

Avaliação da Degradação dos Compostos Bioativos do Fruto *Physalis (P. peruviana)*

Durante o Processo de Secagem

**Evaluation Degradation of Bioactive Compounds of Fruit *Physalis (P. peruviana)* During
the Drying Process**

Evaluación de la degradación de compuestos bioactivos de la fruta *Physalis (P. peruviana)* durante el proceso de secado

Recebido: 17/09/2019 | Revisado: 24/09/2019 | Aceito: 30/09/2019 | Publicado: 11/10/2019

Newton Carlos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9603-2503>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: newtonquimicoindustrial@gmail.com

Sâmela Leal Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2047-4636>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: samelaleal7@gmail.com

Raphael Lucas Jacinto Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7232-2373>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: raphaelqindustrial@gmail.com

Shênia Santos Monteiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7414-1151>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: shenia-monteiro@hotmail.com

Amanda Priscila Silva Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3445-5479>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: amandapriscil@yahoo.com.br

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6493-3203>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: virgini.mirtes2015@gmail.com

Josivanda Palmeira Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2047-986X>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: josivanda@gmail.com

Márcia Ramos Luíz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3999-3719>

Universidade Estadual da Paraíba, Brasil

E-mail: marciarluiz@yahoo.com.br

Danise Medeiros Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7812-6522>

Instituto Federal do Pernambuco, Brasil

E-mail: danisemedeiros@gmail.com

Resumo

Objetivou-se por meio do presente estudo efetuar a cinética de secagem do fruto *physalis*, verificando o ajuste dos modelos matemáticos empíricos aos dados experimentais obtidos e avaliar a influência das diferentes temperaturas utilizadas no processo com relação a sua composição centesimal e de compostos bioativos. A cinética de secagem foi realizada utilizando secador convectivo com velocidade de ar fixa ($1,5 \text{ m.s}^{-1}$) e temperatura variando de 40 a 70 °C. Nos frutos *in natura* e desidratados foram determinados o teor de umidade, cinzas, lipídios, proteína, carboidratos totais, antocianinas, flavonoides, carotenoides totais, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (ABTS⁺ e DPPH). Verificou-se que dentre os modelos matemáticos estudados, o modelo de Silva et al. apresentou melhor ajuste aos dados experimentais, com coeficiente de determinação ($R^2 > 0,99$) e valores de qui-quadrado ($\chi^2 < 0,003753$), sendo considerado como o mais eficiente na descrição do processo de secagem do *physalis*. A partir dos dados obtidos constatou-se que o aumento da temperatura provoca redução no teor de umidade, cinzas e lipídios, causando também a maior degradação de todos os compostos bioativos analisados (antocianinas, flavonoides, carotenoides totais, compostos fenólicos) e atividade antioxidante. No entanto, as temperaturas de 40 e 50 °C proporcionaram uma melhor preservação de todos os componentes bioativos e atividade antioxidante quando comparados com os valores obtidos para o fruto *in natura*.

Palavras-chave: Atividade antioxidante; Conservação; Fruta exótica.

Abstract

The objective of this study was to perform the drying kinetics of fruit physalis, verifying the fit of the empirical mathematical models to the experimental data obtained and to evaluate the influence of the different temperatures used in the process in relation to its centesimal composition and bioactive compounds. Drying kinetics were performed using a fixed air velocity convective dryer ($1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and temperature ranging from 40 to 70 °C. In fresh and dehydrated fruits, moisture content, ash, lipids, protein, total carbohydrates, anthocyanins, flavonoids, total carotenoids, total phenolic compounds and antioxidant activity (ABTS⁺ and DPPH) were determined. Among the studied mathematical models, the Silva et al. model presented the best fit to the experimental data, with coefficient of determination ($R^2 > 0.99$) and chi-square values ($\chi^2 < 0.003753$), being considered as most efficient in describing the physalis drying process. From the obtained data it was verified that the increase of the temperature causes reduction in the moisture, ash and lipid content, also causing the greatest degradation of all bioactive compounds analyzed (anthocyanins, flavonoids, total carotenoids, phenolic compounds) and antioxidant activity. However, temperatures of 40 and 50 °C provided better preservation of all bioactive components and antioxidant activity when compared to the values obtained for the fresh fruit.

Keywords: Antioxidant activity; Conservation; Exotic fruit.

Resumen

El objetivo de este estudio fue realizar la cinética de secado de la fruta física, verificando el ajuste de los modelos matemáticos empíricos a los datos experimentales obtenidos y evaluar la influencia de las diferentes temperaturas utilizadas en el proceso en relación con su composición centesimal y sus compuestos bioactivos. La cinética de secado se realizó utilizando un secador convectivo de velocidad de aire fija ($1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y una temperatura que oscila entre 40 y 70 °C. En frutas frescas y deshidratadas, se determinó el contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas, carbohidratos totales, antocianinas, flavonoides, carotenoides totales, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante (ABTS⁺ y DPPH). Entre los modelos matemáticos estudiados, el modelo de Silva et al. presentó el mejor ajuste a los datos experimentales, con un coeficiente de determinación ($R^2 > 0.99$) y valores de chi-cuadrado ($\chi^2 < 0.003753$), siendo considerados como más eficiente en la descripción del proceso de secado de physalis. A partir de los datos obtenidos, se descubrió que el aumento de la temperatura causa una reducción en el contenido de humedad, cenizas y lípidos, lo que

también causa la mayor degradación de todos los compuestos bioactivos analizados (antocianinas, flavonoides, carotenoides totales, compuestos fenólicos) y actividad antioxidante. Sin embargo, las temperaturas de 40 y 50 °C proporcionaron una mejor preservación de todos los componentes bioactivos y la actividad antioxidante en comparación con los valores obtenidos para la fruta fresca.

Palabras clave: Actividad antioxidante; Conservación; Fruta exótica

1. Introdução

O gênero *Physalis* inclui cerca de 100 espécies e é pertencente a família *Solanaceae*, caracteriza-se como um grupo de elevada importância econômica. Estas espécies são aplicadas em diversos segmentos, como alimentação humana (*P. peruviana*), produção de substâncias de uso farmacêutico (*P. angulata*) e em ornamentação (*P. alkekengi*). O *physalis* comestível (*P. peruviana*) é a espécie que se destaca no Brasil, é definido como sendo um pequeno fruto que apresenta coloração que varia entre o amarelo e laranja, possui sabor doce e é rico em diversos nutrientes como a vitamina A e C, ferro e fósforo, além de alcaloides, flavonoides, carotenoides e compostos bioativos, que são considerados como compostos funcionais (Muniz et al., 2015; Souza et al., 2017).

O alto teor de umidade presente na composição do *physalis* é o principal fator responsável pelo crescimento de micro-organismos e ocorrência de reações bioquímicas, provocando conseqüentemente sua rápida deterioração. Para minimizar este problema são aplicadas técnicas de conservação de alimentos como a secagem, que tem como objetivo principal a redução do teor de umidade, possibilitando um armazenamento seguro por um longo período de tempo (Landim et al., 2016; Olivares et al., 2017).

No entanto, alguns estudos verificaram perdas dos compostos termossensíveis após o processamento da fruta, devido a aplicação de métodos de secagem convencionais, que geralmente são associados à redução da qualidade nutricional, funcional e sensorial dos produtos (Olivares et al., 2017).

Nesse contexto, objetivou-se por meio do presente estudo efetuar a cinética de secagem do fruto *physalis*, verificando o ajuste dos modelos matemáticos empíricos aos dados experimentais obtidos e avaliar a influência das diferentes temperaturas utilizadas no processo com relação a sua composição centesimal e de compostos bioativos.

2. Metodologia

Os frutos physalis (*P. peruviana*) foram adquiridos no comércio local da cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil. Os mesmos foram selecionados, lavados em água corrente higienizados e sanitizados em água clorada (100 ppm) por 15 minutos. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Secagem de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande.

Cinética de secagem

A cinética de secagem foi realizada em estufa de circulação de ar com velocidade do ar de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, nas quais os frutos foram distribuídas uniformemente em bandejas. Os dados experimentais foram expressos em termos de razão de teor de água (X^*), dada pela relação entre as diferenças de teores de água no tempo, t, e teor de água de equilíbrio ($X(t) - X_{eq}$) e teores de água inicial e de equilíbrio ($X_i - X_{eq}$). Como descrito na Equação (1):

$$X^*(t) = \frac{X(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (1)$$

Sendo que: X^* = razão de teor de água (adimensional); X_{eq} = teor de água de equilíbrio (base seca); $X(t)$ = teor de água (base seca); X_i = teor de água inicial (base seca).

As funções empíricas $f(t,a,b)$ apresentadas na Tabela 1, foram ajustadas aos conjuntos de dados experimentais, usando regressão não linear através do Software de Ajuste de Curvas LAB Fit (Silva e Silva, 2008). Os resultados, dos modelos empíricos, foram avaliados por meio dos indicadores estatísticos qui-quadrado, χ^2 (Equação 7) e coeficiente de determinação, R^2 (Bevington & Robinson, 1992; Da Silva et al., 2008; Taylor, 1997; Silva et al., 2014).

Tabela 1- Modelos empíricos utilizados na descrição da cinética de secagem.

Nome do modelo	Equação empírica
Lewis	$X^* = e^{-at}$ (2)
Silva et al.	$X^* = e^{-at-b\sqrt{t}}$ (3)
Handerson e Pabis	$X^* = ae^{-bt}$ (4)
Peleg	$X^* = t(a+bt)$ (5)
Page	$X^* = e^{-at^b}$ (6)

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{exp,i}^* - X_{pre,i}^*)^2}{N - n} \quad (7)$$

onde, χ^2 : é a função qui-quadrado; $X_{exp,i}^*$: é a razão de umidade experimental; $X_{pre,i}^*$: é a razão de umidade prevista pelo modelo; N: é o número de dados experimentais; e n: é o número de coeficientes e constantes do modelo.

Caracterização físico-química e de compostos bioativos da casca in natura e seca

Os frutos *physalis in natura* e ao final de cada secagem foram caracterizados centesimalmente e em relação aos compostos bioativos quanto aos seguintes parâmetros centesimais: o teor de umidade foi determinado por secagem em estufa a 105 °C até peso constante; o teor de cinzas foi determinado por incineração em mufla; o teor de proteína total foi quantificado pelo método de Micro-Kjeldahl, que consistiu na determinação do nitrogênio total de acordo com a metodologia descrita por Brasil (2008); e o teor de lipídeos foi quantificado pelo método modificado de Blig e Dyer (1959); o teor total de carboidratos foi calculado por diferença para obter 100% da composição total (FAO, 2003).

O teor de antocianinas totais e flavonoides seguiram o método pH único descrito por Francis (1982). O método consiste em uma transferência quantitativa de uma alíquota do extrato concentrado para um recipiente e então essa alíquota é diluída em uma solução etanol-HCl a 1,5 mol.L⁻¹ tendo assim um volume de extrato diluído. A quantificação de carotenoides totais (licopeno) seguiu a metodologia descrita por Davies (1976). Os compostos fenólicos totais foram quantificados a partir do método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterhouse

(2006), utilizando ácido gálico como padrão. Os cálculos realizados para a determinação dos compostos fenólicos foram baseados em uma curva padrão com ácido gálico, e as leituras realizadas em espectrofotômetro a 765 nm, com os resultados expressos em $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de ácido gálico.

A atividade antioxidante pelo método do ABTS⁺ foi determinada pelo método proposto por Re et al. (1999), com modificações feitas por Rufino et al. (2007), expresso em ($\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$), enquanto que a atividade antioxidante por DPPH foi feita de acordo com metodologia descrita por Rufino et al. (2007), com adaptações, apresentando o resultado final em g de amostra/g de DPPH captado (EC_{50}). Para ambas as análises foi utilizado água destilada como solvente extrativo.

Análise estatística

Os dados experimentais foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software Assistat 7.7 (Silva & Azevedo, 2016).

3. Resultados

Cinética de secagem

Estão descritos na Tabela 2 os parâmetros estatísticos qui-quadrado (χ^2) e coeficiente de determinação (R^2), obtidos para os modelos matemáticos de Lewis, Silva et al. Henderson e Pabis, Peleg e Page ajustados aos dados experimentais obtidos na secagem convectiva de *physalis* nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Constatou-se que todos os modelos matemáticos apresentam coeficientes de determinação (R^2) iguais ou superiores a 0,98 em todas as temperaturas do ar de secagem aplicadas. Segundo Moscon et al. (2017), o R^2 (que varia de 0 a 1) indica a proximidade entre os dados obtidos e os estimados, verificando-se que todos os modelos aplicados representam adequadamente o processo de secagem estudado.

Porém, de acordo com Martins et al. (2015) o R^2 quando avaliado de maneira isolada, não constitui um bom critério de seleção de modelos não-lineares. Tornando-se necessário a observação conjunta de outros parâmetros estatísticos como o qui-quadrado (χ^2). O modelo Silva et al. apresentou R^2 superiores a 0,99 em todas as temperaturas aplicadas e valores inferiores de χ^2 quando comparado aos demais modelos matemáticos aplicados, sendo considerado como o mais eficiente na descrição do processo de secagem de physalis nas condições avaliadas. Vega-Gávez et al. (2012) ao realizarem a cinética de secagem de physalis nas temperaturas de 40, 50, 60, 70, 80 e 90°C, utilizando a desidratação osmótica como pré-tratamento, verificaram que o modelo de Midili se ajustou melhor aos dados obtidos, sendo considerado como mais eficiente na descrição do processo nas circunstâncias avaliadas.

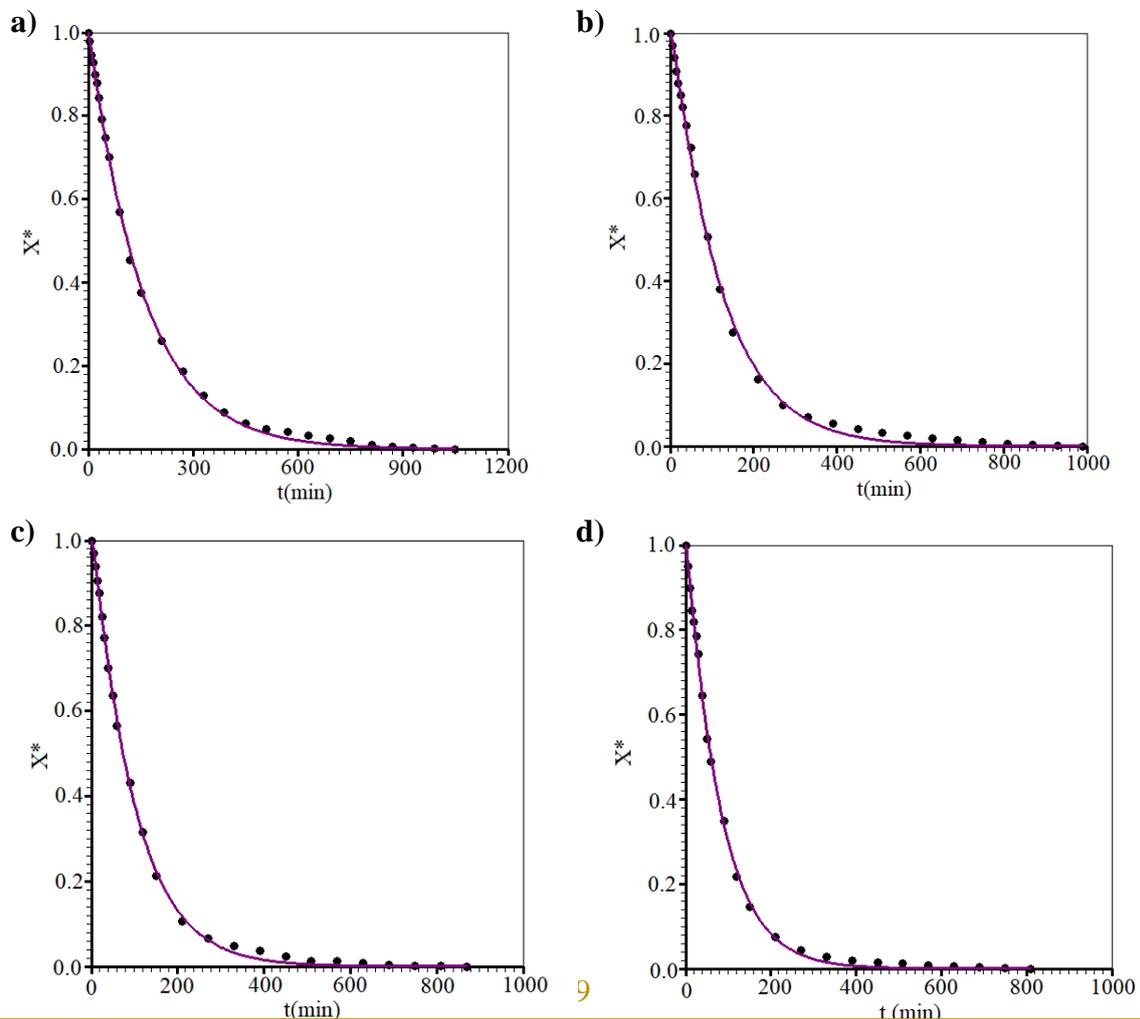
Tabela 2 – Resultados obtidos através do ajuste dos modelos matemáticos empíricos.

Modelo	T (°C)	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2	$\chi^2 \times 10^{-3}$
Lewis	40	$6,207 \times 10^{-3}$	-	0,9993	3,384
	50	$7,634 \times 10^{-3}$	-	0,9978	11,159
	60	$9,330 \times 10^{-3}$	-	0,9983	8,949
	70	$11,645 \times 10^{-3}$	-	0,9982	6,587
Silva et al.	40	$6,679 \times 10^{-3}$	$-0,0491 \times 10^{-1}$	0,9995	2,184
	50	$9,096 \times 10^{-3}$	$-0,1349 \times 10^{-1}$	0,9998	3,735
	60	$11,296 \times 10^{-3}$	$-0,1625 \times 10^{-1}$	0,9994	2,192
	70	$13,431 \times 10^{-3}$	$-0,1336 \times 10^{-1}$	0,9991	3,331
Handerson e Pabis	40	1,014	$6,366 \times 10^{-3}$	0,9995	2,259
	50	1,028	$8,009 \times 10^{-3}$	0,9981	7,501
	60	1,033	$9,883 \times 10^{-3}$	0,9988	4,358
	70	1,042	$12,083 \times 10^{-3}$	0,9985	4,896
Peleg	40	$1,259 \times 10^2$	0,8365	0,9834	32,378
	50	$1,025 \times 10^2$	0,8468	0,9871	59,266
	60	$0,836 \times 10^2$	0,8521	0,9873	54,617
	70	$0,653 \times 10^2$	0,8700	0,9857	52,227

Page	40	$0,535 \times 10^{-2}$	1,030	0,9994	2,798
	50	$0,443 \times 10^{-2}$	1,117	0,9991	4,676
	60	$0,571 \times 10^{-2}$	1,111	0,9992	3,227
	70	$0,804 \times 10^{-2}$	1,089	0,9991	3,250

Nota: *a* e *b*: Parâmetros dos modelos empíricos; R^2 : Coeficiente de determinação; χ^2 : Função qui-quadrado.

Na Figura 1, observa-se o ajuste do modelo Silva et al. aos dados experimentais obtidos para as quatro temperaturas de secagem de physalis. Percebe-se maiores inclinações das curvas durante os instantes iniciais do processo de secagem, indicando maiores gradientes de temperatura entre o ar de secagem e o produto. Pode-se observar que as maiores perdas de umidade são verificadas nos instantes iniciais do processo, que tende a decrescer até que o produto apresente umidade de equilíbrio. Percebe-se de maneira evidente que o incremento da temperatura provocou o aumento da taxa de secagem e consequentemente a redução do tempo do processo, comportamento semelhante foi observado na secagem de diversos materiais agrícolas, como no abacate (Avhad & Marchetti, 2016), tucum (Silva et al., 2018) e tomates (Nabnean et al., 2016).



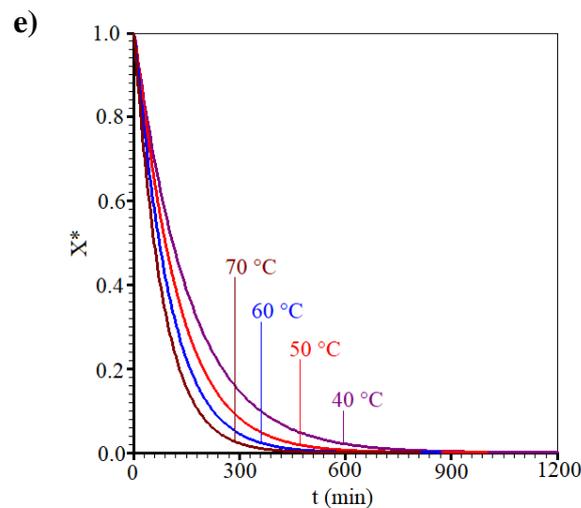


Figura 1- Cinética de secagem do fruto physalis usando simulações do modelo empírico Silva et al. para as diferentes temperaturas: a) 40 °C; b) 50 °C; c) 60 °C; d) 70 °C; e) sobreposição.

Composição centesimal e dos compostos bioativos

Para os frutos *in natura* analisados (Tabela 3), observou-se que cerca de 88,57% de sua composição é de água. O teor de umidade relatado na literatura para esse fruto é menor do que o determinado no presente trabalho. Pereda et al. (2019) e Hassanien (2011), por exemplo, determinaram que o teor de umidade para o fruto *in natura* é 79,11% e 78,9%, respectivamente. Também foram observados neste estudo teores superiores de cinzas (2,87%) e lipídeos (1,08%), quando comparados aos dados obtidos por Pereda et al. (2019) e Hassanien (2011), cujo valores foram 0,81% de cinzas e 0,39% de lipídeos. No entanto, a qualidade de frutas pode sofrer alterações devido a fatores pré-colheita, como: temperatura, a umidade relativa do ar, a luminosidade, a textura do solo, os ventos e as chuvas (Mattiuz, 2007).

Tabela 3 - Composição centesimal e compostos bioativos do *physalis in natura*.

Parâmetros	<i>in natura</i>
Umidade ¹ (%)	88,57 ± 4,12
Cinzas (%)	2,87 ± 0,54
Lipídeos (%)	1,08 ± 0,35
Proteína (%)	0,84 ± 0,21
Carboidratos totais (%)	6,64 ± 0,64
Antocianinas (mg/100g)	0,77 ± 0,07
Flavonoides (mg/100g)	20,74 ± 4,12
Carotenoides totais (µg/g de licopeno)	4,51 ± 2,15
Compostos fenólicos totais (mgGAE/100g)	208,93 ± 22,13
Atividade antioxidante por ABTS ⁺ (µmol Trolox g ⁻¹)	4,68 ± 0,97
Atividade antioxidante por DPPH (% de sequestro)	87,47 ± 2,47

Nota: ¹base úmida; *in natura*: fruto fresco.

O conteúdo de proteínas apresentado foi inferior ao encontrado por Pereda et al. (2019) (1,35%). Porém, segundo Puente et al. (2011), o conteúdo de proteína do *Physalis peruviana* L pode apresentar variações de 0,3 a 1,90%. Já o conteúdo de carboidratos foi inferior ao encontrado nos estudos realizados por Hemalatha et al. (2018), Pereda et al. (2019) e Hassanien (2011), cujos valores foram de 13,10, 14,22 e 19,6%, respectivamente. Essa variação pode ocorrer em virtude da variação de fatores como, aspectos climáticos do local de produção e estágio de maturação dos frutos no momento das análises.

As antocianinas, são pigmentos relativamente instáveis, sendo que sua maior estabilidade ocorre sob condições ácidas. O *physalis in natura* apresentou teor de antocianinas de 0,77 mg.100g⁻¹. O conhecimento químico das antocianinas pode ser usado para que se minimize a degradação por meio da seleção adequada de processos e pigmentos antociânicos específicos para as aplicações pretendidas. Os principais fatores que regem a degradação das antocianinas são pH, temperatura e concentração de oxigênio (FENNEMA et al., 2010).

De acordo com Fennema et al. (2010), embora a maior parte da cor amarela dos alimentos seja atribuída à presença de carotenoides, essa cor em alguns alimentos é atribuída à presença de flavonoides do tipo não antociânico. No referido estudo o *physalis in natura* apresentou teor de 20,74 mg.100g⁻¹ para flavonoides. Nos estudos realizados por Licodiedoff et al. (2013a), foram relatadas concentrações de flavonoides de 78,64 (µg de rutina/mL), 4,67 (µg de miricetina/mL) e 2,38 (µg de campferol/mL) para o *Physalis peruviana* RS. Já El-

Beltagi et al. (2019), relataram concentração de flavonoides totais de 6,39 (mg quercetina/g), o que mostra uma variação nos valores conforme método analítico, além da influência de fatores intrínsecos e extrínsecos que podem influenciar na composição dos frutos.

O teor de carotenoides neste estudo foi superior aos relatados por Cárcamo-Medina et al. (2019), que relatou teores de licopeno de 2,22 (mg/g de suco) para o suco do *Physalis peruviana* fresco, e 3,75 a 2,63 (mg/g de suco) para sucos submetidos a um tratamento térmico. Machado et al. (2019) em seus estudos com polpa de *Physalis* obtiveram 6,99 $\mu\text{g/g}$ de carotenoides. Segundo Fennema et al. (2010), os carotenoides são sensíveis à luz, ao calor excessivo e à exposição a ácidos. Essa sensibilidade os torna muito vulneráveis durante seu processamento e armazenamento, o que faz com que vários cuidados devam ser tomados para minimizar suas perdas.

Quanto ao conteúdo de compostos fenólicos, neste estudo foi observado uma maior concentração, quando comparado com o estudo de Silva et al. (2016) com espécies de frutos *physalis* de área subtropical, encontrado um valor de 93,57 (mg GAE.100 g^{-1}) para a espécie *P. peruviana*, e os apresentados por El-Beltagi et al. (2019), com valor de 125,44 (mg GAE.100 g^{-1}). Machado et al. (2019) em seus estudos sobre a estabilidade da polpa de *Physalis* obtiveram 60,87 mgGAE.100 g^{-1} para os compostos fenólicos

A atividade antioxidante, pelo método ABTS para a polpa *in natura* do *physalis* foi de 4,68 ($\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$), inferior ao relatado por Licodiedoff et al. (2013b) ao estudar a atividade antioxidante de frutos no início e fim do estágio de maturação, encontrando valores entre 7,88 a 8,07 ($\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ de fruto) para frutos pequenos e 7,49 a 7,81 ($\mu\text{M trolox g}^{-1}$ de fruto) para frutos grande. Valdenegro et al. (2012) mostraram que a atividade antioxidante do *physalis* pode variar de 5,24 a 8,67 ($\mu\text{M trolox g}^{-1}$ de fruto) conforme o estágio de maturação e tempo de estocagem.

Quanto a atividade antioxidante pelo método DPPH, LÓPEZ et al. (2013), para *Physalis peruviana* encontrou valores de 53,97 Mm TE.100 g^{-1} para o fruto fresco. Enquanto, Chang et al. (2008) relatou valores entre 13,17 e 94,64 (% sequestro). Estando o valor de 87,47 (% sequestro), encontrado neste estudo, dentro da faixa de percentual observada na literatura para o método DPPH.

Curi et al. (2017) realizaram a caracterização de diferentes espécies de *physalis* nativas americanas e obtiveram para o *Physalis peruviana* 75,06 (% de sequestro) para a capacidade antioxidante por DPPH. Teixeira júri et al. (2016) avaliaram o teor de polifenóis totais e a capacidade antioxidante dos extratos etanólicos dos frutos *Physalis peruviana L.* e obteve 100 (% de sequestro) para a atividade antioxidante por DPPH.

O efeito da temperatura de secagem aplicada aos frutos de physalis estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição centesimal e compostos bioativos do physalis após secagem em diferentes temperaturas

Parâmetros	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
Umidade (%)	10,89±0,12 ^a	9,87±0,16 ^b	9,57±0,20 ^c	8,58±0,15 ^d
Cinzas (%)	2,84±0,44 ^b	2,91±0,64 ^a	2,77±0,39 ^c	2,57±0,84 ^d
Lipídeos (%)	1,10±0,25 ^a	1,18±0,35 ^b	0,99±0,18 ^c	0,88±0,47 ^d
Proteína (%)	0,80 ± 0,47 ^a	0,76 ± 0,29 ^b	0,71 ± 0,16 ^{bc}	0,69 ± 0,78 ^c
Carboidratos totais (%)	84,37 ± 0,34 ^b	85,28 ± 0,46 ^b	85,96 ± 0,27 ^b	87,28 ± 0,65 ^a
Antocianinas (mg/100g)	1,45±0,15 ^a	1,12±0,22 ^a	0,59±0,23 ^b	0,31±0,19 ^c
Flavonoides (mg/100g)	32,52±2,89 ^a	30,56±2,87 ^b	20,12±5,14 ^c	10,12±4,16 ^d
Carotenoides totais (µg/g de licopeno)	8,57±1,12 ^a	6,54±0,98 ^b	3,41±1,10 ^c	1,65±0,45 ^d
Compostos fenólicos totais (mgGAE/100g)	249,58±25,14 ^a	223,89±22,41 ^b	198,15±15,70 ^c	97,25±35,26 ^d
Atividade antioxidante por ABTS ⁺ (µmol Trolox g ⁻¹)	5,18±0,45 ^a	4,89±0,32 ^b	3,75±0,25 ^c	2,11±0,49 ^d
Atividade antioxidante por DPPH (% de sequestro)	89,02±2,45 ^a	80,07±3,78 ^b	45,12±5,48 ^c	12,98±1,15 ^d

Nota: ^{a, b, c, d} Letras sobrescritas iguais na mesma linha não apresentam diferença significativa no nível de probabilidade de 5%.

Nota-se que o menor teor de umidade foi encontrado nos frutos secos na temperatura 70 °C, apresentando diferença estatística significativas quando se comparou os valores obtidos entre si. No entanto, segundo Ferrão et al. (2019) o aumento da temperatura de secagem resultou na maior eficiência na remoção de água durante o processo, mas que pode causar alterações na cor, sabor e textura que resultam em propriedades únicas no produto. Santos et al. (2019) obtiveram teor de umidade de 9,22% para as fatias de pêssgo submetidas a 80 °C.

O aumento da temperatura de secagem de 40 °C para 70 °C resultou uma variação de até 0,34% no teor de cinzas, sendo que o maior percentual foi observado na temperatura de 50 °C (2,91%), estatisticamente para todas as temperaturas aplicadas este mesmo parâmetro

apresenta diferença significativas ao nível de 5% de probabilidade. Valores inferiores foram obtidos por Santos et al. (2017) para o fruto do Camapu (1,98%).

Observou-se uma redução do conteúdo lipídico com o aumento da temperatura de secagem, o menor teor de lipídeos (0,88%), por exemplo, foi obtido para a maior temperatura aplicada (80 °C). Valores superiores ao do presente estudo foram observados por Meneses et al. (2018), no qual obtiveram 1,61% de lipídeos para resíduos de manga desidratados a 55 °C. Com relação ao teor de proteínas, os frutos submetidos a temperatura de 60 °C não apresentou diferenças estatística em relação aos frutos submetidos as temperaturas de 50 e 70 °C, além disso, o aumento da temperatura provocou redução de até 0,11% no teor de proteínas. Barros et al. (2019) também observaram, em seus estudos, redução no teor de proteínas com o aumento da temperatura de secagem.

Os carboidratos totais foram determinados por diferença com base nos outros constituintes e, portanto, a redução da umidade levou automaticamente a um pequeno aumento de até 2,91% no teor de carboidratos entre as temperaturas aplicadas. No entanto, apenas o valor obtido na temperatura de 70 °C (87,28%) foi significativamente diferente entre os outros tratamentos.

Todos os compostos bioativos analisados (antocianinas, flavonoides, carotenoides totais, compostos fenólicos) e atividade antioxidante apresentaram degradação com o incremento da temperatura de secagem de 40 °C para 70 °C. Da mesma forma os resultados obtidos também apresentaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Contudo, quando comparado ao fruto *in natura*, as temperaturas de 40 °C e 50 °C, apresentaram uma melhor conservação de todos os componentes bioativos e a atividade antioxidante pelo método DPPH apresentou maior atividade quando comparado com o método ABTS⁺. Uma redução nos compostos bioativos também foi observado por López et al. (2013), no estudo do efeito da temperatura de desidratação nas propriedades físico-químicas e na capacidade antioxidante de *Physalis peruviana* L. à medida que aumentou a temperatura de secagem.

4. Considerações finais

Todos os modelos matemáticos analisados apresentaram ajuste satisfatório aos dados experimentais obtidos, porém o modelo de Silva et al. apresentou ajuste superior quando comparado aos demais por apresentar valores superiores de R^2 e valores inferiores da função qui-quadrado. Observou-se que a temperatura aplicada durante o processo de secagem

influenciou diretamente na composição centesimal e nos compostos bioativos de *physalis*. Verificando-se que o aumento da temperatura provocou a redução no teor de umidade, cinzas e lipídios e que as temperaturas de 40 °C e 50 °C proporcionaram uma melhor preservação de todos os componentes bioativos e atividade antioxidante. Portanto, como futuros trabalhos pode-se avaliar a influência da temperatura na textura da fruta e a degradação dos compostos bioativos durante o armazenamento da fruta desidratada.

Referências

- Avhad, M. R., & Marchetti, J. M. (2016). Mathematical modelling of the drying kinetics of Hass avocado seeds. **Industrial Crops and Products**, 91, 76–87. Doi:10.1016/j.indcrop.2016.06.035
- Barros, S. L., Santos, N. C., Nascimento, A. P. S., Melo, M. O. P., Ribeiro, V. H. A., & Silva, V. M. A. (2019). Influence of Dehydration in the Physical-Chemical Quality of Commercial Sunflower Almonds. **Journal of Agricultural Studies**, 7(3), 82-90.
- Bevington, P. R., & Robinson, D. K. (1992). Data reduction and error analysis for the physical sciences, 2nd ed. **Boston, MA: WCB/McGraw-Hill.**
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiology**, 37, 911-917. Doi: 10.1139/y59-099
- Brasil, Instituto Adolfo Lutz. (2008). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** (4th ed., Volume 1, p.1020). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz.
- Cárcamo-Medina, L., Elezar-Turcios, M., & Ordóñez-Santos, L. E. (2019). Changes in the bioactive compounds of pasteurized gooseberry (*Physalis peruviana* L.) juice. **TecnoLógicas**, 22(45), 147-155. Doi: 10.22430/22565337.1279
- Chang, J. C., Lin, C. C., Wu, S. J., Lin, D. L., Wang, W. S., Miaw, C. L., & Ng, L. T. (2008). Antioxidative and hepatoprotective effects of *Physalis peruviana* extract against acetaminophen-induced liver injury in rats. **Pharmaceutical biology**, 46(10-11), 724-731. Doi: 10.1080/13880200802215768

Curi, P. N., Carvalho, C. S., Salgado, D. L., Pio, R., Silva, D. F., Pinheiro, A. C. M., & Souza, V. R. (2017). Characterization of different native american physalis species and evaluation of their processing potential as jelly in combination with brie-type cheese. **Food Science and Technology**, 38(1), 112–119. Doi:10.1590/1678-457x.01317

Da Silva, W. P., Mata, M. E. R. M. C., Silva, C. D. P. S., Guedes, M. A., & Lima, A. G. B. (2008). Comportamento da secagem de grãos de feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) variedade sempre-verde, como base para a determinação da difusividade efetiva e energia de ativação. **Engenharia Agrícola**, 28(2), 325–333. Doi: 10.1590/S0100-69162008000200013

Davies, B. H. (1976). Carotenoids in Chemistry and Biochemistry of plant Pigments. 2nd ed. Edt. W. Goodwin. p. 38-165. **Academic Press**, London. 1976.

El-Beltagi, H. S., Mohamed, H. I., Safwat, G., Gamal, M., & Megahed, B. M. (2019). Chemical Composition and Biological Activity of *Physalis peruviana* L. **Gesunde Pflanzen**, 71(2), 113-122. Doi: 10.1007/s10343-019-00456-8

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food Energy: Methods of Analysis and Conversion Factors**. Report of a Technical Workshop; Food and Nutrition Paper Volume 77; FAO: Rome, Italy, 2003.

Fennema, O. R., Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2010). Química de Alimentos de Fennema. **Editorial Acribia**, Espanha, 1258p.

Ferrão, A. C., Guiné, R. P. F., Corrêia, T., & Rodrigues, R. (2019). Analysis of drying kinetics of eggplant through thin layer models and evaluation of texture and colour properties. **Chemistry Research Journal**, 4(1), 24-32.

Francis, F. J. (1982). Analysis of anthocyanins in foods. In: Markakis P, Anthocyanins as Food Colors. New York, **Academic Press**, 181-207.

Hassanien, M. F. R. (2011). *Physalis peruviana*: a rich source of bioactive phytochemicals for functional foods and pharmaceuticals. **Food Reviews International**, 27(3), 259-273. Doi: 10.1080/87559129.2011.563391

Hemalatha, R., Kumar, A., Prakash, O., Supriya, A., Chauhan, A., & Kudachikar, V. (2018). Development and Quality Evaluation of Ready to Serve (RTS) Beverage from Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.). **Beverages**, 4(2), 42. Doi: 10.3390/beverages4020042

Landim, A. P. M., Barbosa, M. I. M. J., & Júnior, J. L. B. (2016). Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidante capacity, color and texture of fruits and vegetables: a review. **Ciência Rural**, 46(10), 1714-1722. Doi: 10.1590/0103-8478cr20150534

Licodiedoff, S., Koslowski, L. A. D., & Ribani, R. H. (2013a). Flavonol rates of gosseberry fruits *Physalis peruviana* determined by HPLC through the optimization and validation of the analytic method. **Int. J. Food Sci. Nutr. Eng**, 3,1-6. Doi: 10.5923/j.food.20130301.01

Licodiedoff, S., Koslowski, L. A. D., & Ribani, R. H. (2013b). Flavonols and antioxidant activity of *Physalis peruviana* L. fruit at two maturity stages. **Acta Scientiarum. Technology**, 35(2), 393-399. Doi: 10.4025/actascitechnol.v35i2.13265

López, J., Vega-Gálvez, A., Torres, M. J., Lemus-Mondaca, R., Quispe-Fuentes, I., & Scala, K. (2013). Effect of dehydration temperature on physico-chemical properties and antioxidant capacity of goldenberry (*Physalis peruviana* L.). **Chilean journal of agricultural research**, 73(3), 293-300. Doi:10.4067/S0718-58392013000300013

Machado, T. F., Monteiro, E. R., & Tiecher, A. (2019). Estabilidade química, físico-química e antioxidante de polpa de *Physalis* pasteurizada e não pasteurizada sob congelamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, 22, Doi:10.1590/1981-6723.14917

Martins, E. A. S., Lage, E. Z., Goneli, A. L. D., Hartmann Filho, C. P., & Lopes, J. G. (2015). Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19(3), 238–244. Doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p238-244

Mattiuz, B. H. (2007). Fatores da pré-colheita influenciam a qualidade final dos produtos. **Revista Visão Agrícola**, 7, 18-21.

Meneses, V. P., Da Silva, J. R. A., Neto, J. F., Rolim, H. O., De Araújo, A. L. M., & Lima, P. S. E. (2018). Subprodutos de frutas tropicais desidratados por secagem convectiva. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 13(4), 472-482. Doi: 10.18378/rvads.v12i4.4993

Moscon, E. S., Martin, S., Spehar, C. R., Devilla, I. A., & Rodolfo Junior, R. (2017). Cinética de secagem de grãos de quinoa (*chenopodium quinoa* w.). **Revista Engenharia na Agricultura**, 25(4), 318-325.

Muniz, J., Molina, A. R., & Muniz, J. (2015). Physalis: Panorama produtivo e econômico no Brasil. **Horticultura Brasileira**, 33(2). Doi:10.1590/S0102-053620150000200023

Nabnean, S., Thepa, S., Janjai, S., & Bala, B. K. (2016). Drying kinetics and diffusivity of osmotically dehydrated cherry tomatoes. **Journal of Food Processing and Preservation**, 41(1), 1-11. Doi:10.1111/jfpp.12735

Olivares, M. L. T., Verkerk, R., Boekel, M. A. J. S., & Dekker, M. (2017). Thermal stability of phytochemicals, HMF and antioxidant activity in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). **Journal of Functional Foods**, 32, 46–57. Doi: 10.1016/j.jff.2017.02.021

Pereda, M. S. B., Nazareno, M. A., & Viturro, C. I. (2019). Nutritional and antioxidant properties of *Physalis peruviana* L. fruits from the Argentinean northern Andean region. **Plant Foods for Human Nutrition**, 74(1), 68-75, 2019. Doi: 10.1007/s11130-018-0702-1

Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. **Food Research International**, 44(7), 1733-1740. Doi: 10.1016/j.foodres.2010.09.034

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 26,1231-1237.

Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Morais, S. M., Sampaio, C. G., Jimenez, J. P., & Calixto, F. D. S. (2007). Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico Embrapa**, 127, 1-4.

Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Morais, S. M., Sampaio, C. G., Jimenez, J. P., & Calixto, F. D. S. (2007). Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico Embrapa**, 127, 1-4.

Santos, K. S., Flores, E. M., & Malcher, E. T. (2017). Caracterização química e atividade antioxidante (in vitro) do fruto do camapú (*Physalis peruviana, L.*). **Revista Ciência e Sociedade**, 1(2), 89-102.

Santos, N. C. et al. (2019). Kinetics of Drying and Physical-Chemical Quality of Peach cv. Hubimel. **Journal of Agricultural Science**, 11(16), 223-232.

Silva, D. F. D., Pio, R., Soares, J. D. R., Elias, H. H. D. S., Villa, F., Boas, V., & de Barros, E. V. (2016). Light spectrum on the quality of fruits of physalis species in subtropical area. **Bragantia**, 75(3), 371-376. Doi: 10.1590/1678-4499.463

Silva, F. A. S., & Azevedo, C. A. V. (2016). The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, 11, 3733-3740. Doi: 10.5897/AJAR 2016.11522

Silva, M. B., Perez, V. H., Pereira, N. R., Silveira, T. C., Silva, N. R. F., Andrade, C. M., & Sampaio, R. M. (2018). Drying kinetic of tucum fruits (*Astrocaryum aculeatum Meyer*): physicochemical and functional properties characterization. **Journal of Food Science Technology**, 55(5), 1656–1666. Doi: 10.1007/s13197-018-3077-2

Silva, W. P. & Silva, C. M. D. P. S. **LAB Fit Curve Fitting Software** (Nonlinear Regression and Treatment of Data Program) V 7.2.50 (2008), online, disponível em: <www.labfit.net>, Acesso em: 2019-Junho-28.

Silva, W. P., Silva, C. M. D. P. S., Gama, F. J. A., & Gomes, J. P. (2014). Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 13, 67-74. Doi: 10.1016/j.jssas.2013.01.003

Souza, C. L. M., Souza, M. O., Oliveira, R. S., Nascimento, M. N., & Pelacani, C. R. (2017). Biometric characteristics of fruits and physiological characterization of seeds of *Physalis* species (*Solanaceae*). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 12(3), 277-282. Doi:10.5039/agraria.v12i3a5447

Taylor, J. R. (1997). **An introduction to error analysis**, 2nd ed. Sausalito, California: University Science Books.

Teixeira Júri, B. et al. (2016). Avaliação do teor de polifenóis totais e da capacidade antioxidante dos extratos etanólicos dos frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) de diferentes locais do Peru. **Jornal da Sociedade Química do Peru**, 82(3), 272-279.

Valdenegro, M., Fuentes, L., Herrera, R., & Moya-León, M. A. (2012). Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment. **Postharvest Biology and Technology**, 67, 110-117. Doi:10.1016/j.postharvbio.2011.12.021

Vega-Gálvez, A., Puente-Díaz, L., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., & Torres, M. J. (2012). Mathematical modeling of thin-layer drying kinetics of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, 38(2), 728–736. Doi:10.1111/jfpp.12024

Waterhouse, A. (2006). Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, 3-5.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Newton Carlos Santos – 11,12%

Sâmela Leal Barros – 11,11%

Raphael Lucas Jacinto Almeida – 11,11%

Shênia Santos Monteiro – 11,11%

Amanda Priscila Silva Nascimento – 11,11%

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – 11,11%

Josivanda Palmeira Gomes – 11,11%

Márcia Ramos Luiz – 11,11%

Danise Medeiros Vieira – 11,11%