



CARACTERIZAÇÃO E SECAGEM CONVECTIVA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA OBTIDA DO BAGAÇO DA LARANJA

MARIANA CÉSAR, PAULA A. TAVARES, BRUNO F. COELHO, ARIANY B. S. COSTA,
ROBSON C. SOUSA*

Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias

*e-mail: robson.sousa@ufes.br

RESUMO – Estima-se que cerca de 50% do peso da laranja é resíduo com elevado potencial para ser aproveitado como biomassa lignocelulósica. Neste sentido, analisou-se a secagem do bagaço da laranja no secador convectivo com escoamento horizontal de modo analisar a influência das condições operacionais de trabalho. Primeiramente, o bagaço foi caracterizado quanto a análise imediata e composicional. A secagem foi realizada nas condições operacionais variando a velocidade e a temperatura do ar. Os resultados da caracterização foram satisfatórios e condizentes com a literatura, os quais comprovaram características lignocelulósicas. Os resultados da cinética de secagem demonstraram que o aumento da temperatura e da velocidade do ar influenciam na secagem, porém a resistência interna à difusão foi predominante, comprovada pela análise estatística do planejamento fatorial. A previsão dos dados experimentais analisada pelos modelos propostos nesse trabalho mostrou que o modelo de Page foi selecionado como o mais adequado para prever o fenômeno de secagem com R^2 próximo da unidade e com desvios quadráticos médios inferiores a 0,006 para todas as condições estudadas.

INTRODUÇÃO

O Brasil, além de ser considerado um país agroindustrial, é o maior produtor de laranja do mundo, com ênfase na região sudeste dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo, ganhando destaque na produção, exportação e processamento do fruto (Prado *et al.*, 2016). De acordo com o Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus, 2020), o Brasil contribuiu com uma produção de 262,97 milhões de caixas do fruto na safra de 2021/22.

Por consequência da elevada produção de laranja, grandes volumes de resíduos agroindustriais são gerados por meio do processamento de indústrias alimentícias e, principalmente, de bebidas. (Zanetti, 2017). Estima-se que aproximadamente 50% do peso da fruta fresca é disposto de forma incorreta na natureza, gerando um resíduo que pode ocasionar a contaminação do solo e de águas

(Barbosa, 2020). A contaminação ocorre devido a composição química dos rejeitos, que ao entrar em processo de decomposição provocam mal cheiro no ambiente e um acúmulo de oxigênio nas águas causando um desequilíbrio ecológico (Pereira, 2017).

Portanto, tratar esse tipo de resíduo como biomassa lignocelulósica é uma possível alternativa que vem sendo pauta de diversos estudos, dentre eles podemos destacar Tacon (2018), que avaliou o potencial energético do bagaço da laranja para diferentes tipos de processamento, Benevides (2015) que realizou um estudo cinético da reação de pirólise do bagaço da laranja e Barbosa (2020) que realizou a secagem do bagaço da laranja em leito fluidizado para o uso em combustão.

Entretanto, assim como em muito tipo de biomassa, a água está presente de forma significativa no bagaço da laranja, constituindo cerca de 85% em b.u do resíduo (Silva *et al.*, 2020), dependendo da espécie e produção do

fruto. Essa elevada umidade influencia negativamente no poder calorífico da biomassa, visto que o aumento deste parâmetro implica em uma redução na eficiência do processo por demandar mais energia para que a água contida no meio evapore, necessitando de mais gasto combustível (Carvalho, 2019). Devido a essa relação, a secagem torna-se uma etapa importante que deve ser considerada e avaliada como forma de pré-tratamento na produção de bionergia (Benevides, 2015).

A umidade contida no material é suscetível à fatores intrínsecos do material e especialmente das condições externas do ar de secagem, como temperatura e velocidade do ar de secagem (Polesek- Karczewska et al., 2018). Para auxiliar na compreensão dessas variáveis que exercem influência na secagem, os modelos teóricos, empíricos e semiempíricos são propostos na literatura para prever a cinética de secagem e colaborar com o desempenho do processo. As equações de Handerson & Pabis, Lewis, Page e o modelo Logarítmico são exemplos de modelos que podem ser empregados devido à sua simplicidade com ajuste aos dados experimentais (Araújo, 2016).

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a secagem do bagaço da laranja no secador convectivo com escoamento horizontal em função das condições operacionais estabelecidas pela velocidade e temperatura do ar de secagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A matéria-prima utilizada foi a laranja da espécie *Citrus Sinensis* fornecidas pelos produtores do município de Jerônimo Monteiro – ES. Para a preparação das amostras selecionou-se o epicarpo e mesocarpo para ser tratado como bagaço da laranja. Feita essa seleção, o material foi triturado e posteriormente peneirado em um agitador magnético usando um conjunto de peneiras da série Tyler para a padronização da granulometria. Por fim, as amostras foram armazenadas e congeladas a temperatura constante à $-5,0^{\circ}\text{C}$.

Caracterização da biomassa: análise imediata e composicional

A caracterização das amostras foram feitas com base na análise imediata e na análise composicional. A análise imediata do bagaço da laranja foi determinada de acordo com as normas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Normas adotadas para análise imediata da casca da laranja

Análise	Norma
Teor de umidade	ASTM E 871-82
Teor de material volátil	ASTM E 872-82
Teor de cinzas	ASTM E 1755-01

Para determinar o teor de carbono fixo, utiliza-se a Equação 1:

$$CF = 100 - (T_v + T_c) \quad (1)$$

A análise composicional foi obtida seguindo as normas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Normas adotadas para análise química da casca da laranja

Análise	Norma
Extrativos	TAPPI 204 om-88
Lignina	ASTM D1106-56
Holocelulose	ASTM D1104-56
Alfa-celulose	ASTM D1103-60

O teor de hemicelulose foi obtido indiretamente, por meio da Equação 2:

$$H_e = H_o - C_a \quad (2)$$

Descrição do secador convectivo

Para a realização dos experimentos foi utilizado um secador convectivo com escoamento horizontal, conforme mostrado na Figura 1. O secador possui uma câmara de secagem com dimensões 243,3 x 41,3 x 41,3 cm

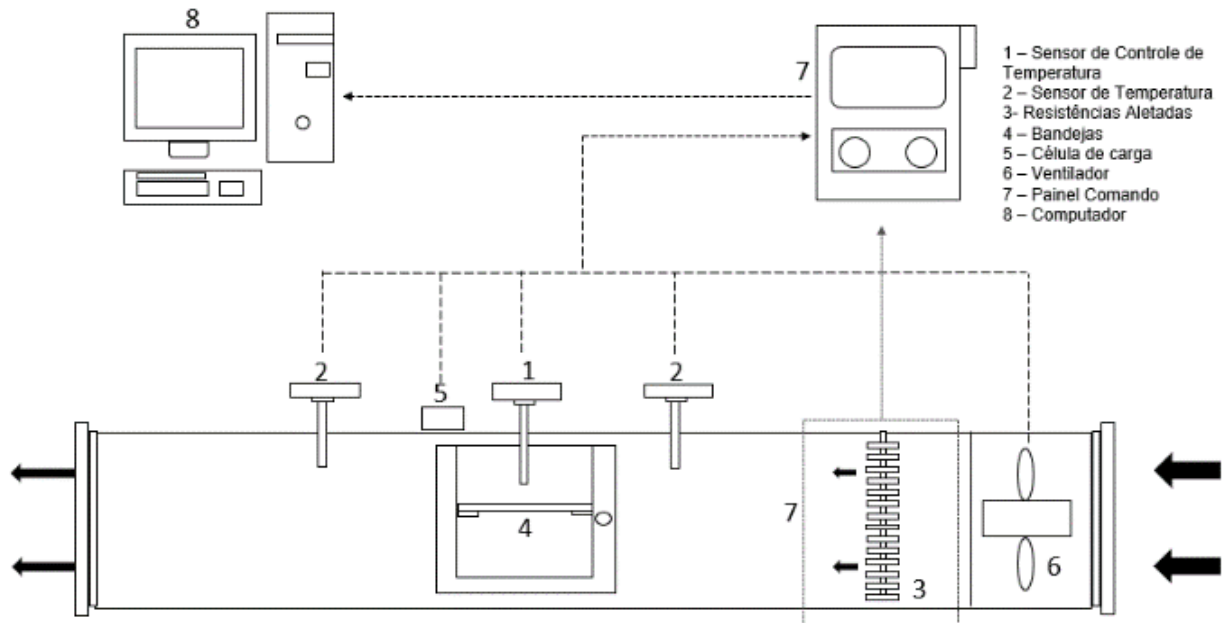


Figura 1 – Secador convectivo túnel de vento

(1), ventilador de 40 cm de diâmetro e potência de 300W (6), célula de secagem para disposição da bandeja, nove resistências aletadas com potência de 1500 W (3). A temperatura e a velocidade do ar de entrada no secador foram ajustadas usando um controlador digital instalado no painel de comando (7). Para o monitoramento da temperatura do ar foram utilizados 2 termopares do tipo K (2), localizados antes e após a célula de secagem (4) e um termopar PT 100 para o controle da temperatura (1). A velocidade do ar de secagem foi medida com um anemômetro de fio quente posicionado no local da bandeja anteriormente aos ensaios de secagem.

Procedimento experimental da secagem

Os experimentos de cinética de secagem da casca da laranja foram realizados nas temperaturas de 60, 70 e 80°C com velocidades iguais 1,0; 1,4 e 1,8 m/s. Para cada condição experimental, a bandeja com dimensões de 25 x 30 x 0,5 cm juntamente com a amostra foi inserida na célula de secagem do secador após atingirem condições estáveis de temperatura do ar de secagem. Posteriormente, iniciou-se a aquisição automática da variação da massa das amostras disposta na bandeja e das temperaturas do ar, medidos automaticamente em intervalos de tempo de 10 minutos até

atingir condições constantes de massa. O software utilizado para os dados obtidos no processo foi o Fiedlogger, o qual possibilitava armazenar os dados em planilhas do Excel.

Para o cálculo do adimensional de umidade em função do tempo, utilizou-se a Equação 3.

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3)$$

Para determinar os valores de umidade em base seca no tempo t foi utilizada a Equação 4.

$$X_t = \frac{m_u - m_{as}}{m_{as}} \quad (4)$$

Os valores de umidade em base seca no equilíbrio X_e , foi considerado constante até o final da secagem quando a variação da massa seca no tempo t foi mínima. A massa de amostra seca m_{as} foi obtida por secagem em estufa convectiva a 105°C durante 24 horas.

Foi proposto um planejamento fatorial completo para analisar a influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem no tempo de secagem. Para este trabalho foram realizados 11 ensaios com 3 repetições no ponto central ($x_i = 0$) e ensaios nos pontos das

coordenadas $x_i = \pm 1$, para ambos os fatores. A análise dos resultados foi realizada utilizando-se o programa STATISTICA® versão 12. O planejamento estatístico com duas variáveis independentes, velocidade e temperatura do ar de entrada, sob três níveis de variação são apresentados na Tabela 3

Tabela 3: Variáveis e níveis utilizados nos 11 delineamentos experimentais

Nível	-1	0	1
T_{ar} (°C)	60	70	80
V_{ar} (m/s)	1	1,4	1,8

A partir dos dados experimentais de adimensional de umidade foram ajustados as curvas de cinética de secagem a partir dos modelos apresentados na Tabela 4, empregando a regressão não linear no método Quasi-Newton no *software* Origin® 8.5.

Tabela 4 : Modelos matemáticos

Modelo	Equação
Logarítmico	$RU = a \exp(-kt) + c$
Lewis	$RU = \exp(-kt)$
Page	$RU = \exp(-kt^n)$
Henderson & Pabis	$RU = a \exp(-kt)$

Como critério de escolha, os modelos ajustados foram comparados pelo coeficiente de determinação da regressão (R^2) e pelo desvio quadrático médio (RMS), de acordo com a Equação 5.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(RU_{pred} - RU_{exp})^2}{n}} \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise imediata para a casca de laranja. Os resultados da análise imediata apresentados na Tabela 5 mostram que a biomassa estudada apresenta elevados valores de umidade inicial

e material volátil. Por outro lado, nota-se que o material produz pouca cinza e baixo carbono fixo. Esses dados concordam com trabalhos que analisaram o bagaço da laranja, como é caso de Benevides, 2015; Tacon, 2018 e Isibika, 2021.

Tabela 5: Análise Imediata da casca da laranja

Umidade (% b.u.)	$75,11 \pm 0,001$
Matéria Volátil (% b.s.)	$96,91 \pm 0,001$
Cinzas (% b.s.)	$2,87 \pm 0,002$
Carbono Fixo (% b.s.)	$0,22 \pm 0,001$

Os valores encontrados da análise imediata permitem confirmar que a casca da laranja apresenta características favoráveis para a pirólise, tratamento termoquímico o qual demanda de elevadas temperaturas e o uso de uma atmosfera inerte. O material estudado apresentou aplicabilidade para ser empregado como biomassa a fim de ser usado como recurso energético, tendo em vista que elevados teores de material voláteis são favoráveis para se obter uma biomassa com elevado poder calorífico. Além disso, material volátil é inversamente proporcional a cinzas e carbono fixo, ou seja, materiais com elevados teores de voláteis, apresentarão, conseqüentemente, baixos teores para cinzas e carbono fixo. A elevada umidade identificada na casca *in natura* interfere negativamente no potencial energético da biomassa, reforçando a importância da secagem como etapa prévia na produção de biocombustível (Lira, 2019).

Os resultados experimentais obtidos para a análise composicional do bagaço da laranja estão apresentados na Tabela 6:

Tabela 6: Análise química da casca da laranja

Extrativos (% b.s.)	$30,59 \pm 6,74$
Lignina (% b.s.)	$6,21 \pm 2,01$
Holocelulose (% b.s.)	$29,65 \pm 1,16$
Alfa-celulose (% b.s.)	$20,98 \pm 0,88$
Hemicelulose (% b.s.)	$8,66 \pm 2,01$

Os valores observados na Tabela 6 estão de acordo com os valores citados na literatura para a mesma fruta cítrica estudada, sendo constatado por Alves *et al* (2020) um resultado de 8,66 para a hemicelulose, idêntico ao encontrado neste trabalho, indicando coerência

também nos valores de alfa-celulose e holocelulose, uma vez que a hemicelulose é obtida relacionando esses parâmetros. Outra similaridade é no teor de extrativos, encontrado por Alves *et al* (2020) um valor de 21,96%. Todos os parâmetros que constituem a análise química exercem influência positiva quando se objetiva aproveitamento energético, uma vez que os extrativos favorecem o poder calorífico superior, a lignina possui alto calor de combustão e a hemicelulose aumenta a reatividade da reação (Orellana, 2019).

A Figura 2 apresenta as curvas de secagem da casca da laranja na forma adimensional de umidade (RU) em função do tempo nas temperaturas de 60, 70 e 80°C e velocidades do ar de secagem de 1,0, 1,4 e 1,8 m/s.

De um modo geral, o comportamento observado nos resultados experimentais permite mostrar que a umidade diminui exponencialmente até atingir patamar constante. Analisando o efeito da temperatura para velocidade fixa do ar em todas as condições operacionais, deduz-se que ao aumentar a temperatura da secagem, maior será a migração interna da umidade, ou seja, mais rapidamente as moléculas de água se deslocarão do interior para a superfície. Esse fato pode causar o acúmulo de água livre na superfície do material, onde o efeito da convecção pode ser combinado com o efeito de difusão. Portanto, o aumento da temperatura reduziu o tempo necessário para atingir a umidade de equilíbrio, sendo este efeito consideravelmente significativo. Esse efeito é observado na secagem realizada na velocidade de 1,0 m/s das três temperaturas testadas, as quais mostraram que ao realizar a secagem de 60 para 80°C o tempo reduziu significativamente de 240 para 170 minutos, uma redução de, aproximadamente, 30%.

Na Figura 3 são apresentados os resultados referentes ao aumento da velocidade para temperaturas fixas do ar de secagem. Comportamento análogo ao da Figura 2 foi observado, sendo que para esse caso, constata-se que ao aumentar a velocidade do ar atingiu-se menor tempo de secagem.

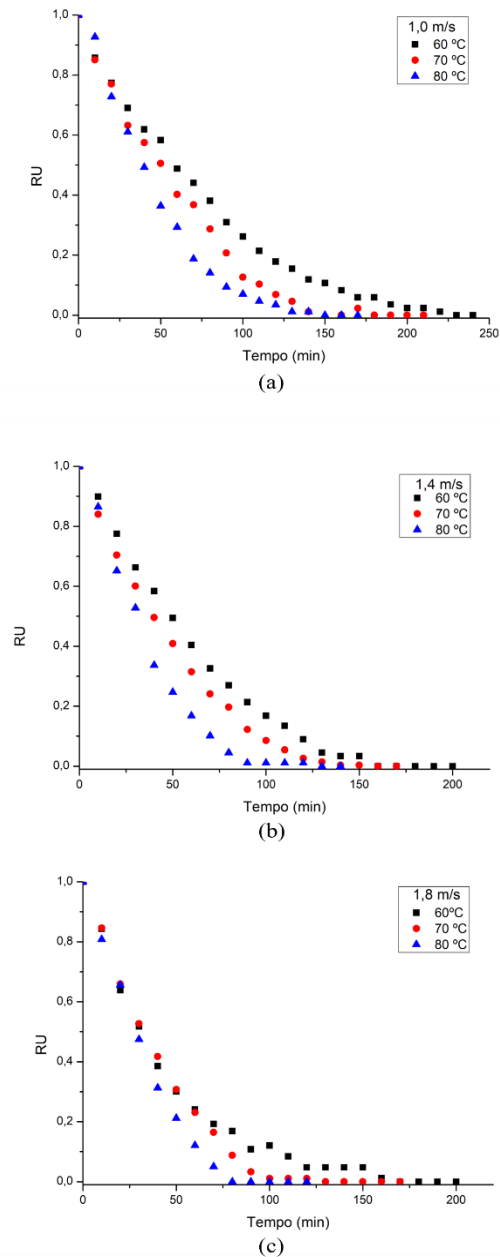


Figura 2: Relação de umidade adimensional versus tempo para a curva de secagem para diferentes velocidades.

Dessa forma, as cascas de laranjas quando submetidas a velocidades de 1,0 m/s obtiveram um tempo maior de secagem do que as amostras submetidas a velocidades de 1,8 m/s. Esse comportamento sugere que o efeito convectivo não é desprezível, visto que as curvas para as diferentes velocidades não coincidem completamente, ou seja, tanto os mecanismos de resistência interna, quanto a resistência externa controlam a transferência de massa durante o processo de secagem.

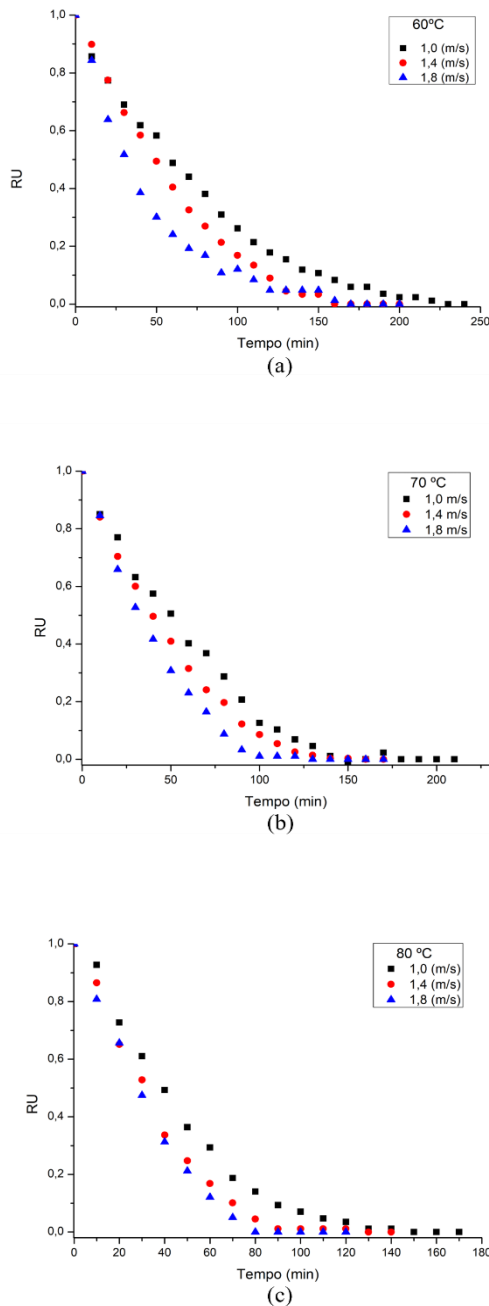


Figura 3: Relação de umidade adimensional versus tempo para a curva de secagem para diferentes temperaturas.

Comportamentos semelhantes foram observados por outros estudos de secagem convectiva, destacando-se os trabalhos de Ferreira (2017), Vieira (2006), secando resíduo de batata e polpa de celulose, respectivamente.

Na Tabela 7 são apresentados os dados de umidade em base úmida após a secagem para cada condição experimental empregada nesse trabalho. Depois de finalizada a secagem é de grande importância avaliar a umidade restante na casca da laranja. Observa-se que o teor de

umidade reduziu significativamente atingindo valores entre 29,51 e 11,35 %, ou seja, uma redução de 60,71 a 84,11% de umidade do produto em relação à umidade inicial.

Tabela 7: Umidade em base úmida após a secagem do bagaço da laranja

Condição Experimental	Umidade (% b.u)
60 °C – 1,0 m/s	24,24
70 °C – 1,0m/s	23,81
80 °C – 1,0 m/s	15,25
60 °C – 1,4 m/s	29,51
70 °C – 1,4m/s	25,99
80 °C – 1,4 m/s	29,51
60 °C – 1,8 m/s	25,00
70 °C – 1,8m/s	17,24
80 °C – 1,8 m/s	11,35

Análise estatística

Para verificar a influência da temperatura do ar de secagem e a velocidade sobre o tempo, realizou-se uma análise estatística para os parâmetros da secagem. O diagrama de Pareto, Figura 4 confirma a significância estatística dos efeitos bem como as interações das variáveis independentes sobre o efeito estimado. Os efeitos cujas barras ultrapassam a linha vermelha são significativos, e aqueles efeitos que não ultrapassam não são significativos.

Na Figura 4, observa-se um efeito negativo da temperatura e velocidade do ar, sobre a variável resposta, ou seja, quando ocorre o aumento das variáveis há uma diminuição no tempo de secagem. O diagrama de Pareto, indica que a variável temperatura tem uma influência maior que velocidade sobre o tempo de secagem.

Para estimar o tempo de secagem em função dos valores de temperatura e velocidade do ar de secagem, o modelo estatístico codificado foi proposto, excluindo os termos não significativos, ou seja, os termos quadráticos, com base nos valores de probabilidade (valor $p < 0,05$) por meio da Equação 6.

$$\hat{Y} = 209,29 - 135,93x_1 - 78,62x_2 \quad (6)$$

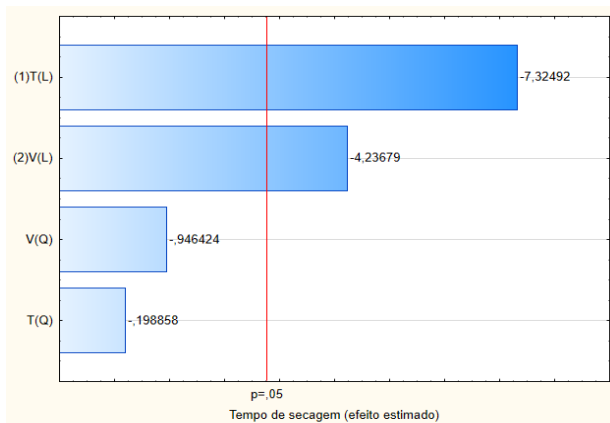


Figura 4: diagrama de Pareto para o efeito estimado tempo de secagem.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA) da regressão.

Tabela 8: Análise de variância (ANOVA)

	FV	GL	SQ	QM	F _c	F _{tab}
Regressão	2	36988	18494	52,54*	4,46	
Resíduo	8	2819	352			
Falta de ajuste	6	2720	453	9,16 ^{ns}	19,3	
Erro puro	2	98,85	49,42			
Total	10	39804				

*: Significativo ($p < 0,05$);

O coeficiente de regressão para a resposta foi de $R^2 = 0,9292$, ou seja, o modelo é capaz de explicar 92,92% da variação total dos dados. Por meio do teste F, observa-se que a regressão foi significativa e o modelo não apresentou falta de ajuste.

Modelos matemáticos

Na Tabela 9 são apresentados os dados dos parâmetros dos modelos propostos e os valores do coeficiente de regressão (R^2) e dos desvios quadráticos médios (RMS). Pode-se observar que os valores para esses coeficientes são praticamente coincidentes, sendo

ligeiramente melhores os encontrados para o modelo Page.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os dados preditos e os resíduos do modelo de Page.

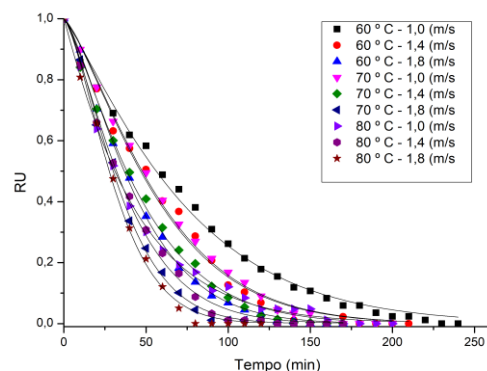


Figura 5: Curvas de cinética de secagem com os ajustes para o modelo de Page.

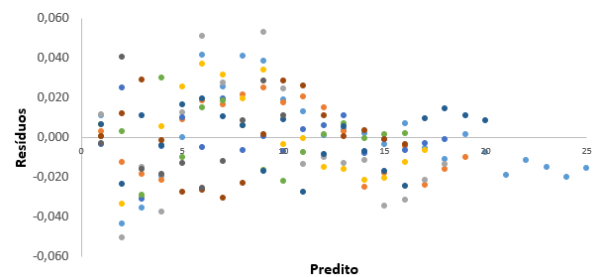


Figura 6: Resíduo estimado para o modelo de Page

Visualmente o modelo de Page se ajusta adequadamente aos dados experimentais de secagem. Essa constatação pode ser confirmada a partir do coeficiente de regressão, próximo da unidade e os baixos valores de desvios quadráticos médios, conforme mostrados na Tabela 9.

Os tratamentos dos resíduos apresentados na Figura 6 para o modelo de Page corroboram com a análise anterior, mostrando uma variação entre -0,05 a 0,07, em que apresenta uma distribuição dispersa, resultando em figuras indefinidas, não indicando tendência dos resultados, logo pode-se considerar que o modelo adequado foi o de Page.

Tabela 9: Parâmetros ajustados e valores estimados de R^2 e RMS

T (°C)	V(m/s)	Modelo	k	n	a	c	R^2	RMS
60	1,0	Logarítmico	0,01	-	1,100	-0,103	0,997	0,015
		Lewis	0,01	-	-	-	0,986	0,001
		Page	0,006	1,179	-	-	0,994	0,01
		Henderson e Pabis	0,01	-	1,032	-	0,987	0,02
60	1,4	Logarítmico	0,01	-	1,304	-0,108	0,992	0,003
		Lewis	0,02	-	-	-	0,971	0,002
		Page	0,004	1,311	-	-	0,989	0,006
		Henderson e Pabis	0,02	-	1,059	-	0,974	0,04
60	1,8	Logarítmico	0,02	-	1,027	-0,073	0,992	0,03
		Lewis	0,02	-	-	-	0,979	0,002
		Page	0,006	1,345	-	-	0,997	0,004
		Henderson e Pabis	0,023	-	1,079	-	0,984	0,003
70	1,0	Logarítmico	0,014	-	1,151	-0,115	0,995	0,02
		Lewis	0,02	-	-	-	0,98	0,03
		Page	0,005	1,319	-	-	0,989	0,02
		Henderson e Pabis	0,02	-	1,075	-	0,982	0,03
70	1,4	Logarítmico	0,02	-	1,119	-0,102	0,996	0,02
		Lewis	0,02	-	-	-	0,977	0,002
		Page	0,007	1,259	-	-	0,995	0,008
		Henderson e Pabis	0,02	-	1,050	-	0,984	0,03
70	1,8	Logarítmico	0,02	-	1,133	-0,075	0,987	0,03
		Lewis	0,02	-	-	-	0,99	0,01
		Page	0,007	1,325	-	-	0,996	0,006
		Henderson e Pabis	0,03	-	1,080	-	0,978	0,04
80	1,0	Logarítmico	0,02	-	1,026	-0,007	0,997	0,01
		Lewis	0,02	-	-	-	0,996	0,001
		Page	0,01	1,057	-	-	0,999	0,003
		Henderson e Pabis	0,02	-	1,023	-	0,997	0,02
80	1,4	Logarítmico	0,02	-	1,101	-0,06	0,991	0,02
		Lewis	0,02	-	-	-	0,980	0,001
		Page	0,007	1,309	-	-	0,998	0,003
		Henderson e Pabis	0,03	-	1,062	-	0,983	0,03
80	1,8	Logarítmico	0,03	-	1,152	-0,109	0,986	0,04
		Lewis	0,03	-	-	-	0,967	0,02
		Page	0,005	1,447	-	-	0,996	0,004
		Henderson e Pabis	0,03	-	1,070	-	0,971	0,05

CONCLUSÃO

A partir da análise dos ensaios experimentais propostos para este trabalho, pode-se concluir que foi possível analisar a secagem do bagaço da laranja no secador convectivo por meio da cinética de secagem.

Os dados obtidos de caracterização do bagaço da laranja foram satisfatórios e condizentes com a literatura, indicando a adequação das metodologias utilizadas e comprovando características lignocelulósicas do material.

A estrutura morfológica da casca da laranja constituída de epicarpo e mesocarpo contribuem com a resistência à difusividade, conforme observou-se dentro das condições operacionais estabelecidas na realização da secagem.

O efeito da variação da temperatura do ar foi significativa em relação a velocidade do ar, conforme comprovado pela análise estatística realizada com ANOVA, ou seja, à resistência interna a difusão foi predominante quando comparada com a interferência do efeito convectivo.

O modelo de Page foi selecionado como o mais satisfatório, apresentando de modo geral, maiores valores de coeficiente de regressão e menores desvios quadráticos médios.

De modo geral, pode-se concluir que a casca da laranja demonstrou ser uma biomassa promissora devido suas características lignocelulósicas e a secagem convectiva interessante para fins energéticos, uma vez que dependendo da condição operacional utilizada, atingiu valores entre 29,51 e 11,35 % em base úmida, o que equivale a uma redução de 60,71 a 84,11% em relação à umidade inicial.

NOMENCLATURA

b.u – base úmida (%)
 H_e - Teor de hemicelulose (%)
 H_o - Teor de holocelulose (%)
 C_a - Teor de alfa-celulose (%)
 T_v – Teor de matéria volátil (%);
 T_c – Teor de Cinzas (%).
 m_u – Massa da amostra úmida (g);
 m_{as} – Massa amostra seca (g);

X_0 – Umidade em base seca inicial
 X_t – Umidade em base seca no tempo t
 X_e – Umidade em base seca no equilíbrio
 RU_{pred} – razão de umidade predito pelo modelo
 RU_{exp} – razão de umidade experimental
 R^2 - coeficiente de regressão
RMS – desvio quadrático médio
n – número de observações
FV – fator de variação
GL – Grau de liberdade
SQ – Soma de quadrados
QM – Quadrado médio
 F_c – Teste F (calculado)
 F_{tab} – Teste F (tabelado)
p – probabilidade estatística
L – Termo linear a variável independente codificada
Q – Termo quadrático da variável independente codificada

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Raphael Lucas Jacinto et al. Mathematical modeling Applied to the drying kinetics of black bean starch paste, v. 10, n. 1, p. e37710111921-e37710111921, 2021.
- ALVES, José LF et al. Lignocellulosic residues from the Brazilian juice processing industry as novel sustainable sources for bioenergy production: preliminary assessment using physicochemical characteristics. Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 31, p. 1939-1948, 2020.
- ORELLANA, Amoras. Bruna Bárbara Maciel. Utilização de resíduos de biomassa do Distrito Federal para fins energéticos. 2019.
- BARBOSA, Ana M. , Thalyne A.F. Rocha, Juan F. Saldarriaga, Idoia Estiati, Fabio B. Freire, José T. Freire, Alternative drying of orange bagasse in vibrofluidized bed for use in combustion, Chemical Engineering and Processing -

- Process Intensification, v. 152, 2020, 107941, ISSN 0255-2701,
- ARAÚJO, Camilo Odorico Alencar et al. Cinética de secagem de folhas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch). 2016.
- ARAÚJO, Karoline Thays Andrade et al. Drying kinetics and determination of the effective diffusion coefficient of noni and umbu pulps, *Society and Development*, v. 10, n. 4, p. e46710413985-e46710413985, 2021.
- BENEVIDES, Lorena Coelho. Pirólise do bagaço de laranja: análise cinética dos estágios de secagem e devolatização. 2015. 80 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Energia) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2015.
- CARVALHO, Alan Henrique Souza et al. INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO SISTEMA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. SITEFA-Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho, v. 2, n. 1, p. 445-456, 2019.
- CAVICHIOLO, Jose Roberto. Secagem do bagaço de laranja em secador cilíndrico rotativo assistido por micro-ondas. 2015. 138. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2015.
- COSTA, Ariany Binda Silva et al. < b> Convective drying of regular mint leaves: analysis based on fitting empirical correlations, response surface methodology and neural networks< b. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 36, n. 2, p. 270-278, 2014.
- FERREIRA, C. M, PERAZZINI, M. T. B. Estudo de secagem e caracterização de resíduo de babata. Congresso Brasileiro de Engenharia Química e Iniciação Científica, São Carlos, 16 jul. 2017.
- GONELI, A.L.D. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa agropecuária tropical*, v.44, n.1, p.56–64, 2014.
- GUPTA, S., Cox, S., & Abu-ghannam, N. (2011). Effect of different drying temperatures on the moisture and phytochemical constituents of edible Irish brown seaweed. *LWT-Food Science and Technology*, 44(5), 1266-1272. 10.1016/j.lwt.2010.12.022
- ISIBIKA, Alice et al. Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Journal of Cleaner Production*, v. 318, p. 128570, 2021.
- JIMÉNEZ-CASTRO, M. P. et al. Bioenergy production from orange industrial waste: a case study. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 14, n. 6, p. 1239–1253, 17 jul. 2020.
- PEREIRA, Milene Stefani. Resíduos de laranja como fonte de enzimas e compostos bioativos. 2017. 90 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Biotecnologia) - Instituto de Biociências, Botucatu, 2017.
- POLESEK-KARCZEWSKA, S. et al. Front velocity in the combustion of blends of poultry litter with straw. *Fuel Processing Technology*, v. 176, n. November 2017, p. 307–315, 2018
- SAFRA de laranja 2021/22 é encerrada com produção total de 262,97 milhões de caixas / Final orange crop forecast update. Araraquara: Fundecitrus, 11 abr. 2022. Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- SANTOS, FS dos et al. Modelagem matemática da cinética de secagem da romã. *Revista Espacios*, v. 38, n. 52, p. 27-37, 2017

- SILVA, Bruno RS et al. Experimental Investigation of the Performance of a Spouted Bed Dryer for Biomass: Drying Kinetics and Energy Evaluation. In: Defect and Diffusion Forum. Trans Tech Publications Ltd, 2020. p. 208-217.
- STHEL, M. S. et al. SECAGEM E EXTRAÇÃO DE PECTINA DO ALBEDO DA CASCA DE LARANJA. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 1, p. 445-449, 2014.
- TACON, Michel Soares Nery. Caracterização de biomassas cítricas visando a sua utilização para fins energéticos. 2018. 125 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.
- LIRA, Taisa Shimosakai de; Thiago Padovani Xavier; Mariana de Jesus Lima. Pirólise da casca de café: caracterização e determinação da cinética de reação. In: XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS ENEMP 2019, 2019, Belém. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2019.
- TAVARES, Francisca Valdeiza de Souza. Otimização e controle de secadores convectivos tipo túnel. Estudo de caso: secagem de tijolos cerâmicos vazados. 2018. 180 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.
- ZANETTI, A. *et al.* AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM EM ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DO BAGAÇO DE LARANJA. Congresso Brasileiro de Engenharia Química e Iniciação Científica, São Carlos, 16 jul. 2017.