

Estudo comparativo entre *refractance window* e liofilização na secagem de polpa de maracujá-azedo

Julia Meller Mendes Silva¹ · Elidio Angioletto²

Resumo O maracujá-azedo (*Passiflora edulis Sims*) é um fruto tropical altamente perecível, devido à intensa atividade respiratória e à excessiva perda de água. Isto diminui a sua qualidade e deprecia seu valor comercial. Este problema pode ser solucionado através do uso de técnicas de conservação, sendo uma das alternativas a secagem. Por retirar a água do produto, a secagem reduz a deterioração microbiológica e as reações de degradação, aumentando assim a vida de prateleira do alimento. O processo de secagem também proporciona a redução no peso e volume do produto, facilitando o armazenamento e transporte. A liofilização é caracterizada principalmente por ser uma das melhores técnicas quando o foco é manter a qualidade do produto. A secagem por *refractance window* vem sendo bastante estudada como processo alternativo para a secagem de alimentos por manter suas características sensoriais (sabor e cor) e menor tempo de secagem. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo comparativo entre as técnicas de secagem *refractance window* e liofilização para avaliar as perdas de vitamina C durante os processos. Foram realizadas as análises de cor, umidade, atividade de água e de vitamina C, na matéria prima in natura e após os processos de secagem. Para realizar a secagem por *refractance window* foi construído um secador de bancada com base nos equipamentos descritos na literatura. A secagem por *refractance window* foi realizada utilizando água como agente de aquecimento nas temperaturas de 60 e 80°C. Os produtos desidratados apresentaram estabilidade microbiológica (baixa umidade e atividade de água).

Os resultados de vitamina C encontrados nos produtos para os dois processos estudados indicaram que a secagem por *RW* na temperatura de 60°C foi eficiente já que obteve valores próximos aos encontrados pelo processo de liofilização. Podendo ser utilizado em substituição a liofilização e gerando produtos com maior valor agregado já que apresenta baixo custo e menor tempo de processo.

Palavras-chave: *Passiflora edulis Sims* · Secagem · Vitamina C

✉ ¹ juliameller@live.com

✉ ² ean@unesb.net

1 Introdução

O gênero *Passiflora* possui mais de 500 espécies, das quais cerca de 150 são nativas do Brasil. O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de maracujá, produzindo até 1 milhão de toneladas, sendo mais de 90% dos pomares de maracujá no país da espécie *Passiflora edulis Sims*, conhecido como maracujá-amarelo ou azedo, devido a qualidade de seus frutos e maior rendimento industrial [1].

Na indústria, a polpa do maracujá é utilizada principalmente para a fabricação de néctares, sucos concentrados ou prontos para o consumo. Também é utilizado na formulação mista com outras polpas de frutas, extrato de soja, na formulação de produtos lácteos como iogurtes, na fabricação de bombons, bolos, sorvetes, mousses, geleias e doces [1]. Além da polpa, a casca e as sementes são utilizadas como matéria prima na fabricação de produtos para a indústria de alimentos e de fármacos.

O maracujá é um dos frutos tropicais de mais difícil conservação. A intensa atividade respiratória e a excessiva perda de água pela transpiração aceleram o processo de enrugamento do fruto, o que compromete a sua qualidade [2].

Devido à alta perecibilidade de várias frutas, muitas técnicas vêm sendo estudadas no sentido de garantir a disponibilidade de produtos durante o ano todo com qualidade, contribuindo para a diminuição de perdas, dentre as quais se destacam os processos de secagem.

A secagem é um processo de remoção de uma substância volátil, geralmente água, de uma matéria prima sólida, semi-sólida ou líquida por aplicação de calor. No caso específico de liofilização, a secagem ocorre por sublimação. Mudança de fase e produção de uma fase sólida com pouca ou nenhuma umidade como produto final é uma característica do processo de secagem, essa definição, portanto, exclui operações como evaporação, centrifugação, sedimentação, entre outros. [3].

As condições de secagem são determinadas pelas características específicas de cada produto em conjunto com as propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de secagem [4].

A indústria de alimentos utiliza o processo de secagem visando a preservação de alimentos, pois promove a redução na capacidade de desenvolvimento microbiano, a ocorrência de reações químicas indesejadas e o peso e volume dos alimentos, facilitando o armazenamento e minimizando os custos de transporte [5]. Além disso, contribui de forma significativa como uma alternativa para a redução de perdas ocasionada pelo excesso de produção e frutas fora do padrão pois diminui o desperdício e gera produtos com maior valor agregado [6].

Durante a secagem, os alimentos sofrem mudanças físicas, químicas e biológicas, que podem afetar alguns atributos sensoriais como textura, cor, sabor e valor nutricional. O principal desafio da secagem é a produção de alimentos secos que mantenham a qualidade nutricional e organoléptica [7].

A liofilização é um processo de secagem, conhecido por ser uma ótima técnica na preservação das propriedades dos alimentos. O processo é constituído por três etapas: congelamento, secagem primária e secagem secundária. O congelamento serve para imobilizar a água no produto a ser liofilizado, interrompendo reações químicas e atividades biológicas. Na secagem primária o material é desidratado por sublimação e em seguida há a secagem secundária onde ocorre a dessorção, retirada da água que está ligada a estrutura do material utilizando-se baixas temperaturas de secagem e pressões reduzidas [8].

Devido à ausência de água líquida e as baixas temperaturas utilizadas durante o processo, as reações microbiológicas e de degradação reduzem muito, o que dá ao produto final uma qualidade excelente. O estado sólido da água durante a liofilização protege a estrutura primária e o formato dos produtos com redução mínima no volume [9].

Por trabalhar com baixas temperaturas e, geralmente sob vácuo, esse processo é recomendado para materiais termossensíveis, materiais biológicos, farmacêuticos, alimentícios e produtos químicos; gerando produtos de qualidade superior quando comparados às outras técnicas de secagem [10]. A liofilização promove boa retenção de formato, sabor, cor, vitaminas e capacidade de reidratação, mas apesar

das vantagens é um processo muito caro quando comparado a outros métodos de secagem tradicionais.

O processo de secagem por *refractance window* (RW) foi desenvolvido pela MCD Technologies, Inc. em Tacoma, Washington, EUA. A secagem por RW tem sido estudada como um potencial método alternativo à liofilização, *spray drying* e secador de tambor para a produção de *flakes* ou pós [11]. Além da sua capacidade de lidar com uma gama diversificada de produtos (líquidos, pastosos), sua aplicação prática é produzir frutas, vegetais, ervas e outros materiais em produtos com maior valor agregado [5].

O *refractance window* utiliza água quente circulante, geralmente entre 95 e 97°C e à pressão atmosférica, como fonte de calor para a desidratação. O produto é espalhado sobre uma esteira plástica que fica em contato com a água quente na sua superfície inferior (Fig. 1). A temperatura de secagem do produto geralmente ocorre abaixo de 70°C [5]. O produto seco é movido até uma seção de arrefecimento antes de sair da esteira, o que facilita a separação entre o produto e a correia. O tempo de residência do produto na esteira de secagem é de 3 a 5 minutos, em contraste com a liofilização que pode demorar mais de 12 horas [12].

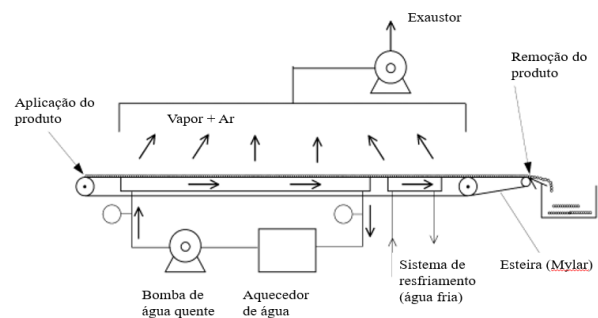


Fig. 1- Esquema do secador *refractance window* [12].

O uso de água quente como meio de transferência de calor e temperaturas abaixo do ponto de ebulição é exclusivo do método *refractance window*. Os três modos de transferência de calor no sistema RW são principalmente por condução e radiação da água para a amostra a ser desidratada e por convecção da amostra aquecida para o ar circundante [11].

Para secar uma quantidade similar de produto, o custo do equipamento de secagem *refractance window* é aproximadamente um terço do custo de um liofilizador e os custos com energia são 50% menores se comparado aos liofilizadores [5]. Estudos como o de Nindo e Tang [5] mostraram que a secagem por RW apresenta boa retenção dos compostos naturais e qualidade do produto, podendo ser comparado a liofilização.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo fazer um estudo comparativo da perda de vitamina C na secagem da polpa de maracujá-azedo utilizando os processos de secagem por liofilização e por *refractance window*

2 Materiais e Métodos

2.1 Obtenção da polpa

O maracujá utilizado no estudo foi adquirido em um mercado da região de Criciúma. As frutas foram lavadas em água corrente e sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 15 minutos. As frutas foram cortadas e a polpa extraída manualmente. As sementes foram retiradas com o auxílio de uma peneira e a polpa resultante foi homogeneizada em liquidificador doméstico por 5 minutos. Em seguida uma parte da polpa foi separada para a caracterização in natura e o restante foi distribuída em sacos de polietileno de 500 g e armazenadas em freezer até o momento da realização das análises.

2.2 Caracterização da matéria prima

A polpa de maracujá in natura foi caracterizada de acordo com as seguintes análises: teor de vitamina C através de titulação, utilizando o método de Tillmans (adaptado por Benassi) [13], atividade de água determinada por leitura direta no equipamento medidor de atividade de água portátil modelo Aw43, teor de sólidos solúveis determinado utilizando um refratômetro portátil Instrutherm modelo RT-30 ATC e umidade determinada por secagem em estufa a 105 °C até peso constante segundo metodologia do IAL [14]. A análise de vitamina C foi feita em triplicata e o restante das análises em duplicata.

2.3 Curva de secagem

A curva de secagem da polpa de maracujá-azedo foi realizada em estufa da marca Marconi, modelo MA030/12, na temperatura de 80 ± 5°C. Foi realizada a verificação da massa da amostra em intervalos de tempo de 2 minutos (até o tempo de 10 minutos) e em intervalos de 5 minutos até o final do processo (peso constante).

Para a construção da curva de secagem calculou-se a umidade adimensional (MR) a partir da Equação 1:

$$MR = \frac{M_t - M_F}{M_0 - M_F} \quad (1)$$

Onde M_t = Umidade do produto no tempo “t”; M_0 = Umidade inicial do produto; M_F = Umidade final do produto (equilíbrio).

2.4 Equipamento de secagem por *refractance window*

Um equipamento em escala de laboratório foi construído para a realização da secagem por *refractance window*, usando como base os equipamentos apresentados na literatura [15], seguindo os princípios do equipamento comercial, porém sem esteira automática, funcionando em batelada.

O equipamento consiste em um recipiente retangular de inox com as dimensões: 38,5 cm de largura, 64 cm de comprimento e 20 cm de altura, sobre o qual foi fixado um filme de poliéster Mylar com 0,25 mm de espessura. Ao equipamento foi acoplado um banho termostático marca Dist, modelo DI-970, responsável pela alimentação e controle de temperatura da água durante o processo de secagem.

Para a secagem, a polpa de maracujá-azedo, em temperatura ambiente, foi espalhada sobre o secador utilizando uma espátula. Os experimentos foram realizados com água de aquecimento nas temperaturas de 60 e 80 ± 5°C.

2.6 Liofilização

Para a Liofilização, a polpa foi previamente congelada em ultrafreezer marca Liotop, modelo UFR 30, a -90 °C ± 1°C por 24 horas. Foi utilizado o equipamento Liotop, modelo L101, a uma temperatura de -50 ± 1°C e pressão de 70 µmHg para a liofilização da amostra por um período de 24 horas.

3 Resultados e Discussões

3.1 Caracterização da matéria-prima

A caracterização da polpa de maracujá-azedo in natura está apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização da polpa de maracujá in natura.

	Maracujá	Padrão
Umidade (g/100g)	84,75	82,9 [16]
Atividade de água	0,956	-
Vitamina C (mg/100g em base úmida)	44,11	19,8 [16]
Teor de sólidos solúveis (°Brix)	13,5	11 [17]

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas da polpa de maracujá-azedo in natura foram próximos ao descrito na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos [16] e de acordo com a Instrução Normativa N°1 de 07/01/2000 [17]. Destacase o alto valor de Vitamina C encontrado neste estudo em relação aos dados da literatura, que pode estar relacionado ao curto tempo entre a extração da polpa e a realização da análise além das características de solo e região onde o maracujá foi produzido.

A atividade de água é um fator determinante na conservação de um alimento. A polpa de maracujá apresentou uma alta atividade de água, mostrando que o produto é suscetível a contaminação de microrganismos.

3.2 Curva de secagem

A curva de secagem, representada pela umidade adimensional ao longo do tempo, é apresentada no Figura 2. O processo de secagem levou 55 minutos para que a amostra atingisse o equilíbrio (massa constante).

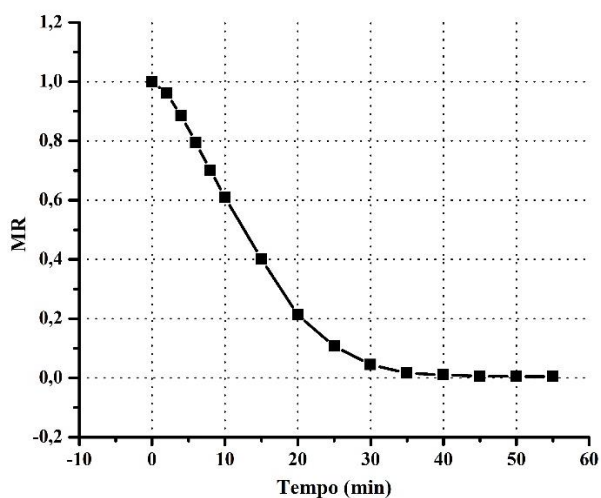


Fig. 2 – Curva de umidade adimensional em função do tempo de secagem da polpa de maracujá em estufa a $80 \pm 5^\circ\text{C}$.

3.3 Secagem

Os parâmetros de secagem e os resultados obtidos nas análises físico-químicas dos produtos desidratados estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros e resultados da secagem da polpa de maracujá por diferentes métodos.

Método	Refractance window		Liofilização
Temperatura ($^\circ\text{C}$)	60 ± 5	80 ± 5	-50 ± 1
Tempo (h)	2	2	24
Rendimento (%)	13,00	11,66	12,99
Umidade (%)	24,71	19,16	6,63
Atividade de água	0,387	0,295	0,278

A secagem por *refractance window* foi realizada em duas temperaturas diferentes (60 e 80°C) com um tempo de duas horas de secagem para ambas. O rendimento em massa e a umidade para a temperatura de 60°C foi de 13% e 24,71%, respectivamente e de 11,66% e 19,16% para a temperatura de 80°C . Já para a liofilização o rendimento foi de 12,99% e a umidade foi de 6,63%. O rendimento encontrado para as duas técnicas de secagem utilizadas apresentou valores próximos indicando que os dois processos apresentam a mesma eficiência. Com relação ao percentual de umidade, a liofilização apresentou o menor valor quando comparado a *RW*. Apesar disso, os valores de atividade de água finais nos produtos foram muito próximos nos dois processos indicando que a estabilidade microbiológica foi atingida de maneira bastante satisfatória.

Segundo Gava [18] a maioria do crescimento bacteriano é inibido para atividades de água abaixo de 0,6, enquanto que para a maioria dos mofo e leveduras seu crescimento é afetado abaixo de 0,8. Os valores de atividade de água encontrados para ambos os métodos de secagem garantem a estabilidade e conservação do produto em temperatura ambiente.

Tabela 3 – Quantidade e perda de vitamina C na polpa de maracujá seca e in natura.

	Vitamina C (mg/100g sólido seco)	Perda de vitamina C (%)
Polpa in natura	289,26	-
Polpa seca <i>RW</i> (60°C)	200,01	25,21
Polpa seca <i>RW</i> (80°C)	145,13	49,67
Polpa liofilizada	223,68	22,67

Em geral a perda de vitamina C nos processos de secagem convencionais é alta devido as temperaturas e ao tempo de contato com a matéria prima. A taxa de destruição é diferente para cada tipo de alimento e varia de acordo com a atividade de água [19]. Na secagem por *RW* houve uma redução de 25,21% (60°C) e 49,67% (80°C) na quantidade de

vitamina C em relação a polpa in natura e na liofilização a perda de vitamina C foi de 22,67%. Observa-se que a perda de vitamina C encontrada para a liofilização foi próxima a obtida para a secagem em *RW* na temperatura de 60°C. Um estudo feito por Abonyi et al. [12] comparou algumas características de morangos secos por diferentes métodos de secagem, obtendo uma perda de vitamina C de 6% na secagem por *RW*. A baixa perda de vitamina C neste estudo está relacionada ao fato do curto tempo de residência da fruta no secador (3 a 5 minutos). Apesar do tempo de residência para a secagem do maracujá neste estudo ter sido maior (2 horas) a perda de vitamina C foi próxima a encontrada na liofilização indicando que a *RW* pode ser uma técnica promissora de secagem. Nindo [20] estudou as propriedades de aspargos submetidos a diferentes métodos de secagem. O estudo mostrou que a secagem por *RW* foi a que melhor manteve a quantidade de vitamina C, seguido das técnicas de secagem por liofilização, leito de jorro com microondas, leito de jorro e secador de bandejas. Isso mostra que a secagem por *refractance window* mantém a qualidade dos alimentos quando comparada a técnicas convencionais utilizadas na secagem de alimentos.

O processo de secagem da polpa de maracujá pelo método *refractance window* resultou na formação de um filme elástico que pode ser moldado. Apresentou uma coloração mais escura comparada a cor da polpa in natura para as duas temperaturas de secagem estudadas, devido as reações entre os açúcares presentes na polpa (devido ao longo tempo de exposição em alta temperatura, houve a caramelização). Após o processo de secagem as amostras foram trituradas com auxílio de um almofariz ficando na forma de pó (Figura 3).

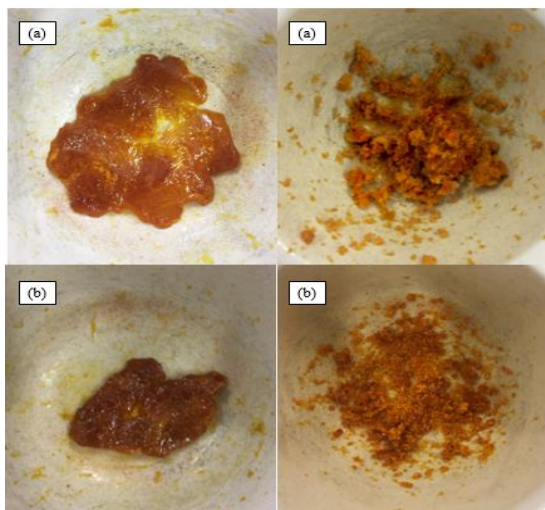


Fig. 3 – Polpa de maracujá-azedo após secagem por *RW* a (a) 60°C e (b) 80°C e após moagem.

Devido à baixa massa molar dos açúcares e ácidos orgânicos que constituem 90% dos sólidos das polpas das frutas o produto final (desidratado) ficou aderido a superfície do secador (filme) e foi retirado com auxílio de uma espátula. Em virtude dos sólidos apresentarem uma baixa temperatura de transição vítrea, quando submetidos à variação de umidade e temperatura apresentam essa “pegajosidade” que resulta em uma aderência nas paredes do secador reduzindo o rendimento do processo [6].

A polpa de maracujá seca por liofilização (Figura 4) apresentou o mesmo aspecto “pegajoso” encontrado na secagem por *RW*, formando um material aglomerado. O produto apresentou uma coloração mais clara comparado a secagem por *RW* uma vez que a temperatura de secagem utilizada não promoveu o processo de caramelização.



Fig. 4 – Polpa de maracujá-azedo após secagem por liofilização.

4 Conclusões

O equipamento de secagem por *refractance window* construído neste estudo mostrou ser capaz de secar a polpa de maracujá-azedo de maneira satisfatória.

Os baixos teores de umidade e atividade de água dos produtos obtidos garantiram a estabilidade microbiológica nos dois processos de secagem estudados (liofilização e *RW*).

A secagem por *RW* mostrou ser viável para a secagem de maracujá azedo e gerou produtos desidratados com qualidade similar ao processo de liofilização. Apresentando a vantagem de ser um processo de menor custo e com menor tempo de processo.

Por ser uma técnica promissora a secagem por RW pode ser aprimorada através da utilização de aditivos que promovam o aumento do teor de sólidos solúveis a polpa de maracujá.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UNESC, ao Iparque, ao Laboratório de Reatores e Processos Industriais (LabRePI) e ao Laboratório de Desenvolvimento de Biomateriais e Materiais Antimicrobianos (Ladebima) pela infra-estrutura e apoio para realização dos experimentos.

Referências

- [1] FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, T. V. Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: EMBRAPA, 2016.
- [2] VIANNA – SILVA, T. et al. Determinação da maturidade fisiológica de frutos de maracujazeiro-amarelo colhidos na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 57-66, 2010.
- [3] MUJUNDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 4. ed. Boca Raton: CRC press, 2014.
- [4] PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.
- [5] NINDO, C.I.; TANG, J. Refractance Window dehydration technology: a novel contact drying method. **Drying Technology**, v. 25, n. 1, p. 37–48, 2007.
- [6] PEDRO, M. A. M. **Influência de encapsulantes e do método de secagem nas propriedades físico-químicas e atributos de qualidade de polpa de maracujá (*Passiflora edulis f. Flavicarpa*) em pó**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto, 2009.
- [7] CRAPISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Design and Performance Evaluation of Dryers. In: VALENTAS, K. J.; ROTSTEIN, E.; SINGH, R. P. **Handbook of food engineering practice**. New York: CRC Press, 1997. p. 132-173.
- [8] TATTINI JUNIOR, V.; PARRA, D. F.; PITOMBO, R. N. M. Influência da taxa de congelamento no comportamento físico-químico e estrutural durante a liofilização da albumina bovina. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 1, p. 127-136, 2006.
- [9] RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.
- [10] MARQUES, L. G. **Liofilização de Frutas Tropicais**. 249 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2008.
- [11] EVRANUZ, E. O. Drying vegetables: new technology, equipment and examples. In: SINHA, N. et al. **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing**. Blackwell Publishing Ltd, 2011. p. 299-315.
- [12] ABONYI, B. I. et al. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ system. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 1051–1056, 2002.
- [13] BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, p. 507-513, 1988.
- [14] IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2008.
- [15] SILVA, D. A.; RABELO, L. L. **Montagem de um sistema de secagem por Refractance Window visando aplicações acadêmicas no curso de graduação em Engenharia de Alimentos**. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
- [16] TACO. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. 4 ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2011.
- [17] BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para suco de fruta. **Diário Oficial da União**, 2000.
- [18] GAVA, A. J. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Nobel, 1998.
- [19] CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2010.
- [20] NINDO, C. I. et al. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 36, n. 5, p. 507–516, 2003.