

EFEITO DA POTÊNCIA E DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO NA SECAGEM DE RESÍDUOS DE ACEROLA EM TAMBOR ROTATIVO ASSOCIADO A MICRO-ONDAS

F. S. DELSIM¹, T. I. A. FREITAS¹, L. RAMADAN¹, M. A. S. BARROZO¹,
C. R. DUARTE¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química
E-mail para contato: felipedelsim2@hotmail.com

RESUMO – Em razão do potencial fruticultor brasileiro, grande quantidade de frutas é processada, gerando resíduos que, muitas vezes, não possuem destino adequado. O elevado teor de umidade contido nesses resíduos impede seu adequado armazenamento. A secagem é uma operação unitária que diminui a umidade do alimento, aumentando sua vida útil. Um método de desidratação muito empregado é através do micro-ondas, em razão de seu baixo tempo de operação e consumo energético. A homogeneidade da distribuição da radiação pode ser alcançada através do acoplamento do tambor rotativo ao sistema. A secagem de resíduos de acerola no sistema composto por micro-ondas e tambor rotativo foi avaliada, por meio de um planejamento experimental do tipo 3^k, variando a potência do micro-ondas e a velocidade de rotação do tambor rotativo. Após a secagem, foram verificadas umidade, atividade de água e concentração de compostos bioativos (fenólicos, flavonoides e ácido ascórbico). Esses resultados foram comparados à caracterização do resíduo *in natura*, a fim de determinar as condições operacionais mais adequadas. Foi observado que maiores concentrações foram obtidas em 2,12 W/g e velocidades de 30 e 45 rpm. Ou seja, velocidades mais elevadas favoreceram o processo, mostrando a viabilidade do sistema.

1. INTRODUÇÃO

Devido a sua grande extensão territorial e variedade climática, o Brasil possui uma vasta e variada flora. Interligado a isto, tem-se que o país é considerado um dos maiores produtores e exportadores mundiais de frutas. Atualmente, aproximadamente 53% da produção são destinadas ao mercado de frutas processadas para produção de geleias, polpas e sucos, e 47%, ao mercado de frutas frescas (Ibraf, 2013). Diante desta conjuntura, uma fruta que possui destaque no país é a acerola (*Malpighia emarginata* D. C.), sendo que, anualmente, são processadas, aproximadamente, 34 mil toneladas (Freitas *et al.*, 2006). Consequentemente, há geração de uma grande quantidade de resíduos, representando entre 15 a 41% do volume total de resíduos gerado (Vasconcelos *et al.*, 2002).

A grande quantidade de estudos relacionados à secagem do fruto em questão se deve à alta quantidade de compostos bioativos nele presentes. Dentre estes compostos, encontram-se fenólicos, flavonoides e ácido ascórbico, os quais possuem alta atividade antioxidante. Os fenólicos e os flavonoides possuem atividades como antimicrobiana, antiviral, anti-hipertensiva

e anti-inflamatória. O ácido ascórbico, também conhecido como vitamina C, é uma vitamina hidrossolúvel que está associada a propriedades como regulação do colesterol, diminuição da concentração de chumbo no sangue, dentre outras (Pereira, 2008).

Um modo de reaproveitar estes compostos bioativos é através da secagem, em que ocorre a remoção de água do material a níveis em que ação microbiana seja evitada, além de reduzir o espaço de transporte e armazenamento. Dentre os métodos mais empregados, se destaca o aquecimento por micro-ondas, devido à habilidade de atingir altas taxas de secagem, à redução significativa do tempo, à fácil operação e ao baixo custo de manutenção (Zhang *et al.*, 2006). Seu principal empecilho é o aquecimento heterogêneo, que faz com que algumas regiões aqueçam rapidamente, enquanto outras não. Esse problema pode ser contornado pelo fornecimento de homogeneidade ao processo, através da associação com tambor rotativo. Segundo Langrish *et al.* (2002), o tambor rotativo é largamente aplicado nas indústrias, principalmente por promover homogeneidade ao processo, devido ao alto grau de mistura das partículas. Assim, com a inserção do tambor rotativo ao sistema, as superfícies das partículas ficam mais expostas à radiação eletromagnética durante a secagem, tornando o processo de remoção de umidade mais uniforme.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi verificar a influência da potência e da velocidade de rotação, através da análise da umidade, da atividade de água e da concentração de compostos bioativos, obtendo, assim, as condições operacionais mais viáveis.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material Utilizado

A amostra empregada foi resíduo de acerola (Figura 1), fornecida pela empresa Fruteza. Os resíduos foram separados em pacotes e armazenados em freezer. Para realizar os experimentos, os resíduos foram transferidos para a geladeira 12 horas antes da execução do processo de secagem.

Figura 1- Resíduo de acerola *in natura*.



2.2. Unidade Experimental

Para a montagem da unidade experimental (Figura 2), foi confeccionado um tambor rotativo de acrílico. Foram feitas perfurações ao longo de sua dimensão, para auxiliar a remoção de umidade do material. O tambor em questão possui 113 mm de diâmetro interno, 260 mm de comprimento e 3 mm de espessura. Adquiriu-se, também, um aparelho de micro-ondas da marca Electrolux, com 31 L de volume e potência nominal de 1000 W.

O tambor rotativo foi acoplado internamente ao micro-ondas através da perfuração na parede traseira, por onde foi associado o motor. Um inversor de frequência foi adicionado para ajustar a velocidade de rotação. Para a montagem de todo o aparato, foram utilizados materiais resistentes a temperaturas elevadas, como acrílico, politetrafluoretileno, cola e silicone apropriados.

Figura 2 - Unidade experimental.



2.3. Planejamento Experimental

Foi proposto um planejamento experimental do tipo 3^K (Tabela 1). O nível de preenchimento do tambor foi fixado em 13% e o tempo de secagem, em 34 minutos, já que testes preliminares evidenciaram o início da degradação do material em um tempo superior e uma mistura satisfatória da amostra com essa quantidade de material. Os níveis das variáveis potência e velocidade de rotação também foram determinados por testes preliminares. Buscou-se empregar uma faixa de velocidade de rotação que, visualmente, representasse diferença na mistura, abordando velocidades de rotação baixa, média e alta. Em relação à potência, resultados satisfatórios foram obtidos em testes preliminares na condição de 300 W. Assim, optou-se por testar um nível acima e outro abaixo desse valor. A potência foi expressa, também, em densidade de potência, que representa a potência por unidade de massa do material em processo.

Tabela 1 – Planejamento experimental (3^K)

Experimento	Potência (W)	Densidade de Potência (W/g)	Velocidade de Rotação (rpm)
1	200	1,41	15
2	200	1,41	30
3	200	1,41	45
4	300	2,12	15
5	300	2,12	30
6	300	2,12	45
7	400	2,82	15
8	400	2,82	30
9	400	2,82	45

2.4. Análises Físico-Químicas

Umidade: Para determinação do teor de umidade, empregou-se o método da estufa. As amostras foram mantidas na estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.

Atividade de água: A atividade de água foi determinada através do LabTouch-aw, equipamento que possui um sistema de controle de temperatura associado a um sensor infravermelho.

Teor de fenólicos totais: Conforme descrito por Singleton e Rossi (1965), o teor de fenólicos totais foi obtido através do método desenvolvido por Folin–Ciocalteu. Utilizou-se a curva padrão de ácido gálico e leitura de absorbância em espectrofotômetro a 622 nm. Os resultados obtidos foram expressos em mg de ácido gálico por 100 gramas de amostra em base seca.

Teor de flavonoides totais: O teor de flavonoides foi determinado pelo método colorimétrico de Zhishen *et al.* (1999), utilizando curva padrão de rutina. A leitura de absorbância foi realizada no espectrofotômetro, com comprimento de onda de 540 nm. Os resultados obtidos foram expressos em mg de rutina por 100 gramas de amostra em base seca.

Teor de ácido ascórbico: A metodologia apresentada por Dürüst *et al.* (1997) foi adaptada para a determinação da concentração de ácido ascórbico nas amostras. Empregou-se curva padrão de ácido ascórbico e comprimento de onda de 520 nm, para a leitura de absorbância no espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 gramas de amostra em base seca.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização do processo de secagem, foram verificadas as quantidades de umidade e de atividade de água, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de umidade e atividade de água

Teste	Densidade de Potência (W/g)	Velocidade de rotação (rpm)	Umidade Inicial (%)	Umidade Final (%)	Umidade Removida (%)	Atividade de Água (-)
1	1,41	15	78,60 \pm 2,07	66,92 \pm 1,08	14,85	0,976
2	1,41	30	78,60 \pm 2,07	67,24 \pm 0,87	14,45	0,977
3	1,41	45	78,60 \pm 2,07	65,99 \pm 0,78	16,03	0,976
4	2,12	15	80,21 \pm 3,64	38,97 \pm 2,51	51,42	0,942
5	2,12	30	80,21 \pm 3,64	39,75 \pm 1,64	50,44	0,943
6	2,12	45	80,21 \pm 3,64	36,10 \pm 1,89	54,99	0,94
7	2,82	15	79,32 \pm 2,76	7,19 \pm 3,46	90,94	0,388
8	2,82	30	79,32 \pm 2,76	7,06 \pm 2,09	91,10	0,381
9	2,82	45	79,32 \pm 2,76	6,09 \pm 3,08	92,33	0,335

Pela análise dos resultados, observa-se que a quantidade de umidade removida é diretamente proporcional à densidade de potência utilizada, pois, quanto maior a quantidade de energia fornecida ao resíduo, maior será a quantidade de água evaporada. Para a atividade de água, seu valor torna-se menor quanto maior for a densidade de potência. Isso ocorre devido ao

decrescimento da atividade microbiana no alimento quanto menor for seu teor de umidade. Observa-se, também, que, em ambos os casos, não houve uma variação significativa com a alteração da velocidade de rotação. As figuras abaixo (Figuras 3, 4 e 5) representam, respectivamente, a concentração de fenólicos totais, flavonoides totais e ácido ascórbico.

Figura 3 – Teor de Fenólicos Totais.

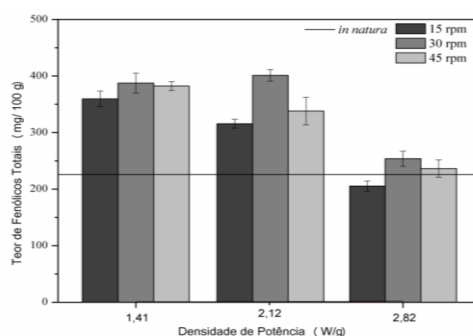
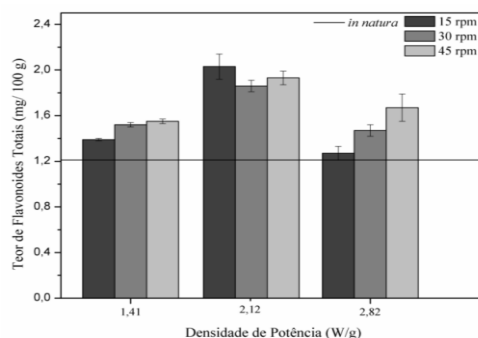
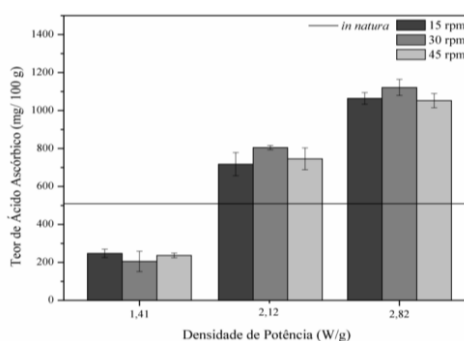


Figura 4 – Teor de Flavonoides Totais.



Como observado nas Figuras 3 e 4, o aumento da velocidade de rotação gerou maiores concentrações de ambos os compostos na maioria dos casos, devido à maior homogeneidade conferida ao processo. Em relação à densidade de potência, para fenólicos, maiores teores foram obtidos em níveis inferior (1,41 W/ g) e intermediário (2,12 W/ g), e, para flavonoides, melhores resultados foram alcançados a 2,12 W/g. Isso ocorre devido ao rompimento da estrutura interna e liberação do composto. Em densidade de potência mais elevada, para ambos os compostos, a exposição a um aquecimento mais intenso causou a diminuição da concentração dos compostos em relação ao nível anterior.

Figura 5 – Teor de Ácido Ascórbico.



É possível verificar, pela Figura 5, que a velocidade de rotação praticamente não interferiu nos resultados. O aumento acentuado do teor de ácido ascórbico com a elevação da densidade de potência ocorreu devido à ruptura da estrutura interna e a exposição da vitamina C, além da desativação de enzimas que degradam a própria vitamina C (Dorta *et al.*, 2012).

4. CONCLUSÃO

A secagem de resíduos de acerola em micro-ondas associado a tambor rotativo foi capaz de gerar produtos com baixo teor de umidade, garantindo um aumento da vida útil do material. O aumento da densidade de potência contribuiu expressivamente para a elevação do teor de

ácido ascórbico. Para fenólicos e flavonoides, maiores teores foram obtidos em nível inferior ou intermediário de densidade de potência e velocidades mais elevadas. Os resultados mostraram, portanto, a viabilidade do sistema em fornecer homogeneidade aos processos de secagem.

5. REFERÊNCIAS

- DORTA, E.; LOBO, M. G.; GONZALEZ, M. Using drying treatments to stabilize mango peel and seed: effect on antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, v. 45, p. 261–268, 2012.
- DÜRUST, N.; GOGAN, S.; DÜRUST, Y. Ascorbic Acid and Element Content of Foods of Trabzon (Turkey). *J. of Agric and Food Chem.*, v.45, p.2085-2087, 1997.
- FREITAS, C. A. S.; MAIA, G. A.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; RODRIGUES, M. C. P.; SOUSA, P. H. M. Estabilidade do suco tropical de acerola (*Malpighia emarginata* d.c.) adoçado envasado pelos processos hot-fill e asséptico. *Food Science and Technology*, v.26, n. 3, Campinas, 2006.
- IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. Panorama da Cadeia Produtiva das Frutas 2012 e Projeções para 2013. São Paulo, 2013.
- LANGRISH, T. A. G.; PAPADAKIS, S. E.; BAKER, C. G. J. Residence times of two- and three-component mixtures in cascading rotary dryers. *Drying Technology*, v. 20, n. 2, p. 325-350, 2002.
- PEREIRA, V. R. Ácido ascórbico – características, mecanismos de atuação e aplicações na indústria de alimentos. Trabalho acadêmico apresentado ao curso de Bacharelado em Química de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics With Phosphomolibdic Phosphotungstic Acid Reagents. *Am. J. of Enology and Viticulture*, v. 16, p. 144-158, 1965.
- VASCONCELOS, V. R.; NEIVA, J. N. M.; PIMENTEL, J. C. M. Utilização de subprodutos do processamento de frutas na alimentação de caprinos e ovinos. In: VI SNP–PECNORDESTE, 2002, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: FAEC, p.83-99, 2002.
- ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A. S.; WANG, S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, v. 17, p. 524 534, 2006.
- ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The Determination of Flavonoid Contents in Mulberry and Their Scavenging Effects on Superoxide Radicals. *Food Chem.*, v. 64, p. 555-559, 1999.