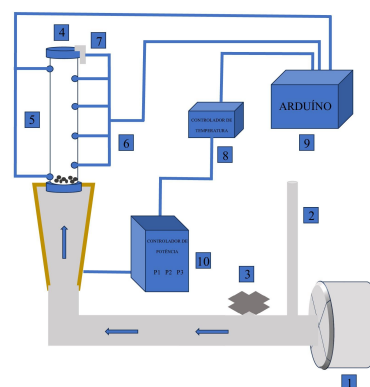


Fonte: Autor, 2024.

2. Unidade Experimental de Secagem

O esquema da unidade experimental de secagem por fluidização está apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Unidade experimental de secagem por fluidização: compressor radial (1), bypass (2), válvula de gaveta (3), célula de secagem (4), transdutor (5), termopar (6), sensor de umidade (7), controlador de temperatura (8), placa arduino (9), controlador de potência (10)



Fonte: Autor, 2024.

3. Metodologia experimental

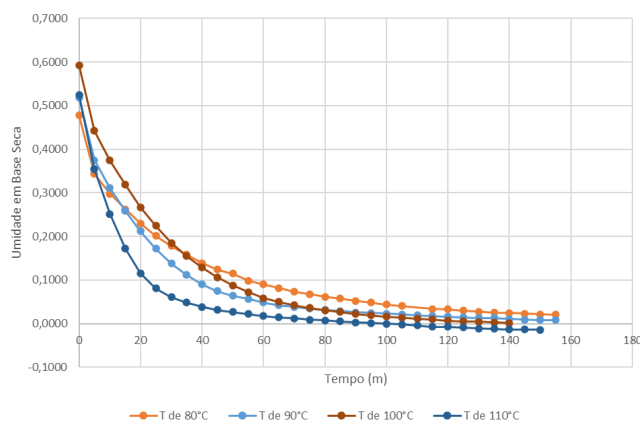
Os experimentos de secagem por fluidização foram realizados em triplicata nas condições de temperatura do ar de 80, 90, 100 e 110°C. Inicialmente, o equipamento foi ligado e ajustada a condição operacional desejada. Após o equilíbrio térmico ter sido atingido, as partículas úmidas foram adicionadas na célula de secagem, ocupando uma altura de 2 cm na célula. Uma vez a célula carregada, a mesma foi encaixada na tubulação de escoamento de ar, dando início ao experimento de secagem.

A cada 5 minutos, a célula com a biomassa foi pesada e os dados de temperatura e pressão no leito foram adquiridos. Esse procedimento se repetiu até a estabilização completa da massa do sistema (célula e biomassa). Quando a estabilização foi atingida, o caroço de açaí foi transferido para uma placa de petri, pesados e levados para uma estufa a 105 °C por 24 h. Após esse período, a biomassa foi colocada em um dessecador para resfriamento por 30 min e por fim, pesadas para a determinação da umidade.

Resultados e discussão

A figura 4 apresenta os resultados dos experimentos de secagem de umidade de base seca do resíduo do açaí em função do tempo.

Figura 4 - Umidade em função do tempo.

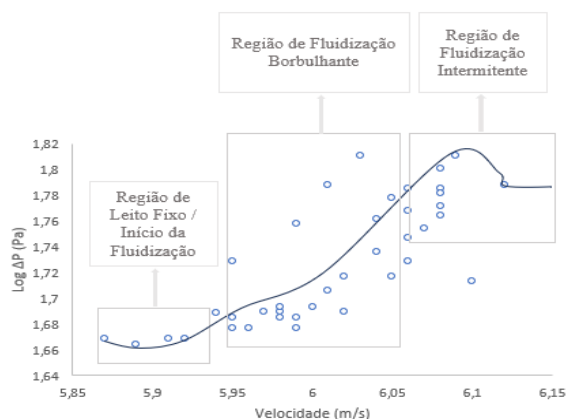


Fonte: Autor, 2024.

O caroço de açaí leva um tempo máximo de 3 horas e 30 minutos (190 minutos) para sua secagem finalizar completamente na temperatura de 80°C. Nessa condição, a umidade demorou mais tempo para estabilizar, decaindo gradualmente ao longo do tempo. Para maiores temperaturas como a de 110°C, a umidade se estabiliza em menor tempo, e o seu decaimento é rápido. Temperaturas maiores favorecem uma maior evaporação de água do caroço de açaí, sendo possível obter uma secagem mais rápida.

Nos experimentos de secagem, a velocidade mínima de fluidização utilizada nos experimentos variou de 5,96 a 7,9 m/s. A retirada das fibras do açaí facilitou a fluidização dos grãos, pois com a presença delas, as partículas se uniam, formando um emaranhado de difícil fluidização. Na Figura 5 pode-se verificar o comportamento da queda de pressão no leito em função da velocidade superficial do ar durante a secagem com temperatura de 80°C. A fluidização esperada (homogênea) ocorreu após a região de aumento contínuo da queda de pressão no leito, denominada de região de fluidização intermitente.

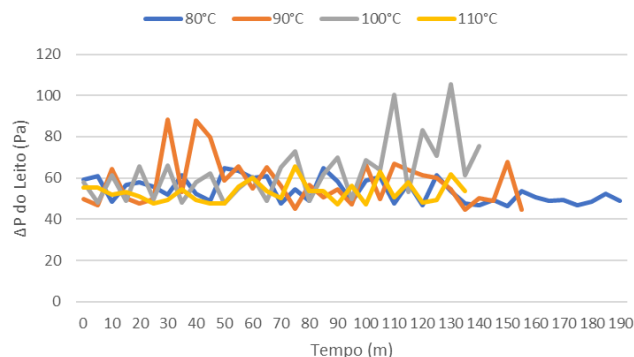
Figura 5 - Curva de fluidização (queda de pressão em função da velocidade superficial do ar).



Fonte: Autor, 2024.

Em todos os experimentos realizados, o caroço de açaí apresentou o comportamento esperado de fluidização borbulhante, ou seja, as partículas não ficam totalmente em suspensão (fluidização turbulenta), porém são fluidizadas, mesmo com escoamento preferencial de ar. No início, quando a biomassa ainda apresentava bastante água, não foi verificada uma fluidização homogênea. Porém, à medida que a água era evaporada, a fluidização se tornava intermitente, com mais movimentação que a borbulhante. Vale ressaltar, que durante essa fase, pequenas partículas do caroço, como restos de fibras e cascas, foram arrastadas com o ar. Dessa forma, é necessário um cuidado adicional com o controle de material particulado emitido durante a fluidização. Algumas partículas permanecem suspensas/presas na tela de saída da célula, enquanto outras que não ficaram retidas, são perdidas para o ambiente. Devido a isso, os resultados apresentados na Figura 6 mostram ruídos nos valores de queda de pressão em função do tempo, porém, a queda de pressão se mantém em um valor médio, justificando a fluidização.

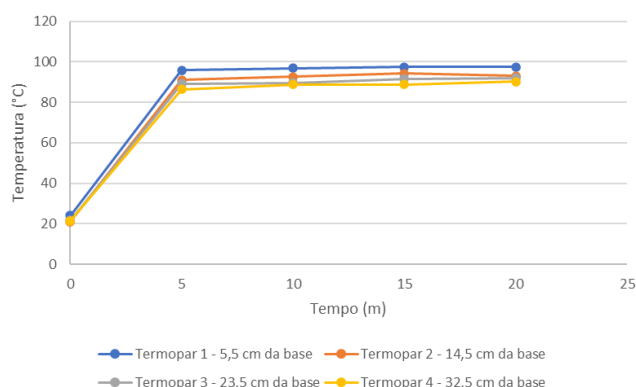
Figura 6 - Velocidade x Queda de Pressão.



Fonte: Autor, 2024.

A Figura 7 mostra, como exemplo, o perfil de temperatura no leito para condição de 100°C. Resultados semelhantes também foram verificados para as demais condições operacionais estudadas. Como é possível verificar, a temperatura do leito aumenta ao longo do tempo, à medida que a água é evaporada do caroço de açaí. Um ponto importante a se destacar, é que a temperatura do leito atinge o equilíbrio muito mais rápido que a umidade do sólido, nessa mesma condição de temperatura de entrada do ar. Isso indica que a secagem do caroço do açaí é controlada pela difusão de umidade no interior da partícula. Essa resistência imposta pela difusão é minimizada pelo aumento da temperatura do ar e, como foi anteriormente discutido, temperaturas maiores favoreceram uma secagem mais rápida, indicando que a resistência à difusão foi minimizada. Em termos práticos, a minimização dessa resistência.

Figura 8 - Temperatura x Tempo.



Fonte: Autor, 2024.

Conclusões

Neste trabalho, foi apresentado um estudo da secagem do caroço de açaí em leito fluidizado para diferentes temperaturas de entrada de ar.

A velocidade mínima de fluidização ficou entre 5,96 e 7,9 m/s, obedecendo, portanto, um escoamento de fluidização borbulhante. Temperaturas maiores favorecem uma maior evaporação de água e, logo, uma secagem mais rápida. A temperatura do leito atingiu o equilíbrio mais rapidamente do que a umidade, indicando que a secagem do caroço de açaí em leito fluidizado é controlado pela resistência à transferência de massa que precisa ser minimizada com o aumento da temperatura para uma secagem mais eficiente. Apesar de serem necessários estudos futuros de otimização do processo, o leito fluidizado se mostrou um equipamento adequado para a secagem dos resíduos de açaí, sendo interessante seu uso nas etapas de pré-tratamento da biomassa para produção de bioenergia.

Agradecimentos

A autora agradece a orientação e assistência do Professor Hugo Perazzini durante todo o período da pesquisa e aos colegas participantes do NESP - Núcleo de Estudos em Sistemas Particulados por toda convivência e companheirismo. Também agradece a toda sua família e amigos, por estarem a seu lado em mais um desafio da graduação. Por fim, a estudante agradece a oportunidade de pesquisa e o apoio financeiro oferecido pelo PIBIC e todo o suporte para andamento e conclusão do estudo pela Universidade Federal de Itajubá. Os autores agradecem a FAPEMIG pelo suporte financeiro ao projeto APQ-02427-21.

Referências

BUFALINO, L.; GUIMARÃES, A. A.; SILVA, B. M. DA S. E.; SOUZA, R. F. F. DE.; MELO, I. C. N. A. DE.; OLIVEIRA, D. N. P. S. DE O.; TRUGILHO, P. F. Local variability of yield and physical properties of açaí waste and improvement of its energetic attributes by separation of lignocellulosic fibers and seeds. **Journal of Renewable and Sustainable Energy** **10**, 17 set. 2018. Disponível em: <<https://pubs.aip.org/aip/jrse/article-abstract/10/5/053102/1017499/Local-variability-of-yield-and-physical-properties?redirectedFrom=fulltext>>. Acesso em: 25 set. 2024

GUPTA, Chiranjib Kumar; SATHIYAMOORTHY, D. Fluid bed technology in materials processing. CRC press, 1998.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. [Brasília]: Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética: dez. 2015. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2024#:~:text=N%C3%A3o%20obstante%20a%20maior%20relev%C3%A2ncia,%2C%20de%20cerca%20de%209%25>>. Acesso em: 19 set. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de Açaí (Cultivo). Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acai-cultivo/br>>. Acesso em: 19 set. 2024.

LAW, C. L.; MUJUMDAR, A. S. Fluidized Bed Dryers. In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. p. 162-186.

MIRANDA, L. DE V. A.; MOCHIUTTI, S.; CUNHA, A. C. DA.; CUNHA, H. F. A. Descarte e destino final de caroços de açaí na Amazônia Oriental - Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/asoc/a/xLtkfCv9jZpzyYzhBwsMwDv/?lang=pt>>. Acesso em: 25 set. 2024

NAGATA, G. A.; COSTA, T. V.; PERAZZINI, M. T. B.; PERAZZINI, H. Coupled heat and mass transfer modelling in convective drying of biomass at particle-level: Model validation with experimental data. **Renewable Energy**, v. 149, p. 1290-1299, abr. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148119316210?via%3Dihub>>. Acesso em: 26 set. 2024