



ISOTERMAS DE EQUILÍBRIO PARA ANÁLISE DO POMACE DE TOMATE *Solanum lycopersicum L.*

Brenda Velasco Borges¹; Clarissa Damíani²; Diogo Pedrosa Corrêa da Silva²; Ellen Carvalho Silva¹; Fernanda Becker Salamoni²; Gilberto Alessandre Soares Goulart²; Glenda Ribeiro Cardoso Rodrigues da Silva¹; Luis Carlos Cunha Junior².

RESUMO

O tomate é um fruto que possui um curto período de produção agrícola e de vida-de-prateleira. O produto residual do processamento do tomate é denominado pomace de tomate e em razão de sua alta perecibilidade, a secagem é introduzida como um meio para propiciar favoráveis condições de armazenamento. O objetivo deste trabalho foi comparar um dos modelos teóricos de isotermas de equilíbrio em relação aos dados experimentais obtidos do tomate industrial secados à temperaturas de 80°C e 90°C. A determinação das isotermas de equilíbrio foram fundamentais para a verificação da interação entre os sólidos e o vapor d'água presente no ar de secagem, uma vez que a temperatura e a umidade relativa não foram constantes. Os parâmetros das equações das isotermas de Henderson Modificado para o pomace foram determinados através da análise umidade relativa do ar e umidade de equilíbrio de tomate industrial, obtidos pelo método estático, utilizando soluções ácidas em diferentes concentrações, sendo o tratamento dos dados produzido por regressão linear. Conclui-se que a equação de Henderson modificada não apresentou um bom ajuste em relação à curva de adsorção no pomace secado à 90°C na temperatura de armazenagem de 30°C.

INTRODUÇÃO

Sendo um fruto de curto período de produção agrícola e vida-de-prateleira exígua, parte da produção de tomate é destinada para produtos processados como molhos, sucos, ketchup e extratos. Caracterizada por uma cultura de estação quente, a temperatura e a umidade são fatores de influência, e são requeridos temperaturas diurnas de 25 a 30°C, noturnas de 16 a 20°C e umidades entre 60 e 80% para obter um ótimo desenvolvimento.

O pomace de tomate, é um produto residual do processamento do tomate consistido de sua casca, semente e tecido vascular. Estudos concluíram que esse subproduto, que representa cerca de 4% da massa total do fruto, é composto majoritariamente por fibras, além de açúcares totais, proteínas, gordura e minerais.

O Brasil, com sua economia fortemente baseada na agricultura, contribui para a geração de uma grande quantidade de resíduos resultantes das atividades de processamento. Sendo o 8º maior produtor de tomate no mundo, o Brasil é o maior produtor na América Latina de tomate destinado ao processamento industrial, o que gera bastante resíduo, bem como riscos de contaminação do meio ambiente .

Considerando suas características e sua alta perecibilidade, a secagem se torna um meio de proporcionar condições favoráveis de armazenamento ao pomace de tomate, facilitando seu uso em produtos industriais. Logo, a importância do conhecimento acerca da capacidade de adsorção do pomace está relacionada ao seu processamento. Com o auxílio das isotermas, é realizada a determinação da adsorção e, com isso, seria possível prever as melhores condições de secagem e armazenamento do produto.

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia - Goiás;

² Docente do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia - Goiás.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo analisar as curvas de adsorção em pomaces de tomates industriais secos em leito de jorro a 80°C e 90°C para realizar uma comparação com o modelo teórico de isotermas de equilíbrio de Henderson modificada. E com isso, verificar a influência que a temperatura de secagem exerce na sua capacidade de adsorção de água quando submetido à armazenamento a 30°C por um dado período.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Matéria Prima

Foi utilizado pomace de tomate industrial (*Solanum lycopersicum L.*), produto residual obtido após o processamento de tomate, composto por sua casca, semente e tecido vascular^[1]. Foi empregada a técnica de secagem em leito de jorro, realizando a secagem em temperaturas de 80°C e 90°C, diminuindo a quantidade de água presente no insumo. O produto recolhido após a secagem foi processado no moinho de martelo, obtendo assim uma farinha de pomace de tomate.

2.2. Umidade de equilíbrio: Método Estático

Sendo realizado tanto para o pomace seco a 80°C quanto à 90°C, amostras de cerca de 3g de farinha de pomace foram colocadas em cadinhos plásticos, que foram acondicionados em recipientes plásticos hermeticamente fechados, método estático para medida de umidade de equilíbrio. Foram utilizados 9 recipientes, contendo solução com concentração diferente de H₂SO₄, variando a concentração de ácido, de 25% à 65%, com aumento gradual de 5% para cada recipiente, garantindo a variação da umidade relativa do ar. Para dar confiabilidade aos dados obtidos, foram realizadas triplicatas para cada concentração do ácido. Esses recipientes foram colocados em incubadora “BOD” à 30°C por 14 dias, realizando-se pesagens no primeiro, sétimo e décimo quarto dia de experimento.

2.3. Regressão linear

A regressão linear dos dados experimentais foi efetuada para a determinação da equação da reta, de onde se obteve as constantes X, Y e R² que posteriormente foram utilizadas no modelo das isotermas. Os valores encontrados como o para R², é muito importante para correlacionar os valores trabalhados para X e Y, que correspondem, respectivamente, à porcentagem de concentração de ácido sulfúrico e umidade de equilíbrio.

2.4. Umidade de equilíbrio teórico: Modelo de Henderson Modificado

Sabendo que a dependência da umidade de equilíbrio com a umidade relativa e temperatura pode ser expressa por equações matemáticas^[2], é possível destacar a equação de Henderson Modificado:

$$X_E = \left[\frac{\ln(1 - UR)}{-a * (T + b)} \right]^{\frac{1}{c}} \quad (1)$$

onde UR é a umidade relativa, a, b e c são parâmetros que dependem do pomace, T é a temperatura do ar (°C) e X_E é a umidade de equilíbrio.

Sendo assim, foi utilizado concentração de H₂SO₄ variando de 25 a 65%, garantindo o conhecimento da umidade relativa do ar de acordo com a tabela 1 para a temperatura de

30°C, sendo posteriormente utilizadas na equação de Henderson Modificado, obtendo assim a umidade de equilíbrio teórica.

Tabela 1: Valores de umidade relativa teórica para concentrações de H₂SO₄ para as temperaturas de 20°C, 30°C e 40°C^[3].

Concentração de H ₂ SO ₄ (%)	20°C	30°C	40°C
25	0,816	0,817	0,824
30	0,749	0,747	0,753
35	0,665	0,666	0,674
40	0,568	0,565	0,574
45	0,458	0,461	0,470
50	0,355	0,355	0,366
55	0,258	0,260	0,267
60	0,167	0,170	0,178
65	0,093	0,097	0,102

2.5. Teor de Umidade

Para a análise do teor de umidade, foram separadas amostras da farinha de pomace seco a 80°C e 90°C e de pomace úmido, ou seja, que não passou pelo processo de secagem no leito de jorro. Foram pesadas aproximadamente 5 gramas de cada amostra e colocadas em cadinhos, realizando-se triplicatas para minimizar o erro. Os cadinhos foram colocados na estufa a 105°C e, alternando com o dessecador, o qual possui como objetivo esfriar as amostras impedindo que estas entrem em contato com a umidade ambiente, foram feitas pesagens até chegar a um peso constante, demonstrando que houve a perda de toda a umidade. Com os valores da massa inicial e massa final após a retirada total da umidade na estufa, foi realizado o cálculo do teor de umidade em base úmida.

2.5.1 Base Úmida

O teor de umidade em base úmida pode ser calculado por como mostra na equação 2.

$$U (\%) = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad (2)$$

RESULTADO E DISCUSSÃO

Na tabela 2, é possível observar a grande diferença do teor de umidade entre as amostras que passaram pelo processo de secagem e a amostra úmida. Observa-se, também, o impacto da temperatura do ar de secagem nestes resultados, onde aqueles que foram submetidos a uma temperatura de 90°C durante a secagem apresentaram um menor teor.

Tabela 2: Quantificação da umidade da farinha do pomace

	Base Úmida (%)
Amostra Úmida (padrão)	74,53
Amostra secada a 80°C	8,25
Amostra secada a 90°C	5,54

Dessa forma, demarca-se a regressão linear da umidade de equilíbrio calculadas nas temperaturas de 80°C e 90°C, visando encontrar, a partir do R², a intensidade de relação entre os dados obtidos para X e Y e, por conseguinte, a menor probabilidade de erro nas análises feitas^[4]. Seguem-se os gráficos produzidos provenientes das análises.

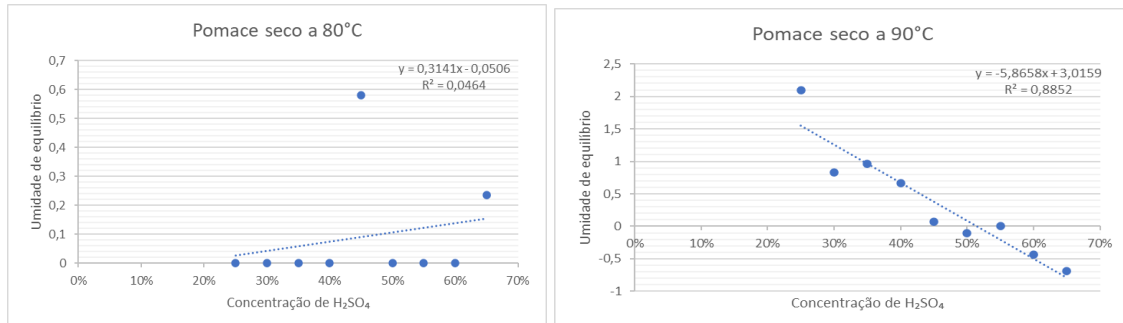


Figura 1: Valores obtidos da regressão linear para os pomaces secados à temperatura de 80°C e 90°, respectivamente.

Para o pomace de tomate secado na temperatura de 80°C, não se obteve bons resultados com base em sua regressão linear. Não houve variação na umidade das amostras e, pelo valor baixo do R², é possível observar a falta de ajuste. Para as amostras de pomace secado a 90°C, apresentou-se um R² significativo e, desta forma, foi possível prosseguir as análises.

A partir dos dados experimentais e da equação de Henderson Modificada obteve-se os dados apresentados na tabela 3 para a umidade de equilíbrio.

Tabela 3: Valores de umidade de equilíbrio para 90°C e teórica encontrados a partir da equação de Henderson Modificado com o auxílio da tabela de umidade relativa.

Concentração de H ₂ SO ₄ (%)	Umidade de equilíbrio a 90°C	Umidade de equilíbrio teórica
25	2,092	0,3409
30	0,826	0,3348
35	0,963	0,3285
40	0,661	0,3209
45	0,072	0,3130
50	0,106	0,3040
55	0,000	0,2945
60	0,430	0,2828
65	0,691	0,2688

Na Figura 2, são apresentados a curva teórica pelo modelo de Henderson Modificado e a curva obtida dos dados experimentais.

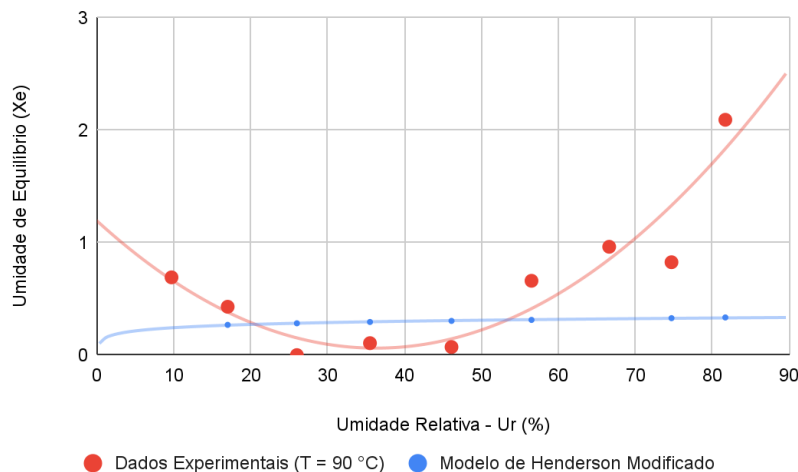


Figura 2. Isotermas de equilíbrio para a amostras de pomace de tomate industrial utilizando soluções ácidas e a equação de Henderson modificado, sob temperatura de 30°C.

Pode ser observado que a curva do modelo de Henderson Modificada adota um comportamento de isotermas do tipo III, enquanto que a curva para o pomace secado a 90°C apresenta tendência para o tipo II, sigmoidal, comportamento particular de isotermas de alimentos^[5].

O modelo de regressão linear se adequou aos dados experimentais da secagem a 90°C, apresentando um coeficiente de determinação de 0,88, no entanto, segundo as isotermas de equilíbrio da Figura 2, o modelo de Henderson Modificado não se ajustou ao comportamento da curva de adsorção do pomace.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que, não houve um bom ajuste dos dados experimentais comparados com o modelo de isotermas de equilíbrio produzida por meio da equação de Henderson modificada. O que indica a necessidade de utilização de outros modelos para o ajuste dos dados experimentais apresentados, no entanto, podemos, ainda, verificar um bom adequamento dos dados experimentais do pomace secado à 90°C pela regressão linear dos pontos, evidenciado pelo coeficiente de determinação (R^2) cujo valor foi de 0,88. O mesmo não foi possível ser observado para os pontos obtidos para a temperatura de secagem de 80°C.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. CHADA, P. S. N. **OBTENÇÃO DE LICOPENO DO BAGAÇO DE TOMATE INDUSTRIAL “*Solanum lycopersicum L.*” POR TÉCNICAS NÃO CONVENCIONAIS DE EXTRAÇÃO E SECAGEM.** 2021. 113 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2021.
2. CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. de C. C.; GONELI, A. L. D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1047-1052, 2014.
3. PERRY, R. H & CHILTON, C. H. **Chemical Engineer's Handbook**, McGraw-hill Co., 5 ed., Sec. 20-4. 1983.
4. RODRIGUES, S. C. A. **Modelo de regressão linear e suas aplicações.** 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2012.
5. CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. de C. C.; GONELI, A. L. D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1047-1052, 2014.