

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Gabriela Marin Rodrigues

**SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA DA POLPA DE MIRTILO (*Vaccinium myrtillus*)**

FLORIANÓPOLIS

2019

Gabriela Marin Rodrigues

**Secagem em leito de espuma da polpa de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*)**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos  
Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carmen Maria Olivera Müller

FLORIANÓPOLIS

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rodrigues, Gabriela Marin  
Secagem em leito de espuma da polpa de mirtilo  
(*Vaccinium myrtillus*) / Gabriela Marin Rodrigues ;  
orientador, Carmen Maria Oliveira Müller, 2019.  
66 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos,  
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2. Secagem em  
leito de espuma. 3. Mirtilo (*Vaccinium myrtillus*). 4.  
Cinética de secagem. 5. Isotermas de sorção. I. Müller,  
Carmen Maria Oliveira . II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.  
III. Título.

Gabriela Marin Rodrigues

**Secagem em leito de espuma da polpa de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*)**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos

Florianópolis, 27 de Novembro de 2019.

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Maria Olivera Müller.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Maria Olivera Müller,  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vivian Burin  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Isabela Toaldo  
Universidade Federal de Santa Catarina

*Dedico este trabalho aos meus pais. Vocês fazem coisas incríveis por mim.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a presença de Deus na minha vida, por Ele me dar exatamente o que preciso, sempre.

Aos meus pais, Cláudia e Ricardo, por todo apoio, dedicação, carinho, amor, educação, por cuidarem de mim da melhor forma e estarem sempre presentes, sem vocês não seria feliz.

Aos meus avós, Alaíde e Mauro que, mesmo distantes, me auxiliam com palavras, gestos e orações. Vocês moram no meu coração.

À Renata, minha madrastra, por todo seu carinho e cuidado.

Ao demais familiares, minha gratidão e orgulho por pertencer a uma família de valores e princípios.

Aos meus amigos de igreja, Laís e Márcio, vocês se tornaram minha família em Florianópolis.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de realização desse trabalho.

Gratidão à querida professora e orientadora Carmen Müller, por todos os ensinamentos ministrados em aula e fora dela, por seu profissionalismo, dedicação e carisma, que a tornam uma pessoa inesquecível. Sou grata pela oportunidade recebida. A admiro e me inspiro em sua pessoa, muito especial.

Ao professor Giustino Tribuzi, por toda atenção durante esses anos. Muito obrigada!

Aos colegas do Laboratório de Tecnologia e Bioprocessos por toda ajuda e paciência, especialmente à Karoline Panato, por tornar minha jornada nesse trabalho muito mais fácil.

À Natalia Silva, sempre presente e prestativa em todos os momentos que necessitei.

Às minhas melhores amigas, Isabella Bittencourt, Amanda Balieiro, Jéssica Schmitz, Milena Olival, Thaise Paes, Natalia Assunção e Maria Elise Lopes, por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e aceitando como sou, me alegrando e aconselhando; desejo que permaneçam comigo para sempre. Sou muito feliz por tê-las comigo.

Aos queridos: Daniel Nigro, Davi Menezes, Guilherme de Oliveira e Tiago Santos, por serem bons e fiéis amigos.

Ao Rafael que, mesmo longe, me deu segurança e tranquilidade, nesse momento tão sério e importante, na realização do trabalho conclusivo da graduação.

Agradeço, ainda, a todos que conheci em Portugal durante o intercâmbio, especialmente, ao amigo Eli que, desde o início, me recebeu de braços abertos, deu o suporte necessário para uma estadia serena. Terei você no coração, para sempre, em minha vida.

À Aline Nalon, minha companheirinha de estudos, festas e parceria nos momentos de carência, obrigada pela amizade.

Agradeço a todos meus professores da universidade, especialmente ao César Damian, Pedro Manique Barreto e Marilde, aprendi muito com todos vocês.

Ao Jonas Fedrigo por toda atenção e simpatia nos momentos tão importantes durante o curso e intercâmbio. Obrigada pela dedicação ao curso.

Ao Leandro e Jorge, também sempre sorrindo e muito prestativos, obrigada.

Finalmente, agradeço ao Gabriel, sem ele, eu não estaria tão bem e feito desse momento da minha vida, tão especial.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar e modelar a cinética de secagem de polpa de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) em leite de espuma (LE) a 45 °C. Para isso foi realizado um estudo de formação de espuma testando diferentes concentrações de estabilizante, proteínas e tempo de batimento, através de medidas de densidade e tempo de meia vida da espuma visando a formação de uma espuma estável. A formulação selecionada para formação da espuma continha a polpa de mirtilo adicionada de 1% de alginato de sódio (m/m) e 1% de clara de ovo desidratada (m/m) e batida por 10 minutos para incorporação de ar. O leite de secagem foi produzido através do espalhamento da espuma em três bandejas formando um leite de 0,4 cm de espessura. O processo de secagem foi realizado em estufa com circulação de ar (0,6 m/s) e acompanhado através da determinação da variação da massa em função do tempo de secagem. As cinéticas de secagens apresentaram um comportamento clássico de curvas de secagens de alimentos higroscópicos com período de taxa constante e decrescente. O modelo de Lewis foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da cinética de secagem com  $R^2 > 0,99$ . O tempo de secagem foi de 400 minutos e a taxa de secagem variou entre  $0,0102 \text{ minutos}^{-1}$  a  $0,0113 \text{ minutos}^{-1}$ . As isotermas de adsorção de umidade (25 °C) apresentaram aumento do  $X_{eq}$  com o aumento da  $A_w$  caracterizando-as como isotermas do tipo III. Para modelagem dos dados experimentais utilizou-se o modelo de GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer) que se mostrou adequado para descrever o comportamento do material seco ajustando-se satisfatoriamente aos dados experimentais. O produto obtido foi avaliado quanto às suas propriedades tecnológicas apresentando resultado para capacidade de retenção de água de  $7,25 \pm 0,6$  (g de água g ss<sup>-1</sup>) e  $60\% \pm 2,17$  de índice de solubilidade, valores esperados confirmando a higroscopicidade do produto. Em relação à cor (método CIELab), o produto após a secagem mostrou um eficiente poder estabilizante de cor.

**Palavras-chave:** Mirtilo, secagem em leite de espuma, higroscopicidade

## ABSTRACT

The objective of this research was to study and model the foam-mat drying kinetics of blueberry (*Vaccinium myrtillus*) in a foam-mat (FM) at (45 °C). For this purpose a foam formation study was carried out testing different concentrations of stabilizer, proteins and beat time, through density and half life time measurements to obtain a stable foam. The selected foam has blueberry pulp, a concentration of 1% sodium alginate and 1% albumin, which was beaten by incorporation air for ten minutes. The foam produced was spread on three 0.4 cm thick trays and oven dried. The process was assisted by mass measurements as a function of drying time. The drying kinetics showed a classic behavior of food drying curves with constant and decreasing rate period.

In drying kinetics the Lewis model was the best fit to the experimental data with  $R^2 > 0.99$ . The drying time was 400 minutes and the drying rate ranged from  $0.0102 \text{ minutes}^{-1}$  to  $0.0113 \text{ minutes}^{-1}$ .

Regarding the adsorption isotherms (25 °C), the expected was observed: an increase of  $X_{eq}$  in the increase of  $A_w$ . The isotherms were type III and the sorption isotherm modeling was performed with the GAB equation (Guggenheim, Anderson and Boer), showing a good fit to the experimental moisture data. The product obtained was evaluated for its technological properties, result of water retention capacity of  $7,25 \pm 0,6 \text{ (g water g dry solids}^{-1}\text{)}$  and  $60\% \pm 2,17$  of solubility index.

In relation to the color (CIELab method), the product after drying showed an efficient color stabilizing power.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Representação gráfica do processo: a umidade em função do tempo de secagem. 19	
<b>Figura 2</b> - Área plantada de mirtilo na américa do sul..... 23	
<b>Figura 3</b> - Isoterma de sorção de umidade generalizada para segmento de baixa umidade de alimento (20° c). ..... 26	
<b>Figura 4</b> - Apresenta as etapas de preparo da amostra a ser seca por leito de espuma..... 31	
<b>Figura 5</b> - Bandeja com controle de espessura de 0,4 cm. .... 31	
<b>Figura 6</b> – Curva de secagem em leito de espuma..... 40	
<b>Figura 7</b> - Ajuste do modelo de Lewis..... 42	
<b>Figura 8</b> - Produtos resultantes das análises de CRA (A) e CRO (B)..... 45	
<b>Figura 9</b> -Modelo de GAB ..... 47	

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química do mirtilo em 100g de fruto fresco. _____	24
Tabela 2- Testes de formação de espuma utilizando caseína e alginato _____	28
Tabela 3- Testes de formação de espuma utilizando clara de ovo e alginato _____	29
Tabela 4- Caracterização físico-química das polpas de mirtilo _____	36
Tabela 5- Determinação de densidade da polpa de mirtilo com/sem batimento, com/sem caseína e com/sem alginato. _____	37
Tabela 6- Determinação de densidade da polpa de mirtilo com/sem batimento, com/sem clara de ovo desidratada e com/sem alginato. _____	37
Tabela 7- Parâmetros de ajuste do modelo de Lewis para as cinéticas de secagem e coeficiente de determinação _____	42
Tabela 8- Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) para produto obtido de polpa de mirtilo em secagem em leite de espuma feito em triplicata _____	46
Tabela 9- Ajuste do modelo de GAB e determinação do coeficiente. _____	48
Tabela 10- Análise colorimétrica nos parâmetros $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $C^*$ e $h$ _____	50
Tabela 11- Diferença de coloração entre as amostras _____	50

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
3.1	SECAGEM	16
3.2	MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA E CURVAS DE SECAGEM	17
3.3	SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA	19
3.4	SECAGENS DE FRUTAS E POLPAS	21
<b>3.4.1</b>	<b>O mirtilo</b>	<b>22</b>
3.5	CARACTERIZAÇÃO DE PRODUTOS SECOS	24
<b>3.5.1</b>	<b>Teor de umidade e atividade de água</b>	<b>24</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Isotermas de Sorção</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>27</b>
4.1	MATERIAL	27
4.2	MÉTODOS	27
<b>4.2.1</b>	<b>Preparo das polpas de mirtilo</b>	<b>27</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Determinação de pH, acidez titulável e sólidos solúveis</b>	<b>27</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Processo de formação da espuma</b>	<b>28</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Tempo de meia-vida das espumas</b>	<b>30</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Secagem em leito de espuma (LE)</b>	<b>30</b>
4.3	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DA ESPUMA	32
4.4	MODELAGEM MATEMÁTICA DAS CURVAS DE CINÉTICA DE SECAGEM	32
4.5	CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS APÓS A SECAGEM	33
<b>4.5.1</b>	<b>Capacidade de retenção de água e óleo (CRA e CRO)</b>	<b>33</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Índice de solubilidade em água (ISA)</b>	<b>34</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Obtenção das curvas de isotermas de sorção de umidade de 0,11 a 0,9 de UR a 25°C</b>	
<b>4.5.4</b>	<b>Análise colorimétrica</b>	<b>35</b>
4.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	35
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>36</b>
5.1	ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE MIRTILO	36
5.2	DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE E TEMPO DE MEIA VIDA	36
<b>5.2.1</b>	<b>Análises das curvas cinéticas de secagem</b>	<b>39</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Análises de produtos após a secagem</b>	<b>43</b>
<i>5.2.2.1</i>	<i>Análise de CRA CRO E ISA</i>	44
<b>5.2.3</b>	<b>Isotermas de sorção</b>	<b>46</b>
5.3	ANÁLISE COLORIMÉTRICA	49
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A rapidez e a facilidade de acesso à informação levaram conhecimento ao consumidor aumentando a procura por alimentos de preparo rápido e prático que sejam associados a uma dieta saudável. Nessa perspectiva, a ingestão de frutas e hortaliças se destaca cujo consumo se dá tanto na forma *in natura*, como na forma de produtos processados na forma de polpas, sucos, frutas desidratadas, entre outros.

Frutas podem ser secas dando origem a uma variedade de produtos em função do processo aplicado como, por exemplo: frutas secas inteiras, fatiadas ou em pedaços, pós e flocos. O processo de secagem consiste em remover a umidade contida na matriz sólida a fim de se obter um produto com baixa atividade de água garantindo uma extensão da vida útil, conservando o alimento por mais tempo, reduzindo perdas pós-colheita e evitando perdas do valor comercial. Dentre os produtos produzidos a partir de frutas, os pós se destacam por possuírem grande aplicabilidade em diversas formulações alimentícias de preparo instantâneo e ampla aplicação como ingrediente na indústria, devido, sobretudo à facilidade de estocagem e transporte, além da estabilidade destes produtos. (BEZERRA, 2011).

Dentre as frutas que podem ser utilizadas para estes processos podemos citar o mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) também conhecido como *Blueberry*, um pequeno fruto que cresce em pequenos arbustos, de origem de climas frios, como América do Norte e Europa, com sabor doce, conhecido por suas propriedades funcionais cujo cultivo vem se tornando uma atividade de importância econômica principalmente na região sul do Brasil. (AMARAL, 2018). Essas pequenas frutas escuras são ricas em substâncias com características antioxidantes, principalmente, antocianinas, cuja ação pode proteger as células do corpo humano dos danos causados por radicais livres e retardar envelhecimento, substâncias encontradas em vários vegetais que neutralizam os radicais livres. O mirtilo é o fruto com maior atividade antioxidante quando comparado com outras 40 frutas e com os vegetais. Estes alimentos funcionais se caracterizam por oferecer vários benefícios à saúde além do valor nutritivo inerente à sua composição química, podendo desempenhar um papel potencialmente benéfico na redução do risco de doenças crônico degenerativas (SILVEIRA, 2008; NEUMANN et al., 2000; TAIPINA et al., 2002).

Por outro lado, esta funcionalidade pode ser comprometida pelo processo tecnológico ao qual essa matéria prima é submetida ou pela exposição a fatores ambientais, portanto o controle do processo e o sistema de embalagem são fundamentais para manutenção dessa característica. O processo de secagem convectiva convencional, seja da fruta inteira ou como polpa, pode levar baixas taxas de secagem fazendo com que o a fruta permaneça longos tempos a temperaturas, que mesmo não sendo elevadas, podem provocar a degradação das substâncias bioativas, como as antocianinas, responsáveis pela funcionalidade do alimento. Para evitar que danos nessas substâncias tão importantes sejam causados, o processo tecnológico mais vantajoso, por ser um processo econômico, com equipamentos de baixo custo, e com maior rapidez de eliminação de água, é a secagem em leito de espuma, pois é um processo que diferente dos convencionais, possui elevadas taxas, permitindo a obtenção de produtos com características de maiores qualidades tecnológicas, diminuindo degradação de cor e perdas de constituintes (SANGAMITHRA et al., 2015).

Neste contexto, esse estudo tem como principal objetivo avaliar as características físico-químicas e tecnológicas da polpa de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) seca em leito de espuma.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de secagem de polpa de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) em leite de espuma através da construção das curvas de secagem caracterizando o produto obtido.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar a polpa de mirtilo quanto ao pH, sólidos solúveis totais e acidez total titulável.

Formular uma espuma a partir da polpa de mirtilo utilizando proteínas e o hidrocolóide alginato de sódio.

Avaliar a densidade das espumas formadas.

Determinar as curvas cinéticas de secagem da espuma utilizando leite de 0,4cm de espessura.

Ajustar o modelo de Lewis aos dados cinéticos e determinar a taxa de secagem.

Caracterizar os produtos secos quanto às propriedades tecnológicas: capacidade de retenção de água (CRA), capacidade de retenção de óleo (CRO), índice de solubilidade em água (ISA) e análise colorimétrica.

Obter as isotermas de sorção de umidade e ajustar o modelo de GAB.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 SECAGEM

A necessidade de conservar os alimentos começou a ser uma preocupação para o homem pré-histórico quando as populações deixaram de ser nômades, e se fixaram em única área, deixando de se alimentar somente de produtos frescos, e percebendo necessidade de estocar alimentos caso houvesse momentos de escassez. Dessa forma, foram sendo desenvolvidas técnicas para evitar que esse alimento se deteriorasse, mantendo a segurança de um alimento por maior período (CRUZ, 1990).

Com o tempo, foram surgindo diferentes métodos de conservação. Com o fogo, defumaram alimentos, com o sal, realizaram a salga, carnes eram mergulhadas no mel ou em banha e mais tarde, outra forma experimentalmente descoberta foi colocando a carne ao sol, observando-se assim a formação de uma camada externa na carne depois de um tempo exposta, já seca, que mantinha a conservação da parte interna por maior período. Método conhecido como secagem ou desidratação (CRUZ, 1990).

A secagem, conforme Gava (1984), é um dos processos mais antigos utilizados na conservação de alimentos. É um processo copiado da natureza que foi aperfeiçoado pelo homem. Cruz (1990) relata que essa técnica começou a ser mais empregada devido a necessidade de grandes quantidades de alimentos para sustentar tropas em combate na primeira guerra mundial, e com grande sucesso, na segunda guerra mundial, foram desidratadas toneladas de mais de 160 tipos de vegetais.

Com o avanço da ciência, esses processos de conservação foram aprimorados, melhorando a qualidade e o tempo de vida dos produtos, além de muitas outras vantagens como a disponibilidade de alimentos sazonais durante todo ano, maior facilidade de transporte, o que também permite o alcance e acessibilidade de alimentos de certas regiões para lugares mais distantes, como em outros continentes.

A secagem (ou desidratação) é definida como “a aplicação de calor sob condições controladas (temperatura e velocidade do ar) para remover, por evaporação, a maioria da água normalmente presente em um alimento” (FELLOWS, 2006). O principal objetivo dessa

técnica é prolongar a vida útil, através da redução da atividade de água, inibindo o crescimento microbiano e reações químicas (CELESTINO, 2010). Na secagem, assim como em outros processos térmicos, o alimento pode reduzir alguns nutrientes, principalmente vitaminas, entretanto o processo de concentração que ocorre devido à remoção de umidade pode compensar essa perda (CRUZ, 1990).

Essas perdas nutricionais, depois do processo, são em função das características da matéria prima e deve ser considerada essa concentração de nutrientes, como é o caso de leites e carnes no que se refere às proteínas. Para outros produtos, como as oleaginosas, o processo de secagem pode ocasionar desnaturação proteica, escurecimento não enzimático, degradação de pigmentos e aumentar a velocidade dos processos oxidativos em gorduras e pigmentos (EVANGELISTA,2008; PARK et al.,2007, apud SILVA et al., 2015).

Apesar disso, o produto seco é leve e compacto, facilitando seu transporte e comercialização além de manter seu sabor estável por mais tempo. Outra vantagem desse processo é que os equipamentos utilizados têm baixo custo, tornando todo o processo mais econômico, além de não precisar de mão de obra especializada para sua realização, o que permite sua aplicação em diferentes escalas de produção. Portanto, por ter seu tamanho reduzido, o alimento seco tem diversas vantagens pela facilidade de embalagens, manejo, armazenamento e transporte (BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Sendo assim, a secagem é um processo muito utilizado na conservação de alimentos por pequenos, médios e grandes produtores no beneficiamento do produto. A composição nutricional é um parâmetro importante a ser avaliado durante o processo de secagem, sendo temperaturas altas e longos períodos de secagem, fatores que podem alterar sua composição. Porém com tecnologias adequadas, condições de secagens mais amenas podem ser realizadas diminuindo essas perdas. Como por exemplo, secagem por liofilização e leite fluidizado e leite de espuma (CRUZ, 1990).

### 3.2 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA E CURVAS DE SECAGEM

A secagem é definida como a redução de umidade de um produto. O tipo de material a ser seco é um fator importante em todos os processos de secagem, pois suas propriedades

físicas e químicas durante a secagem se diferem a possíveis alterações que possam ocorrer na eliminação de água do produto. Durante a secagem, os mecanismos de transferência de água no produto podem ser definidos pelo movimento da água sob forças capilares, difusão do líquido por gradientes de concentração, difusão da superfície, difusão do vapor de água nos poros de ar, fluxo devido aos gradientes de pressão e fluxo devido à condensação de vaporização do vapor de água (BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

A cinética de secagem descreve o comportamento da taxa de umidade em função do tempo. Este processo é controlado pelas características intrínsecas da matriz alimentícia, como porosidade e composição, teor de umidade do alimento e as condições do processo, como temperatura, velocidade do ar de secagem, projeto de equipamento, etc. (CELESTINO 2010).

O estudo da cinética de secagem visa o conhecimento do comportamento do material ao longo do processo, permite determinar a umidade crítica e constitui uma ferramenta para determinação do tempo de secagem, uma vez que conhecer o processo é de grande importância para o desenvolvimento e a otimização dos secadores, além de possibilitar a padronização do processo (SOARES, 2009).

Para entender o comportamento das curvas cinéticas de secagem, é apresentada a representação gráfica do processo: a umidade em função do tempo de secagem (Figura 1), (FELLOWS, 2006; CELESTINO, 2010).

O alimento, após ser colocado em um secador, permanece estável por um curto período, onde a superfície do alimento é aquecida, até a temperatura da superfície corresponder à temperatura de bulbo úmido do ar (A-B na Figura 1). Entre os pontos B-C ocorre o período de taxa constante, em que, durante a secagem, a água se movimenta do interior do alimento na mesma velocidade em que é evaporada da superfície, que se mantém úmido. Nesse período, observa-se uma redução constante de água em função do tempo.

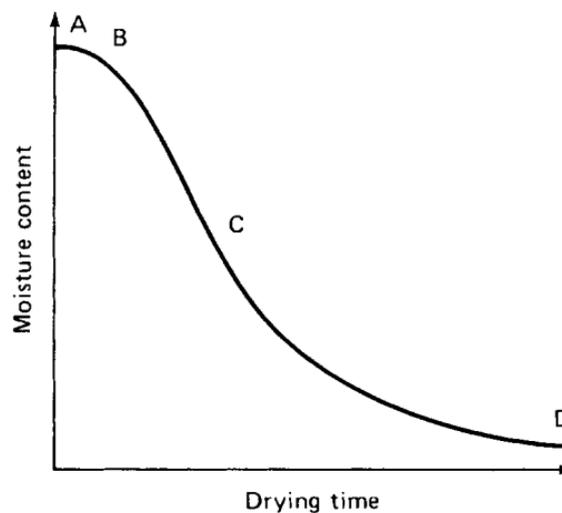
Durante o período B-C na Figura 1, “a superfície está saturada, existindo um filme contínuo de água sobre o sólido, que age como se não existisse sólido, ou seja, a água do alimento não tem nenhuma resistência para sair dele.” (CELESTINO, 2010).

Esse período ocorre até que o teor de umidade crítica é alcançado. É nesse ponto que aumenta a resistência interna e o movimento do líquido no interior do alimento não é o suficiente para compensar o líquido que está sendo evaporado da superfície, dando início ao intervalo

decrecente (C-D na Figura 1). O período de taxa decrescente pode ser dividido em duas etapas: a primeira ocorre em função de que tem cada vez menos líquido na superfície para evaporar, até que a superfície esteja completamente seca (ponto D), onde o calor necessário para remover a umidade é transferido do sólido para a superfície através de evaporação, assim a sua umidade diminui até atingir a umidade de equilíbrio. A segunda etapa ocorre no ponto D, quando a superfície do material está seca em sua totalidade. Pode não haver diferença notável entre o primeiro e o segundo período de velocidade decrescente e nesse momento a taxa de secagem é menor, pois a quantidade de água pode ser baixa e o tempo necessário para a continuação da eliminação de água, alto (DAMODARAN, 2010; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; CELESTINO, 2010).

A chegada da umidade de equilíbrio pode ser percebida quando o alimento se mantém sem alterações de massa, nas mesmas condições de tempo e temperatura. (DAMODARAN, 2010; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; CELESTINO, 2010).

**Figura 1** - Representação gráfica do processo: a umidade em função do tempo de secagem



Fonte: FELLOWS, 2010

### 3.3 SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA

As espumas são formadas por uma fase contínua aquosa e uma fase dispersa gasosa (ar). É um sistema coloidal em que o ar está disperso em um líquido ou sólido. O aprisionamento das bolhas de ar é devido a uma película, que é formada entre a fase aquosa e

a gasosa e as proteínas são os principais agentes ativos de superfície que ajudam na formação e na estabilização dessa fase dispersa gasosa (DALTIM, 2012; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A secagem em camada de espuma (foam-mat drying) é um processo em que alimentos líquidos ou semilíquidos são transformados por meio de incorporação de ar e junção de agentes espumantes, em espumas estáveis, para, então, serem desidratados (SILVA et al., 2008). Este processo é uma alternativa ao processo de secagem convectiva convencional em alimentos sensíveis ao calor, de alta viscosidade e com alto índice de açúcar, como suco de frutas (RAJKUMAR et al., 2007).

O processo é realizado em alimentos líquidos ou pastosos, que são inicialmente transformados em uma espuma estável através do batimento onde ocorre a incorporação de um gás (ar ou nitrogênio) onde, em alguns casos ocorre adição de um estabilizante. A seguir a espuma é espalhada sobre uma esteira em camadas de 2 a 3 mm e é colocada em contato com ar de secagem. Em função da alta área de transferência de massa, as taxas de remoção da umidade são elevadas o que reduz o tempo de secagem. Os tempos menores de processo, quando comparada à secagem convectiva convencional, faz com que alimentos submetidos à secagem em leito de espuma apresentem menores alterações associadas à degradação térmica. (OETTERER, 2006; FELLOWS, 2006).

De acordo com Travaglini et al., (2001) a secagem em leito de espuma deve seguir em três etapas: a modificação na consistência líquida do suco ou polpa em uma espuma estável, secagem do material em camada fina e pulverização do material desidratado. A secagem em leito de espuma produz materiais de alta porosidade fazendo com que estes apresentem boas propriedades de reidratação e/ou solubilização. Dentre as desvantagens, podem-se citar a necessidade de grande área superficial, elevando o custo do investimento. Estes fatores podem ser minimizados em função da rápida secagem (menores tempos de processo), temperaturas mais baixas de processo (menores gastos energéticos) e geração de produtos de alta qualidade. (FELLOWS, 2006).

Segundo Karim & Wai (1999), pode existir uma dificuldade em estabilizar a espuma durante o aquecimento na secagem. Para a estabilização da espuma no processo da secagem em leito de espuma, diversos aditivos podem ser adicionados no produto. Dentre os estabilizantes amplamente utilizados, se encontram as proteínas que devido a seu caráter anfifílico apresentam capacidade de formar filmes interfaciais na interface gás-líquido

permitindo a formação de grande quantidade de bolhas (fase dispersa) dentro do líquido (fase contínua) estabilizando estes sistemas (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Para que sejam consideradas estáveis, as espumas devem possuir uma estrutura firme que não escorram do suporte de secagem e que não colapsem por pelo menos uma hora. A adição de agentes espumantes ou estabilizantes (geralmente biopolímeros solúveis em água de alto peso molecular) evita o colapso durante a desidratação devido a um aumento na temperatura de transição vítrea do produto ou mudanças nas propriedades reológicas da espuma. O estabilizante de espuma deve, no entanto, ser adicionado em baixas concentrações devido que o excesso destes aditivos pode resultar em colapso da espuma (RATTI et al., 2006, SANGAMITHRA et al., 2015).

Os produtos elaborados por este método devem ter a embalagem cuidadosamente projetada em virtude de que em alguns pós, a umidade é inferior a 5% o que aliado à alta porosidade, faz destes materiais sistemas altamente higroscópicos exigindo ambientes com baixa umidade relativa do ar nas operações finais de moagem, peneiração e envase. (MARQUES, 2009).

### 3.4 SECAGENS DE FRUTAS E POLPAS

As frutas e hortaliças são as fontes naturais que têm maior abundância de micronutrientes, porém, nos países em desenvolvimento o consumo diário de fruta e hortaliças é apenas de 20% a 50% do recomendado pela FAO e a Organização Mundial da Saúde (OMS), (FAO, 2015).

Um grande desafio do agronegócio são as perdas pós colheita, estimadas em até 50% para alguns produtos, que, somente com o emprego de técnicas adequadas, serão minimizadas. Atualmente, muitas pesquisas estão direcionadas, principalmente para a área de melhoramento, na obtenção de transgênicos, resistentes a doenças e pragas, sem perder sua qualidade, e pesquisas sobre seu comportamento durante o armazenamento, sempre objetivando o aumento da vida de prateleira (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Sendo assim, a secagem é um importante método pós colheita que prolonga a vida útil e que impede a deterioração e perda de valor comercial de frutas e hortaliças, possibilitando a criação de novos produtos, com diferentes características e cujas propriedades se mantêm por

um tempo mais prolongado, beneficiando o alimento *in natura*, transformando o produto e assim, aumentando a oferta e incentivando investimentos na produção (SOARES et al., 2001).

Os produtos resultantes das secagens de polpas de fruta, além dos benefícios já citados, possibilitam a conservação do alimento em temperatura ambiente, sem haver necessidade de despesas com a cadeia de frio. A polpa processada na forma de pó apresenta diferentes possibilidades de formulação com outros produtos e sua baixa relação volume/massa, quando comparada às frutas *in natura*, resulta em economia em custos de embalagem e armazenamento (VIEIRA et al., 2007).

A qualidade do produto seco depende da qualidade da matéria prima empregada e grau de maturação. Assim frutas verdes resultam em produtos de qualidade inferior por não conter a cor ideal da fruta, além do sabor desagradável devido ao grau reduzido de açúcar e frutas muito maduras resultam em produtos escuros e com sabor de fruta passada (OETTERER, 2006).

### 3.4.1 O mirtilo

O mirtilo, em latim, *Vaccinium myrtillus*, é um fruto de arbusto pequeno, que alcança desenvolvimento de 0,2 a 0,4 metros, embora algumas espécies cultivadas cheguem a uma altura de até 2 m e adapta-se a climas frios. O seu fruto é uma baga de 10 a 30 mm de diâmetro, de sabor doce e cor violeta intenso, muito apreciado tanto para o seu consumo *in natura*, como para elaboração de diversos produtos (AYALA, 1999).

O mirtilo é nativo da América do Norte, onde é denominado "*blueberry*". No Brasil, os primeiros experimentos para a implantação do mirtilo datam de 1983, através da Embrapa Clima Temperado (Pelotas – RS), embora a maior expansão do cultivo comercial de mirtilos na região Sul tenha-se iniciado apenas na década de 2000, motivada pela crescente demanda do mercado mundial, brasileiro e pelos atrativos preços da fruta fresca no mercado europeu (RASEIRA, 2004). As plantações de mirtilo no Brasil estão concentradas nos estados do Rio Grande de Sul, Santa Catarina e Paraná, principalmente em pequenas propriedades (CANTUARIAS-AVILES et al., 2014)

Na figura 2 é apresentada a área plantada de mirtilos na América do Sul em 2006.

**Figura 2** - Área plantada de mirtilo na América do Sul

<b>País</b>	<b>Área (ha)</b>
Chile	10.500
Argentina	3.700
Uruguai	700
Brasil	118
<b>Total</b>	<b>15.018</b>

Fonte: EMBRAPA, 2016.

Atualmente, o mirtilo é conhecido mundialmente por sua elevada capacidade antioxidante, podendo trazer resultados benéficos a saúde humana.

Diversos estudos indicam que o mirtilo possui elevada fonte de compostos fenólicos com alta atividade antioxidante. De acordo com o estudo de Rodrigues et al., (2011) em que avaliaram o potencial antioxidante do mirtilo, indicam a existência de diferentes níveis de compostos fenólicos e atividade antioxidante de acordo com o tipo de cultivo de mirtilo e ao local de produção. Entretanto, os pesquisadores concluíram que o mirtilo apresenta grande potencial para o desenvolvimento de alimentos ricos em compostos bioativos.

Sousa et al. (2007), caracterizaram a cultivar *Jubilee*, pertence ao grupo dos mirtilos Southern Highbush que após análises constou ter em média, aproximadamente de 82% de água, sendo que esse valor pode variar dependendo do conteúdo de água nos tecidos devido a disponibilidade hídrica do solo quando é feita a colheita. Foram analisados outros componentes, como os açúcares, que estão em grande concentração de componentes solúveis e representam cerca de 80% da matéria seca. Desses, os principais açúcares no mirtilo são a frutose e a glucose. Os ácidos orgânicos pertencentes aos mirtilos estão em teores elevados, sendo os mais comuns o cítrico (entre 0,46 a 0,48 g/100g de fruto maduro), o málico (0,06 a 0,14 g/100 g) e o ácido quínico que representa 40% dos ácidos orgânicos presentes no fruto maduro. O mirtilo também é considerado um alimento rico em manganês, apresentando valores entre 0,4 a 1,2 mg/100 g, além de potássio, ferro, vitaminas A e C e fibra alimentar.

Na tabela 1 é apresentada a composição química de 100g de mirtilo fresco.

**Tabela 1- Composição química do mirtilo em 100g de fruto fresco.**

<b>Composição química</b>	<b>Teor</b>	<b>DP</b>	<b>CV</b>
Umidade (%)	87,68	0,02	0,02%
Proteína bruta (%)	0,57	0,04	7,01%
Lipídios (%)	0,10	0,01	10,0%
Cinzas (%)	0,19	0,01	5,26%
Fibra bruta (%)	1,69	0,09	5,32%
Carboidratos (%)	9,77	0,06	0,61%
Cálcio mg/100g	12,10	0,17	1,40%
Fósforo mg/100g	9,20	0,09	0,97%

n=3, DP= desvio padrão, CV= coeficiente de variação

Fonte: SILVEIRA, 2017

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO DE PRODUTOS SECOS

#### 3.5.1 Teor de umidade e atividade de água

A água é um componente intrínseco nos alimentos e é a responsável por criar um ambiente adequado para diversas reações químicas, e crescimento microbiano. Ela está presente no alimento como água livre e água ligada. A água livre encontra-se disponível ao desenvolvimento microbiano, pois está fracamente ligada aos substratos do alimento, sendo assim, pode ser facilmente removida. A água ligada pode ser pensada como a água que possui “mobilidade dificultada” em comparação à da água “livre”, pois está fortemente ligada aos substratos. A água ligada não está disponível para reações químicas. Assim, é a diminuição do teor de água livre dos alimentos, que retarda a proliferação de microrganismos (OETTERER, 2006; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Estudos comprovaram que diferentes alimentos com o mesmo conteúdo de água diferem em termos de perecibilidade. Portanto, somente o conteúdo de água não permite uma análise adequada da vida útil do produto. De fato, a água ligada é menos capaz de participar de reações químicas e crescimento de microrganismos que a água livre e por isso, deve-se considerar os conteúdos relativos dos tipos de águas do alimento através da atividade de água (Aw) O termo “atividade de água” (Aw) foi desenvolvido para indicar a intensidade com a qual a água associa-se a constituintes não aquosos. (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A atividade de água é definida como a razão entre a pressão de vapor de água do alimento (P) e a pressão de vapor da água pura a uma mesma temperatura (P<sub>0</sub>), variando, portanto entre 0 e 1, onde 1 corresponde à água pura e é um fator primário no crescimento microbiano, nas reações enzimáticas e não enzimáticas, e na produção de toxinas. Quando a atividade de água é inferior a 0,60 não há potencial de crescimento e proliferação microbiana.

Mesmo após desidratados os alimentos mantêm uma pequena quantidade de água, conhecida como umidade residual. E para frutas, é comum após a secagem, um percentual de 20 a 25% de umidade residual (CRUZ, 1990).

O estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção de umidade.

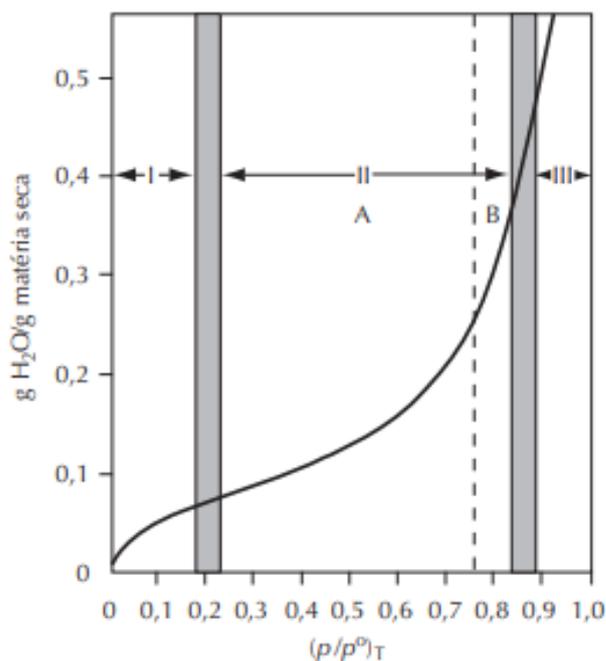
### **3.5.2 Isotermas de Sorção**

Produtos secos quando entram em contato com o ar, adsorvem umidade do meio, chegando a uma concentração chamada de umidade de equilíbrio, assim como produtos de umidade intermediária ou elevada desorvem umidade para o meio até atingir a umidade de equilíbrio. Ou seja, a umidade de equilíbrio é atingida quando o potencial químico da água no produto e no ambiente em que se encontra se igualam fazendo com que não ganhem e não percam água do ambiente, ou seja, sua umidade se mantém. O termo “sorção” é dado ao fenômeno de adsorção e dessorção de água do alimento quando ele está a um ambiente de temperatura e umidade relativa controlada através de um processo de secagem ou de reidratação (BOBBIO, 2001).

Cada alimento possui sua própria isoterma de sorção, que relaciona o conteúdo de umidade com a umidade relativa ou atividade de água numa temperatura específica. Conferindo assim, uma informação imprescindível na formulação de misturas de alimentos evitando a migração de água entre os diversos ingredientes, na determinação do teor de umidade que impede o crescimento dos microrganismos, na determinação de embalagens, na estabilidade do alimento, entre outros. O comportamento das isotermas de sorção pode ser previsto a partir do ajuste dos dados experimentais por modelos propostos em diversos estudos, para conhecer melhor cada característica dos produtos. A curva do conteúdo de água

de um alimento (expressa como massa de água por unidade de massa de matéria seca) versus  $(p/p_0)_T$  é conhecida como isoterma de sorção de umidade (ISU). (BARBOSA-CÁNOVAS; SCHMIDT; FONTANA, 2008; SILVA, 2007; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

**Figura 3** - Isoterma de sorção de umidade generalizada para segmento de baixa umidade de alimento (20° c).



Fonte: DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010.

Para a interpretação das isotermas de sorção costuma ser apropriada sua divisão conceitual em zonas, como indicado na Figura 3. À medida que se adiciona água (adsorção), a composição da amostra movimentava-se gradualmente da zona I (seca) para a zona III (de alta umidade). A água presente em quantidades abaixo do limite da zona I da isoterma pode ser considerada água fortemente ligada e indisponível. Ela permanece não congelada mesmo a uma temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$ . Ela se comporta simplesmente como uma parte do sólido. O limite de umidade superior da zona I (limite entre as zonas I e II) corresponde ao valor de umidade chamado de “monocamada BET” do alimento. A quantidade de água que ocupa totalmente as zonas I e II constitui menos de 5% da água presente em alimentos de alta umidade. A água da zona III está disponível como solvente e para o desenvolvimento de microrganismos. (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAL

As amostras de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) congeladas foram fornecidas por Integral e Congelados Vânio Morangos (Águas Mornas, SC, BRASIL) Para a secagem em leito de espuma foram realizadas duas formulações, a primeira utilizando caseína e posteriormente para a segunda formulação foi utilizada clara de ovo desidratada, contendo albumina (Sohovos, Brasil) em ambas, o alginato de sódio (Vetec, Brasil). Os demais reagentes utilizados nas análises foram de grau analítico.

### 4.2 MÉTODOS

#### 4.2.1 Preparo das polpas de mirtilo

Os mirtilos (2,960 quilogramas), foram descongelados, higienizados em água potável e batidos com adição de 300 mL de água em liquidificador (Mondial, Power 2, Brasil). As polpas obtidas foram embaladas em potes com tampa, de material polipropileno e congeladas em freezer doméstico a -15 °C para posterior utilização.

#### 4.2.2 Determinação de pH, acidez titulável e sólidos solúveis

Para a medida de pH utilizou-se um pHmetro de bancada (TEC-3MP- Tecnal, Brasil). O pHmetro primeiramente foi calibrado com solução tampão em pH 7 e 4 e para assim serem realizadas as medidas da amostra.

Para a determinação da acidez titulável, uma alíquota de 5 mL da amostra de polpa homogeneizada foi diluída em 50 mL de água destilada e titulada com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol/L até a faixa de pH 8,2-8,4 utilizando o pHmetro. A acidez total titulável foi

determinada em percentagem de ácido cítrico, (métodos 311e 312/IV) como média dos resultados encontrados. A determinação de sólidos solúveis foi realizada através da leitura direta utilizando o refratômetro digital (Mettler Toledo, Quickbrix 90, EUA), previamente calibrado com água destilada. Os valores foram expressos em °Brix (método 315/IV).

Todas as análises foram realizadas em triplicata (n=3) seguindo os métodos do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

#### 4.2.3 Processo de formação da espuma

Para a preparação da espuma da polpa de mirtilo, foram realizados dois experimentos. Em ambos foi utilizado o alginato de sódio (Veltec, Brasil), e como proteína, foram utilizadas a caseína (Lactoprot, Alemanha) e a clara de ovo desidratada, contendo albumina (Sohovos, Brasil). No primeiro teste utilizou-se caseína com concentrações que variaram em percentual (m/m) de 2,4% a 6,4%, alginato de sódio (2% a 5%) como estabilizante e em tempos de batimento de 5 a 15 minutos conforme Tabela 2. No segundo teste utilizou-se 1% (m/m) de clara de ovo desidratada, 1% de alginato (m/m) e variaram-se os tempos de batimento (Tabela 3).

Em todos os ensaios utilizou-se uma batedeira doméstica (Philips Walita, modelo RI7110 – 250 Watts, Varginha, MG, Brasil) na velocidade 3.

**Tabela 2- Testes de formação de espuma utilizando caseína e alginato**

<b>Amostra</b>	<b>Concentração de alginato de sódio (%)</b>	<b>Concentração de caseína (%)</b>	<b>Tempo de batimento (minutos)</b>
A0	0	0	0
A1	2%	2,4%	5
A2	3%	3,4%	10
A3	5%	4,4%	10
A4	5%	6,4%	10
A5	5%	6,4%	15

Fonte: Autora, 2019.

**Tabela 3 - Testes de formação de espuma utilizando clara de ovo desidratada (albumina) e alginato**

Amostra	Concentração de alginato de sódio (%)	Concentração de clara de ovo desidratada (%)	Tempo de batimento (minutos)
M0	0	0	0
M1	1%	1%	5
M2	1%	1%	10
M3	1%	1%	15
M4	1%	1%	20
M5	1%	1%	30

Fonte: Autora, 2019.

Para avaliar a formação da espuma foi determinada a densidade do material antes (A0) e após o batimento, utilizou-se pesa-filtros previamente calibrados com água destilada a 24 °C que foram cuidadosamente preenchidos até a totalidade do seu volume e posteriormente pesados em balança analítica para determinação do volume do pesa-filtro a partir da densidade da água a 24°C. Em seguida, foram adicionadas as polpas de mirtilo sem batimento (A0) e as espumas, pesadas em balança analítica (Bioprecisa, FA2104N, Brasil). Todas as medidas foram realizadas em duplicata. A densidade foi calculada como a relação da massa pesada por volume, conforme a equação 1. E através da medida de densidade pode-se selecionar o tempo de batimento ideal.

$$p amostra = \frac{m}{v}$$

(1)

Onde:  $p$ = Densidade ( $\text{g mL}^{-1}$  ou  $\text{g cm}^{-3}$ );  $m$ = massa da amostra (g);  $v$ = volume da amostra ( $\text{mL}$  ou  $\text{cm}^3$ ).

#### 4.2.5 Tempo de meia-vida das espumas

Para determinar o tempo de meia-vida das espumas, elas foram batidas de acordo com o tempo pré-estabelecido e após o batimento, o tempo de drenagem da metade do volume da espuma foi determinado. Para isto, 100 mL da polpa foi batido por 10 minutos e transferido para um béquer, à medida que o líquido drenava, estes eram transferidos para uma proveta. O tempo de drenagem até atingir 50 mL foi cronometrado. O tempo de meia-vida foi analisado em conjunto com a densidade a fim de determinar a melhor condição da espuma a ser utilizada no processo de secagem.

#### 4.2.6 Secagem em leito de espuma (LE)

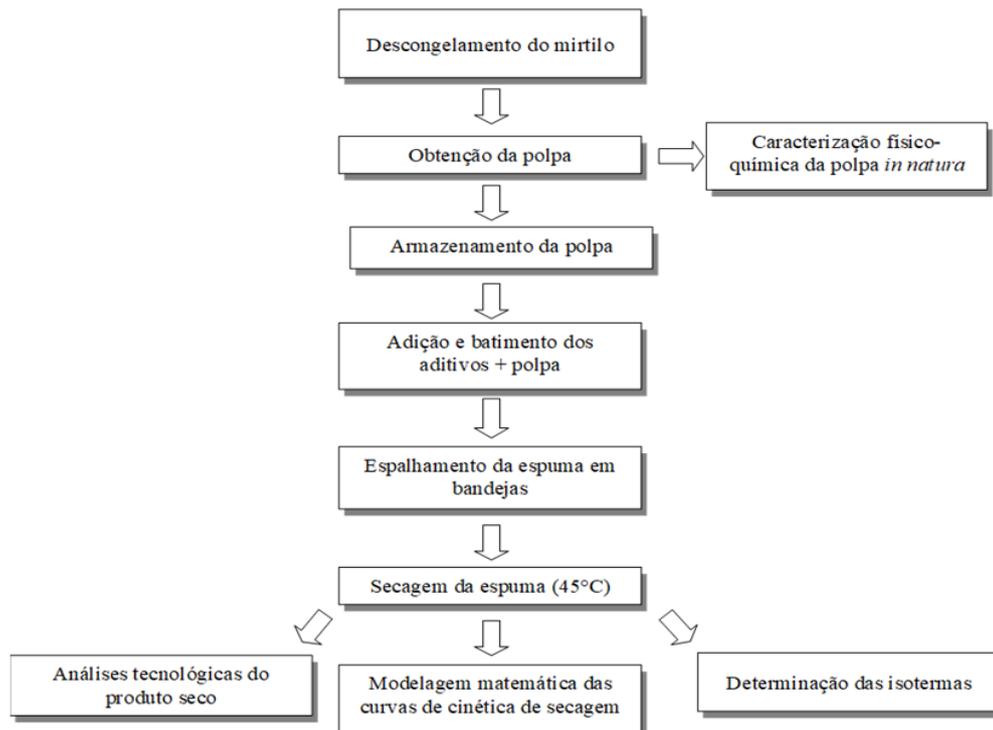
Foi selecionada a formulação cuja espuma apresentou a menor densidade e maior tempo de meia-vida, parâmetros que determinam uma espuma estável, e esta foi utilizada na secagem para a formação do leito de espuma. A secagem foi realizada em uma estufa com circulação e renovação de ar (TECNAL- TE-394/2, Brasil) a 45 °C, com velocidade de 0,6 ms. Após o batimento, as espumas foram espalhadas em bandejas de alumínio envoltas de papel celofane com um controle de espessura de 0,4 cm, o espalhamento foi feito cuidadosamente, para evitar a perda do ar incorporado durante a formação da espuma mantendo sua estrutura.

A variação da massa das amostras em função do tempo foi observada através de pesagens em balança semi analítica (Marte, AS2000C, Brasil) até massa constante. Após a secagem, as amostras secas foram embaladas a vácuo (Modulare CV 25, Brasil) em PEBD (polietileno de baixa densidade) e cobertas por papel alumínio para evitar a sua degradação pela luz.

Os dados gerados de massa em função do tempo permitiram a construção das curvas cinéticas de secagem da umidade em base seca (g de água/g de sólidos seco) por minutos.

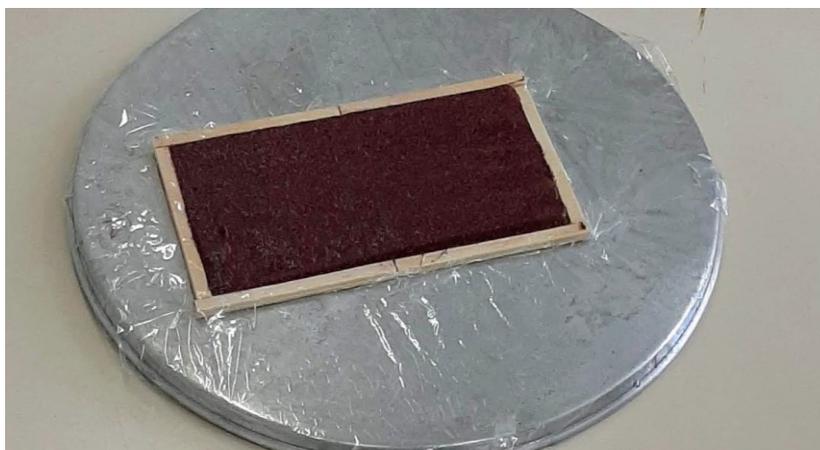
Na Figura 4 é possível visualizar o fluxograma do processo desde o descongelamento do fruto, até as análises realizadas, seguido pela Figura 5, a bandeja utilizada para a secagem com controle da espuma de espessura de 0,4 cm.

**figura 4-** Apresenta as etapas de preparo da amostra a ser seca por leite de espuma



Fonte: Autora, 2019.

**Figura 5-** Bandeja com controle de espessura de 0,4 cm.



Fonte: Autora, 2019.

### 4.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DA ESPUMA

A determinação da umidade foi realizada através do método do Instituto Adolfo Lutz (IAL), logo, foi pesada uma quantidade de amostra em pesa-filtros previamente preparados (1 hora na estufa a 105 °C e 30 minutos em dessecador), e colocadas em estufa com circulação de ar a 60 °C até atingir massa constante (método 012/1V) (IAL, 2008).

### 4.4 MODELAGEM MATEMÁTICA DAS CURVAS DE CINÉTICA DE SECAGEM

Com os dados coletados durante o processo da secagem (massa em função do tempo), calculou-se a umidade em base seca ( $U_{bs}$ ) em função do tempo de secagem e foram construídas as curvas cinéticas. Os resultados experimentais expressos em  $U_{bs}$  foram adimensionalizados de acordo com a Equação 3 e convertidos para razão de umidade (RU). O modelo de Lewis (Equação 4) foi ajustado aos resultados experimentais de RU em função do tempo utilizando a rotina de ajuste não linear no programa STATISTICA 13.0 (Starsoft, USA).

$$RU = \frac{X(t) - X_e}{X_0 - X_e}$$

(3)

Onde: X= umidade absoluta, em base seca (bs);  $X_e$  = umidade de equilíbrio (bs);

$X_0$  = umidade inicial (bs).

$$RU = \exp(-kt)$$

(4)

Onde: RU= razão de umidade (adimensional); t= tempo (minutos) e k= ( $\text{min}^{-1}$ )

#### 4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS APÓS A SECAGEM

Os produtos secos foram embalados a vácuo (Modulare CV 25, Brasil) em sacos PEBD e cobertos com papel alumínio para evitar a degradação da amostra pela luz. O produto foi caracterizado em termos de capacidade de retenção de água e óleo (CRA e CRO), índice de solubilidade em água (ISA), isoterma de sorção de umidade e análise colorimétrica.

##### 4.5.1 Capacidade de retenção de água e óleo (CRA e CRO)

O método utilizado para CRA e CRO foi modificado de Chau, Cheung e Wong (1997), onde foi adicionado um grama de amostra em tubo falcon, e 10 mL de água destilada, assim, o tubo foi agitado em um vortex (AP56-Phoenix Luterco, Tecnal, Brasil) por 1 minuto e em seguida foi centrifugado (Hermle-Z200A, Alemanha) a 3700 RPM por 30 minutos. Após, o sobrenadante foi coletado e pesado. O gel resultante, após a retirada do sobrenadante foi pesado. O mesmo procedimento foi realizado para a capacidade de retenção de óleo (CRO), porém com a substituição da água destilada por óleo de canola a 25 °C ( $\rho = 0,89 \text{ g cm}^{-3}$ ). A CRA foi calculada de acordo com a Equação 5 e expressa em g de água por g de sólido seco. O CRO foi calculado de acordo com a Equação 6 e expresso em g de óleo por g de sólido seco.

$$CRA = \frac{Mg - Ma}{Ma}$$

(5)

Onde: Mg = massa do gel resultante da centrifugação (g) e Ma = Massa da amostra em base seca (massa de amostra - massa solubilizada).

$$CRO = \frac{Mg}{Ma}$$

(6)

Onde: Mg = massa do gel resultante da centrifugação (g) e Ma= Massa da amostra em base seca (g).

#### 4.5.2 Índice de solubilidade em água (ISA)

Para o ISA, foi utilizada a metodologia modificada de Anderson et al. (1969), onde 3 mL dos sobrenadantes coletados das análises de capacidade de retenção de água foram transferidos para cápsulas de alumínio previamente preparadas. As cápsulas de alumínio foram secas a temperatura de 65 °C até peso constante. O ISA foi calculado pela Equação 7. O resultado foi expresso de porcentagem (%).

Todas as análises foram feitas em triplicata (n=3).

$$ISA = \frac{m(\text{cápsula} + \text{amostra}) - m(\text{cápsula vazia}) + (100 + m \text{ amostra})}{(m \text{ alíquota sobrenadante} + m \text{ amostra})}$$

(7)

#### 4.5.3 Obtenção das curvas de isotermas de sorção de umidade a 25°C

As amostras resultantes do processo de secagem foram preservadas em dessecador contendo sílica gel no período de 7 dias. Após, as amostras (n= 3) foram transferidas para pesa-filtros e estes foram pesados e acondicionados em recipientes herméticos contendo soluções saturadas de cloreto de lítio (11% de UR), cloreto de magnésio (33% de UR), carbonato de potássio (43% de UR), brometo de sódio (58% de UR), cloreto de sódio (75% de UR) e cloreto de bário (90% de UR) e mantidas a temperatura constante de 25 °C em estufa B.O.D. por 7 dias. As amostras foram pesadas em intervalos regulares de tempo até massa constante quando foi considerado que as amostras atingiram o equilíbrio. A curva foi gerada a partir dos dados de ganho de massa (g) em função do tempo (dias), que foram tratados e convertidos em umidade em base seca (g água/g de sólidos secos) em função do tempo (dias).

#### 4.5.4 Análise colorimétrica

A análise de cor foi realizada na polpa e nos produtos resultantes da secagem com espessura de 0,4(n=3).

Para isto, as amostras secas foram reidratadas colocadas em cubetas e as medidas foram feitas utilizando o colorímetro (Minolta Chroma Meter, Japão). Os parâmetros de cor L a \* b (também conhecido como CIELAB) foram medidos, assim como a tonalidade (h\*) e saturação (C\*).

#### 4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Dos dados obtidos das triplicatas das análises foram calculados as médias e os desvios-padrão. Os gráficos de ajustes aos modelos matemáticos foram construídos no software STATISTICA 13.3 (Starsoft, USA).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE MIRTILO

Os teores de sólidos solúveis totais (SST), da acidez total titulável (ATT) e pH são mostrados na Tabela 4. A acidez da polpa de mirtilo foi expressa em termos de ácido cítrico, pois é o ácido orgânico presente em maior quantidade. Os valores encontrados para as amostras estão de acordo com os resultados reportados por diversos autores que analisaram polpa e o fruto de mirtilo.

**Tabela 4- Caracterização físico-química das polpas de mirtilo**

Amostra	pH <sup>1</sup>	Sólidos Solúveis (°Brix) <sup>1</sup>	ATT (g de ácido cítrico/100 g) <sup>1</sup>
<b>Polpa de mirtilo</b>	2,90 ± 0,01	12	0,48 ± 0,01

<sup>1</sup>Resultados expressos em média ± desvio padrão

Fonte: Autora, 2019

Moura (2011) relata que frutos de diferentes variedades mirtilo apresentam pequenas diferenças no pH e diferem os teores de sólidos solúveis (°Brix), e acidez titulável (g ácido cítrico/100 g de amostra) porém com o mesmo fruto em diferentes coberturas do solo, as diferenças não apresentam efeito significativo, e os valores encontrados no estudo foram em média: pH 2,90, teor de sólidos solúveis totais 12,2 °Brix e ATT 0,60% de ácido cítrico. Nesse mesmo estudo, em outra análise de fruto de mirtilo e diferente solo de cobertura foram observados valores médios de pH, sólidos solúveis (°Brix) e acidez titulável (g ácido cítrico/100 g de amostra); de 3,05, 12°Brix e 0,52 respectivamente

Antunes e Raseira (2006), reportam valores de sólidos solúveis totais (SST) um valor médio de 13-14,0 (°Brix) e 0,4-0,5 para acidez total titulável (AT) (%ácido cítrico). Concenço (2014) encontraram valores semelhantes aos outros estudos, sendo 11,1 ± 0,77 (° Brix) para sólidos solúveis, 0,42 ± 0,05 a acidez titulável em % (m/v) de ácido cítrico e pH 3,3 ± 0,03.

### 5.2 DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE E TEMPO DE MEIA VIDA

Para definir a melhor e mais estável condição espumante para a realização da secagem, primeiramente foram avaliadas amostras com adição de diferentes concentrações de clara de ovo desidratada e alginato de sódio em diferentes tempos de batimento e feita a relação com a medida de densidade. Os resultados do primeiro ensaio de formação de espuma em termos de densidade são apresentados na Tabela 5. Observa-se que embora tenha ocorrido a formação da espuma, não houve grande incorporação de ar (densidade não reduziu abaixo de 0,7 g/cm<sup>3</sup>). Além disso, assim que cessava o batimento ocorria a separação de fase, caracterizando a formação de uma espuma instável e, portanto, inapropriada para a formação do leite de espuma, dessa forma não foi necessário a determinação do tempo de meia vida da espuma instável.

Novos ensaios utilizando clara de ovo desidratada e alginato de sódio na formulação da espuma foram realizados, em diferentes tempos de batimento conforme dados de densidade apresentado na Tabela 6.

**Tabela 5- Determinação de densidade da polpa de mirtilo com/sem batimento, com/sem caseína e com/sem alginato de sódio.**

Amostra	Concentração de alginato de sódio (%)	Concentração de caseína (%)	Tempo de batimento (minutos)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
A0	0	0	0	1,051
A1	2%	2,4%	5	0,889
A2	3%	3,4%	10	0,821
A3	5%	4,4%	10	0,875
A4	5%	6,4%	10	0,869
A5	5%	6,4%	15	0,948

Fonte: Autora, 2019.

**Tabela 6- Determinação de densidade da polpa de mirtilo com/sem batimento, com/sem clara de ovo desidratada e com/sem alginato.**

Amostra	Concentração de alginato de sódio (%)	Concentração de clara de ovo desidratada (%)	Tempo de batimento (minutos)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Tempo de meia vida (minutos)
M0	0	0	0	1,041	
M1	1%	1%	5	0,6368	
M2	1%	1%	10	0,6203	480
M3	1%	1%	15	0,7927	
M4	1%	1%	20	0,6826	
M5	1%	1%	30	0,8502	

Fonte: Autora, 2019.

As amostras A0 e M0 não tiveram adição de proteínas, estabilizador (alginato) e não foram batidas, assim apresentaram os maiores valores de densidade visto que, sem incorporação de ar, sua densidade não foi alterada.

De acordo com Damodaran et al., (2010), para criar uma espuma estável, deve-se bater ou agitar uma solução protéica. As propriedades de formação de espuma podem ser avaliadas de diferentes maneiras, como a medição da densidade. Fellows (2006) reporta que quando o ar é incorporado em líquidos forma-se a espuma e as densidades do líquido são reduzidas. Este comportamento foi observado quando se comparam as amostras de polpa de mirtilo sem batimento (A0 e M0) e as demais amostras (independentemente do tempo de batimento utilizado).

O motivo para a produção de uma espuma para a realização da secagem é porque um líquido espumoso, com menor densidade forma um leito mais poroso, assim, na hora da secagem, exige menor temperatura e menor tempo de processo devido a uma área de superfície maior exposta ao ar durante a secagem, acelerando a retirada de água durante o processo. A obtenção de um produto poroso no final do processo promove benefícios como facilidade de reidratação e devido ao calor ameno durante a secagem, pode-se diminuir as perdas nutricionais do produto (RAJKUMAR et al., 2007).

No primeiro ensaio, com adição de caseína e alginato, a espuma formada não incorporou ar suficiente para reduzir a densidade entre um 30 e 40% em relação a polpa além disso a espuma era instável e assim que cessava o batimento ocorria a separação de fase. A redução da densidade é um parâmetro importante na secagem em leito de espuma, mas é necessário que ela tenha estabilidade para não colapsar durante o processo (SANGAMITHRA, 2015).

No segundo ensaio, todas as formulações possuíram clara de ovo desidratada (albumina) e alginato de sódio como estabilizante. Quando se realizou o ensaio, já na primeira formulação com 1% de cada um dos ingredientes (alginato e clara de ovo desidratada) foi possível verificar a formação de espuma boa incorporação de ar, com uma redução de 40% da densidade em relação à polpa de mirtilo. A formação da espuma exige a formação de um filme interfacial entre o gás (ar) e a fase líquida (polpa). Para formação do filme é necessário que a proteína se oriente na interfase de maneira a orientar os grupos hidrofóbicos para a fase gasosa e os grupos hidrofílicos para a fase líquida. As interações entre as fases são complexas e vários autores apontam que para formação das espumas a partir de polpas ou sucos de frutas

é necessário testar sistemas diferentes em função da diversidade de componentes que estas matrizes apresentam (DAMODARAN, 2010).

Uma vez definidos a concentração dos constituintes clara de ovo desidratada e alginato, se avaliou o tempo de batimento nessa formulação e observou-se uma redução dos valores da densidade das amostras que foram sujeitas ao batimento, quando comparadas à amostra sem bater. A amostra batida por 10 minutos foi a que apresentou menor densidade quando comparada com a polpa sem batimento e foi selecionada para realizar o ensaio de estabilidade (tempo de meia vida) uma vez que somente a diminuição da densidade não é o suficiente para determinar a condição ideal da espuma para a secagem, que deve ter estabilidade durante o processo.

O teste de estabilidade indicou que a amostra M2 apresentou um tempo de meia vida de 480 minutos, indicando uma espuma estável e apropriada para utilizar no processo de secagem. Esse comportamento também está relacionado ao efeito estabilizante de alginato de sódio, que devido a sua alta viscosidade, retarda a separação de fases. O alginato de sódio é um polissacarídeo que forma soluções viscosas em meio aquoso. Neste sistema o mecanismo de estabilização de espuma está associado a essa propriedade do alginato porque ele retarda o processo de drenagem da fase líquida fazendo com que a espuma seja mais estável.

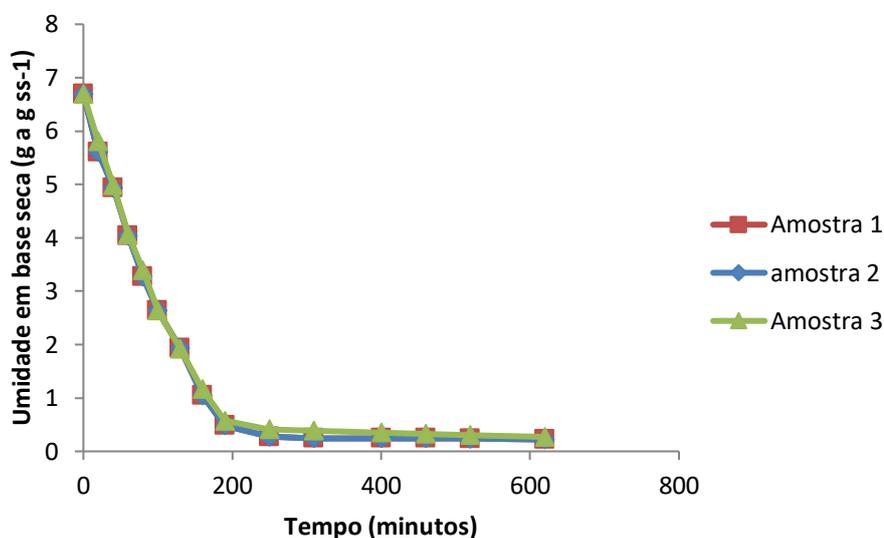
Se a espuma não permanece estável ocorre o colapso celular comprometendo a operação de secagem. Assim, segundo Sangamithra et al., (2015) as espumas que não colapsam em menos de uma hora nas análises de tempo de meia vida, são consideradas mecanicamente estáveis e ideais para o processo. Dessa forma, de acordo com Tayeb (1994), a adição do alginato com suas propriedades espessantes, estabilizantes, gelificantes e formadoras de películas, auxiliou na formação da espuma, tornando-a mais estável e adiando o colapso das bolhas de ar da espuma.

De acordo com os resultados encontrados de densidade e tempo de meia vida, a amostra M2 foi escolhida para ser utilizada no processo de secagem em leite em espuma, uma vez que a amostra apresentou uma redução de 40% de densidade quando comparada a amostra sem batimento e aditivos e um valor de 480 minutos da estabilidade de espuma.

### **5.2.1 Análises das curvas cinéticas de secagem**

As curvas cinéticas de secagem em leito de espuma da polpa do mirtilo em espessura 0,4 cm a 45°C foram realizadas em triplicata a partir da formulação escolhida e expressas em umidade em base seca (g água/g de sólidos secos) em função do tempo são apresentadas na Figura 6. Foi observado ao analisar as curvas de secagem que elas apresentaram um comportamento típico de secagem de alimentos porosos e higroscópicos, com um decréscimo rápido da umidade no início do processo e posteriormente atingindo valores assintóticos (equilíbrio).

Figura 6 – Curva de secagem em leito de espuma (n=3)



Fonte: Autora, 2019.

De acordo com Fellows (2006), as curvas de secagem de produtos hidrofílicos apresentam duas etapas: uma etapa inicial que ocorre com taxa constante e, uma segunda etapa que a taxa é decrescente. A primeira etapa ocorre devido ao material que permanece úmido na superfície fazendo com que o processo de secagem ocorra sem influência significativa do sólido, a temperatura do sólido equivale à temperatura em bulbo úmido do ar e quem determina o processo de secagem é o ar. Esse período é encerrado quando atinge a umidade crítica. Quando o teor de umidade atinge o ponto de umidade crítica, ocorre o período da taxa decrescente até que a umidade atinja um valor assintótico. A segunda etapa ocorre quando a água migra do interior do material a ser seco para a superfície e somente nesta etapa é removida pelo ar. Nessa etapa quem domina o processo de secagem é o mecanismo de difusão da água no sólido e a temperatura no alimento é a temperatura de bulbo seco do ar.

Observa-se que as curvas de secagem apresentaram o período de taxa constante até aproximadamente 140 minutos e depois se estabeleceu o período decrescente.

As amostras analisadas apresentaram o valor de umidade inicial em base úmida (b.u %) de  $87,00 \pm 0,01$  e o valor médio final (após secagem) de umidade em base úmida de 21%. Os valores médios finais de umidade em base seca das amostras variaram de 0,22 a 0,33 g de água/g sólido seco em um tempo de secagem de 400 minutos.

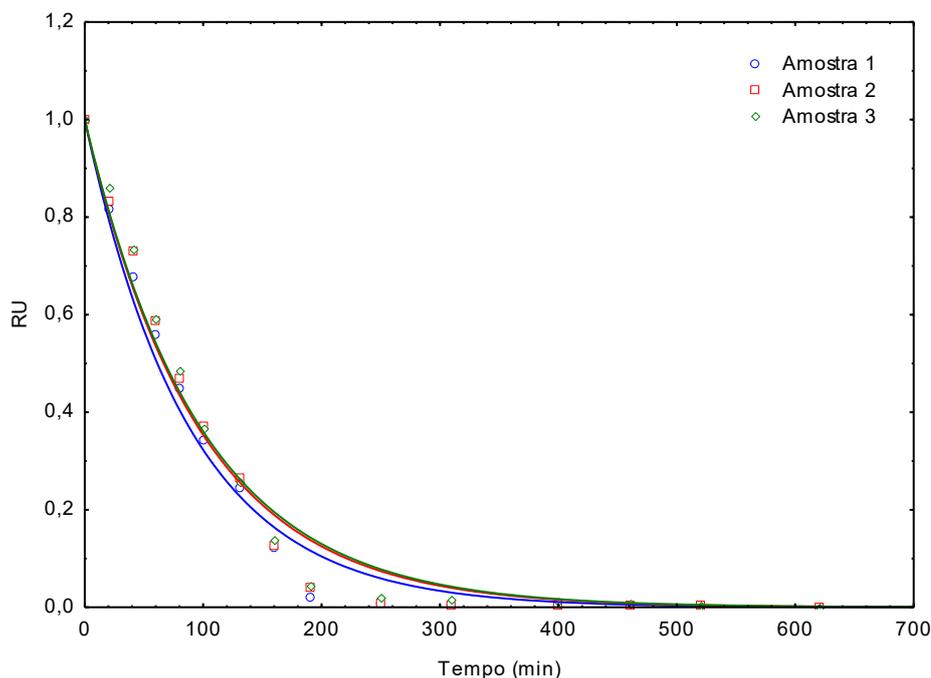
Esse comportamento é similar a outros estudos feitos com frutas em secagem em leite de espuma. Andrade (2018) apresentou curvas cinéticas com comportamento de materiais porosos e higroscópicos, porém apresentou valores para duas amostras de secagem em leite de espuma de um mix de abacaxi e pitaita de umidade inicial em base úmida (b.u %) de  $88,00 \pm 0,00$  e com umidade final em base úmida de 8,53 e 11,56%, valores de umidade final mais baixos que nesse presente estudo.

Esses resultados, segundo Fellows (2006) fornecem importantes informações que permitem determinar o tempo de secagem em secador específico, além de permitir através de balanços de massa, calcular a quantidade de material desidratado que pode ser produzido.

Como descrito anteriormente, foi observado na curva uma taxa inicial maior de decaimento que corresponde ao período de taxa constante, posteriormente tendendo para uma assíntota que converge da taxa decrescente. Esse comportamento é característico de processos convectivos, logo que o produto é colocado em contato com ar quente, devido à diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto.

Na Figura 7 são apresentados os dados experimentais da razão de umidade (RU) em função do tempo (minutos) e a curva ajustada pelo modelo de Lewis.

**Figura 7-** Ajuste do modelo de Lewis



Fonte: Autora, 2019.

Observa-se que o modelo de Lewis se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais como pode ser observado pelos elevados valores do coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,99$ ) e em função disso foram determinadas as taxas de secagem a  $45^\circ\text{C}$  das três amostras que variaram de  $0,0102\text{ minutos}^{-1}$  a  $0,0113\text{ minutos}^{-1}$ .

**Tabela 7-** Parâmetros de ajuste do modelo de Lewis para as cinéticas de secagem e coeficiente de determinação

Amostra	$k\text{ (min}^{-1})^1$	$(R^2)$
1	0,0113	>0,99
2	0,0104	>0,99
3	0,0102	>0,99

Onde: K = constante de ajuste do modelo

Fonte: Autora, 2019.

Há diversos estudos que testam modelos matemáticos com o objetivo de determinar qual pode prever a secagem da matéria prima, no entanto não foram encontrados dados para referência e comparação de mirtilo. Assim sendo, estudos como o de Panato (2017), que realizou a modelagem matemática de Lewis, Page e Henderson e Pabis (HP) para secagem de

purê de abóboras em leite de espuma a 45 e 65°C que apresentou valores de “k” entre 0,011 a 0,05 min<sup>-1</sup> (Lewis); de 0,001 a 0,005 min<sup>-n</sup> (valor 10 vezes menor que os outros modelos - Page) e variando de 0,012 a 0,042 min<sup>-1</sup> (HP).

Após avaliar a qualidade dos ajustes matemáticos aos dados de secagem Panato (2017), concluiu que o modelo de Page foi o melhor para prever a secagem de purê de abóbora por leite de espuma nas temperaturas estudadas, uma vez que apresentou valores superiores para R<sup>2</sup>. Nesse mesmo estudo foi observado que a constante “k” é diretamente proporcional ao aumento da temperatura. Valores variados encontrados em estudos entre as amostras podem ser explicados devido a diferentes composições de materiais. Abóboras por exemplo, possuem alto teor de amido, diferente dos polissacarídeos encontrados em frutas.

Apesar de a taxa de secagem obtida com a Equação de Lewis apresentar o coeficiente de determinação R<sup>2</sup> >0,99 normalmente considera-se para polpa de frutas a curva obtida a Equação de Page assim como o estudo de Andrade (2018), que relatou para “k” no modelo de Page um valor de 0,00152 ± 0,0002 para a amostra de um mix de abacaxi e pitaia seco em leite de espuma com a espessura de 0,2 cm. Araujo et al. (2017), também utilizaram o modelo de Page para modelar a secagem da polpa de acerola e obtiveram valores para “k” de 0,2512 (50 °C) e 0,6511 (70 °C) que explica que o aumento da temperatura do ar reduziu o tempo de secagem da polpa de acerola e a umidade do produto desidratado.

Panchariya (2002) descreveu modelo de Page como uma modificação do modelo de Lewis para superar suas deficiências, apesar de que o modelo de Lewis descreveu adequadamente o comportamento de secagem em camada única de partículas de chá preto em seu estudo.

A equação do modelo cinético da secagem da polpa do mirtilo (equação 8) nas mesmas condições experimentais torna possível determinar o tempo de secagem ou a umidade final do produto obtido nas mesmas condições desse estudo.

$$RU = e^{-0,0102t}$$

(8)

### 5.2.2 Análises de produtos após a secagem

### 5.2.2.1 Análise de CRA CRO E ISA

A capacidade de retenção de água é descrita como a capacidade de um agrupamento de moléculas, normalmente macromoléculas presentes em baixas concentrações, de reter de forma física grandes quantidades de água, de modo a dificultar a exsudação sob a aplicação de forças externas em geral, gravitacionais. Essa água capturada fisicamente não flui nos tecidos alimentares facilmente, mesmo quando manipulados, comporta-se com propriedades similares às da água pura e é removida com facilidade durante a secagem. (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O valor médio de capacidade de retenção de água encontrado nesse estudo foi de  $7,25 \pm 0,6$  gramas de água por 1 grama de amostra seca sendo os resultados mínimo e máximo de 6,84 e 7,98 gramas de água por 1 grama de amostra seca, respectivamente.

Esse valor encontrado na capacidade de retenção de água é explicado pela higroscopicidade do material analisado e sua porosidade, que promove adsorção por interação química e física nos capilares do leito.

Um material higroscópico é aquele que contém água ligada exercendo uma pressão de vapor menor que a água líquida na mesma temperatura. Produtos nos quais os carboidratos é a base principal é provável que sejam higroscópicos, devido aos grupos hidroxila que ao redor das moléculas de açúcar permitem a criação de ligações de hidrogênio com a água. Essa interação entre os grupos hidroxila e as moléculas de água envolve a solvatação ou solubilização de açúcares. (BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Segundo Moraes et al. (2007), a composição do mirtilo analisado em estudo com 4 diferentes cultivares, apresentou um teor de umidade entre 81,3 e 83%; 1,4 a 1,8% de proteínas e 14,9 e 16,4% de carboidratos, e neste trabalho, a média de valores encontrados de 87% de teor de umidade, 12°Brix de sólidos solúveis, indicando que os açúcares estão em grandes quantidades, o que explica sua alta higroscopicidade.

Além disso, foi utilizado na polpa o alginato de sódio, um estabilizante hidrocolóide, extraído de algas marrons, um polissacarídeo solúvel em água que influencia na absorção e na ligação de água (retenção da água e controle de migração) (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Em estudo realizado por Andrade (2018), em secagem de leite de espuma de um mix de abacaxi e pitaia o valor médio encontrado da CRA para amostras secas de espessura 0,2 cm e 0,5 cm foi de 10,25 e 7,64 gramas de água por grama de sólido seco, respectivamente, valor considerado alto pela autora se comparado a outros estudos como o de Panato (2017), que avaliou CRA também pelo método em leite de espuma do purê de abóbora com valores obtidos de 7,5 e 6,9 g de água/g de sólido seco de produtos seco em temperaturas de 45 e 65 °C nesta ordem.

Comparando o estudo atual com o estudo de Andrade (2018), pode se concluir que o produto obtido neste estudo tem uma similar capacidade de retenção de água, que pode ser explicada pela interação química entre materiais polares, sua higroscopicidade e maior área de adsorção devido a porosidade do produto

Para a CRO, houve uma retenção média de óleo de  $2,81 \pm 0,08$  g de óleo/grama de sólido seco. Essa retenção também pode ser explicada devido ao material ser poroso, assim não somente com possibilidades de retenção por interação química, mas também pela adsorção física do óleo dentro das cavidades.

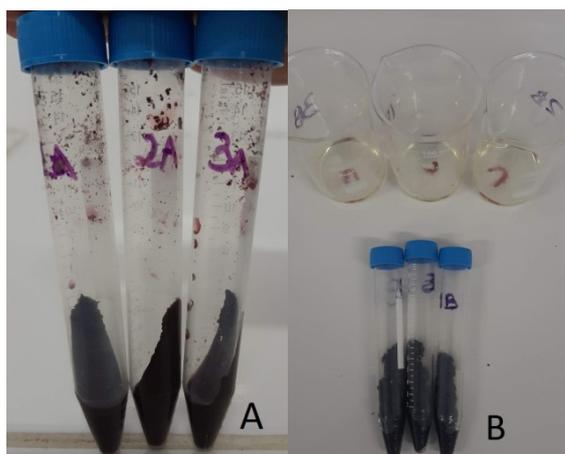
Para complementar as análises de CRA foram realizadas medidas de índice de solubilidade (%) em água no produto seco. A solubilidade consiste na determinação da massa de matéria seca que permanecer em solução aquosa após agitação e centrifugação (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O valor médio de índice de solubilidade (IS) em água para o produto obtido na secagem foi de  $60\% \pm 2,17$  valor alto se comparado ao estudo de Andrade (2018), que encontrou resultado para produto seco em leite de espuma de polpa de um mix de abacaxi e pitaia de  $47,61 \pm 6,37\%$ .

Panato (2017), nas análises de ISA em purê de abóbora seco em leite de espuma encontrou valores para 45 e 65° C de 27,8 e 30,1%, respectivamente.

Sabe-se que valores das propriedades higroscópicas de frutas podem ser afetados pela composição química, tratamento térmico, porosidade, área superficial, tamanho de partícula, das condições do meio, fatores climáticos, pH, atração iônica, temperatura, processamento e do método pelo qual foi analisado, entre outros fatores.

**Figura 8** - Produtos resultantes das análises de CRA (A) e CRO (B)



Fonte: Autora, 2019.

### 5.2.3 Isotermas de sorção

As isotermas de sorção foram determinadas através do acondicionamento do alimento em recipientes com soluções salinas saturadas e atividades de água conhecidas.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados experimentais de  $x_{eq}$  em função de atividade de água ( $A_w$ ).

**Tabela 8 – Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) para produto obtido de polpa de mirtilo em secagem em leite de espuma feito em triplicata**

Atividade de água ( $A_w$ )	Umidade de Equilíbrio ( $X_{eq}$ ) (g a g ss <sup>-1</sup> )		
	Amostras		
	1	2	3
0,11	0,0153	0,0197	0,0208
0,33	0,0620	0,0465	0,0512
0,43	0,0881	0,0804	0,0892
0,58	0,1441	0,1411	0,1676
0,75	0,2816	0,2835	0,2907
0,9	0,6399	0,6590	0,6521

Onde  $A_w$ : Atividade de água ( $A_w \times 100 =$  Umidade Relativa – (UR) (%)) e g a g ss<sup>-1</sup>: gramas de água por grama de sólido seco

Fonte: Autora, 2019.

A Tabela 8 afirma que o aumento da atividade de água produziu aumento do  $x_{eq}$ , o que caracteriza o material estudado como um material higroscópico.

Apesar de haver muitos modelos matemáticos na literatura para as isotermas de sorção de alimentos, o modelo de GAB (Guggenheim – Anderson - de Boer), é o modelo matemático mais comumente utilizado para alimentos desidratados. Dessa forma, este modelo foi selecionado para modelar os dados experimentais

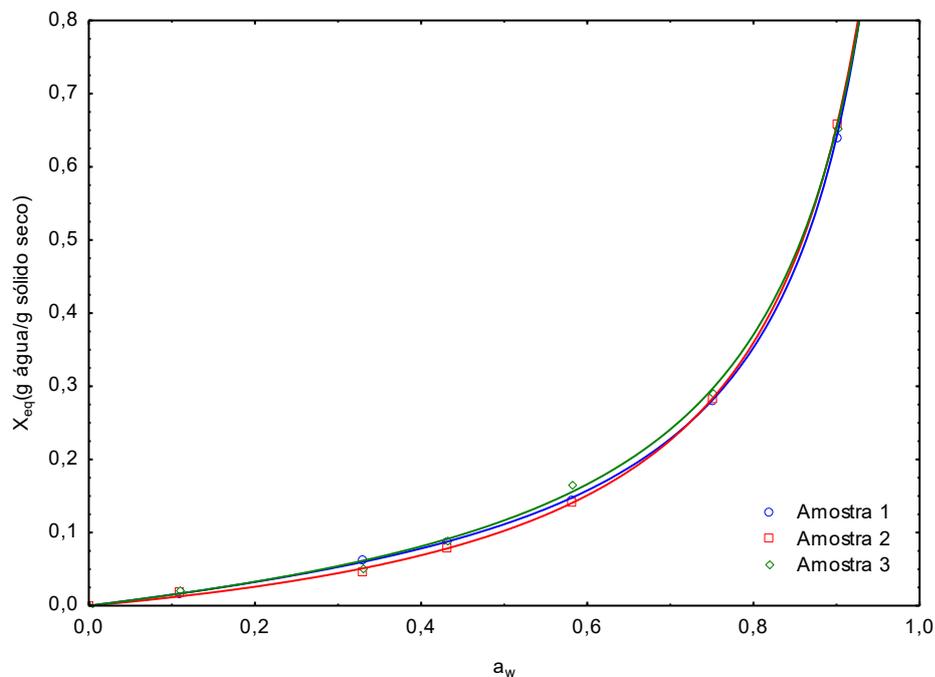
Na Figura 9 são apresentados os dados experimentais de umidade de equilíbrio em função da atividade de água de 0,11; 0,33; 0,43; 0,58; 0,75 e 0,90 a 25° C e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de GAB (equação 9).

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$$

(9)

Onde:  $X_{eq}$  – conteúdo de umidade de equilíbrio, kg/kg;  
 $X_m$  – conteúdo de umidade na monocamada molecular, kg/kg;  
 $a_w$  – atividade de água, adimensional; C e K – constantes das equações

**Figura 9-Modelo de GAB**



Fonte: Autora, 2019.

O modelo de GAB apresentou coeficiente de determinação para as três amostras acima de 0,99 ( $R^2 > 0,99$ ) confirmando assim que o modelo foi satisfatório e as curvas apresentaram bom ajuste em toda  $A_w$ .

Observa-se na Figura 9 que as isotermas apontam uma atividade de água de aproximadamente 0,65 na amostra final após a secagem (21% de umidade em base úmida) explicado pela composição do produto que possui grandes quantidades de sólidos solúveis com água ligada. Água que a secagem não elimina.

Ao realizar os ajustes do modelo de GAB aos dados experimentais, foi possível avaliar os o conteúdo de umidade da monocamada dos alimentos ( $M_0$ ). Este parâmetro é de grande importância para determinação da estabilidade física durante o armazenamento dos produtos alimentícios em diferentes temperaturas. Quanto maior for o seu valor maior a higroscopicidade, que nesse caso apresentaram comportamento similar por serem as mesmas amostras.

Os parâmetros  $C$  e o  $K$  correspondem ao calor de absorção das amostras, e nesse estudo apresentam valores variados.

Conforme a Figura 9, as isotermas de sorção das três amostras do produto obtido por secagem mostram que, à medida que a atividade de água aumenta, a umidade de equilíbrio dos produtos também aumenta, evidenciando curvas classificadas como isotermas com comportamento do tipo III, característico de alimentos higroscópicos ricos em açúcares.

**Tabela 9 - Ajuste do modelo de GAB e determinação do coeficiente.**

Tratamento	Parâmetros de GAB			
	$M_0$	$K$	$C$	$R^2$
<b>Amostra 1</b>	0,102	0,952	1,472	0,99
<b>Amostra 2</b>	0,123	0,938	0,898	0,99
<b>Amostra 3</b>	0,117	0,937	1,279	0,99

Fonte: Autora, 2019.

Comparando a outros estudos, o modelo de GAB foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de isotermas de sorção de polpa de morango atomizada (OLIVEIRA et al., 2013), polpa de caju (MOURA et al., 2004) e polpa de manga (PAGLARINI et al., 2013).

Bezerra (2011), analisou comportamento de polpas de manga desidratadas em pó através do modelo GAB que obteve valores para  $M_0$  para as variedades ‘Rosa’ e ‘Tommy Atkins’ de 0,1059 e 0,1024, valor próximo ao obtido nesse experimento.

### 5.3 ANÁLISE COLORIMÉTRICA

A cor e a apresentação são características consideradas de grande importância pelos consumidores no momento da compra de um alimento. Mesmo seguro, nutritivo e acessível, se não for atrativo visualmente para os consumidores, esse alimento provavelmente não será adquirido, devido a esses aspectos que estão fortemente relacionados com a qualidade do produto. O consumidor associa cores específicas a determinados alimentos, como por exemplo, as frutas e seu nível de maturação. As cores também se assimilam na percepção de sabor, ou seja, é esperado que um líquido amarelo seja cítrico, e sendo assim é evidente que a cor influencia o consumidor na hora da compra. (FELLOWS, 2006).

A qualidade de uma cor pode ser obtida pela luminosidade ( $L^*$ ), tonalidade ( $h^*$ ) e saturação ( $C^*$ ). A luminosidade e suas coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  é a escala que varia do preto (0) ao branco (100), portanto, quanto mais alto o valor de  $L^*$  mais clara a cor, e quanto mais baixo, mais escura. O eixo  $a^*$  varia de +a (vermelho) ao -a (verde), e o eixo  $b^*$  de +b (amarelo) ao -b (azul). A saturação, também chamada de pureza, representa uma característica quantitativa para intensidade, ou seja, o quão concentrado é o elemento corante. Quanto maior o  $C^*$ , maior a percepção da cor pelos olhos humanos. A tonalidade  $h^*$  designa o nome da cor.

Em estudo, Sousa, et al. (2007), analisaram mirtilos da variedade “*Jubilee*” cultivados em Portugal que foram observados durante 30 dias de conservação e os valores encontrados foram entre 31,0 e 28,5 para luminosidade, 4,23 e 5,46 para a saturação e de -1,00 para -0,98, para a tonalidade. Nesse estudo, os pesquisadores afirmam que o mirtilo geralmente apresenta a cor azul escura, e sua cor é devido à presença de antocianinas no interior das células da epiderme do fruto, que quando dissolvidas, são o maior grupo de pigmentos solúveis em água, e que sua cor é influenciada pela presença de cera epicuticular, que produz o efeito responsável pela cor azul típica dos frutos, além de que as características genéticas, intrínsecas a cada cultivar, e o meio ambiente em que os frutos se desenvolvem também afetam sua coloração.

Na tabela 10 são apresentados os valores médios e o desvio padrão da análise colorimétrica nos parâmetros L\*, a\*, b\*, C\* e h para a polpa e para o produto seco em leite de espuma.

**Tabela 10 - análise colorimétrica nos parâmetros L\*, a\*, b\*, C\* e h**

Resultados de cor	Coordenadas de cor			Chroma	Tonalidade
	L*	a*	b*	C*	hue (rad)
<b>Amostra</b>					
<b>Polpa</b>	22,54 ± 0,68	5,54 ± 0,23	1,31 ± 0,16	5,69 ± 0,25	0,23 ± 1,19
<b>Pó reidratado</b>	23,57 ± 1,99	5,93 ± 0,56	1,36 ± 0,13	5,95 ± 0,35	0,23 ± 0,94

(rad) radianos

Fonte: Autora, 2019.

Concenço et al. (2014), analisaram a polpa de mirtilo que apresentou valores semelhantes ao do fruto em relação a coordenada L\* 24,55, a coordenada a\* 2,23, tendendo para o vermelho, e -0,54 para b\*. O valor de h\*, que representam a tonalidade polpa foi de -0,24 e se comparado com a presente análise, verifica-se que a polpa está em conformidade entre os parâmetros L e a\*, porém para b\* o valor positivo (1,31 e 1,36) demonstra que tanto a polpa quanto o produto seco, respectivamente, tendem levemente para a cor amarela, invisível aos olhos. Para a tonalidade (h) o valor encontrado de 0,23 indica que por ter um ângulo maior, apresenta uma menor intensidade, se comparada aos outros estudos.

Nesse método de análise, pode se quantificar a diferença de cor, entre as coordenadas de ambas as amostras, assim, depois de realizadas as análises de diferenças de cor entre a polpa e o produto seco em leite de espuma, apresentadas da Tabela 11 observou-se que o produto seco apresentou uma cor levemente mais escura, esverdeada e azul.

**Tabela 11- Diferença de coloração entre as amostras**

Diferença entre amostras	Coordenadas de cor			≠ total de cor
	$\Delta L$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
<b>Polpa e produto seco</b>	-1,03	-0,39	-0,05	2,43

Fonte: Autora, 2019.

Os resultados obtidos mesmo com o aquecimento da amostra demonstram que houve um aumento imperceptível aos olhos, do parâmetro L e das coordenadas a e b, da saturação e tonalidade.

Apesar de a temperatura e o tempo que o produto fica exposto a ela, serem fatores que podem alterar pigmentos, (FELLOWS, 2006), nesse estudo as diferenças foram pequenas, sendo possível verificar que o produto não apresentou degradação de cor ao longo do processo de secagem. Portanto, o produto após a secagem mostrou um eficiente poder estabilizante de cor.

## 6 CONCLUSÃO

As espumas formuladas com adição de alginato de sódio e clara de ovo desidratada (albumina) permitiram o espalhamento do leite e mostraram-se estáveis durante todo o processo de secagem.

Foi observado o esperado para alimentos higroscópicos: a ocorrência de duas etapas de secagem: taxa constante e taxa decrescente.

O modelo de Lewis se ajustou satisfatoriamente aos resultados cinéticos de secagem ( $R^2 > 0,99$ ) descrevendo de forma satisfatória o processo de secagem da polpa de mirtilo eleito de espuma.

Os pós obtidos após a secagem apresentaram  $7,25 \pm 0,6$  gramas de água por 1 grama de amostra seca para a capacidade de retenção de água confirmando a higroscopicidade e porosidade do produto obtido.

O produto apresentou um alto índice de solubilidade

Em relação as isotermas de sorção, o modelo de GAB foi o que melhor representou os valores de água da monocamada de 0,114g de água/g sólido seco assim, foram classificadas como do tipo III para alimentos ricos em açúcares solúveis definindo assim que à medida que a atividade de água aumenta, a umidade de equilíbrio dos produtos também aumentam.

As amostras não apresentaram diferença entre as cores antes e depois do processamento.

A produção de mirtilo é tendência e apresenta crescimento no país, assim, novos estudos devem ser levados em consideração para melhorias no beneficiamento do fruto, aumentando no Brasil suas possibilidades de consumo, assim como sua adição na forma de pó em diferentes produtos.

As polpas utilizadas nesse trabalho não passaram por tratamento térmico, portanto mais estudos devem ser realizados devido a alteração na composição que o tratamento térmico pode causar.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, S. C. **Secagem em leito de espuma de um mix de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill, variedade pérola) e pitaia (*Hylocereus polyrhizus*)** Trabalho de conclusão de curso Universidade Federal Santa Catarina. Florianópolis. 2018
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, V. F. P.; GRIFFIN, E. L. **Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion cooking.** *CerealSci. Today*, v.14, n.1, p.4-7, 1969.
- ANTUNES, L. E. C. **Sistemas de Produção** – Cultivo do Mirtilo. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 99 p. (Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção, 8)
- ARAÚJO, C. S. et al. **Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos.** *Braz. J. FoodTecnol.*, v. 20, 2017.
- AYALA, F. J. **Amora – Framboesa, Groselha, Kiwi, Mirtilo e sua Comercialização.** Porto Alegre: Cinco Continentes Editora. 1999. 57p.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.; VEGA-MERCADO, H. **Deshidratación de Alimentos.** Espanha: Acribia. 2000. 297p.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. et al. **Water activity in foods: fundamentals and applications.** Hoboken: Wiley-Blackwell, 2008.
- BAPTESTINI, F. M. et al. **Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* v.19, n.12, p. 1203-1208, 2015. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662015001201203&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015001201203&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 23 ago. 2019.
- BARBIERI, R. L.; VIZOTTO, M. **Pequenas frutas ou frutas vermelhas.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.33, n.268, p.7-10, 2012.
- BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNADI, M. R. **Desidratação da polpa de manga "Tommy Atkins" utilizando a técnica de foammatdrying: avaliações químicas físico-químicas e sensoriais.** *Brazilian Journal of Food Engineering*, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 283-290, 2005.
- BEZERRA, T. S et al. **Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó.** *Rev. Ceres (Impr.)*, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 278-283, Jun. 2011
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos.** 3ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001, 252p.

CANTUARIAS-AVILES, T. et al. **Cultivo do mirtilo**: atualizações e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no Estado de São Paulo. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal, v. 36, n.1, p.139-147, 2014. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452014000100015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452014000100015&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 23 ago. 2019.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Colheita e qualidade pós-colheita de frutos**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 2ªEd. lavras: UFLA, 2005. 785p.

CONCENÇO, F.; STRINGHETA, P.; RAMOS, A.; OLIVEIRA, I.; LEONE, R. (2014). **Caracterização e avaliação das propriedades físico-químicas da polpa, casca e extrato de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*)**. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, Viçosa:Brasil, v. 08, n. 01: p. 1177-1187, 2014

CRUZ, G. A. **Desidratação de alimentos**. Rio de Janeiro (RJ): Globo, 1990. 207 p.  
DALTIM, D. **Tensoativos: Química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Buncher, 2012.

FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: [http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/pt/hup/seguranca\\_alimentar.html](http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/pt/hup/seguranca_alimentar.html) Acesso em: 23 ago. 2019.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos**. Princípios e Práticas. 2ªEd. Porto Alegre: ArtMed, 2006. 602 p.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R.; **Química de Alimentos de Fennema** – 4ª ed. - Editora Artmed, 2010.

FREGOLENTE, L. V.; SANTOS, O. A. A.; JORGE, L. M. M. **Estimativa das propriedades térmicas efetivas de grãos em um secador de leito fixo**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 24, n.2, p.270-276. 2004.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 1978. 284 p.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008 p. 1020

KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. **Characteristic of foam prepared from starfruit (L.) puree by using methyl cellulose**. Food Hydrocolloids, v. 13, n. 2, p.203- 210, 1999.

LEAL, R.C.; REIS, V.B.; LUZ, D.A. Avaliação de parâmetros físico-químico de polpas congeladas de graviola comercializada em supermercados de São Luís – MA. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v.20, n.2, p.76-80, 2013.

MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leite de espuma e avaliação sensorial do produto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, 2009. 84p.

MORAES, J. O.; PERTUZZATI, P. B. Estudo do mirtilo (*VacciniumasheiReade*) no processamento de produtos alimentícios. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 18-22, 2007.

MOURA, G. C. de; FINKENAUER, D.; CARPENEDO, S.; VIZZOTTO, M.; ANTUNES, L. E. C. **Caracterização físico-química de mirtilos submetidos a diferentes coberturas de solo**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. p. 8.

MOURA, R. S. F. *et al.* Modelagem matemática para isotermas em polpa de caju. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 04, n. 02, 2004.

NEVES, G. A. R.; SANTANA, M. F. S; VALENÇA, R. S. F. **Capacidade higroscópica de farinhas de diferentes frutas**. Amazônia: Embrapa, 2008.

OETTERER, M, REGINATO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. São Paulo: Manole, 2006, p.565-603.

OLIVEIRA, Maria Isabel Sousa et al. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 310-318, dez. 2013. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1981-67232013000400008&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232013000400008&lng=pt&nrm=iso)>. acesso em 17 nov. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232013005000037>.

PAGLARINI, Camila de S. et al. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Rev. bras. eng. agric.ambient.**, Campina Grande, v. 17, n. 3, p. 299-305, Mar. 2013.

PANATO, K **Efeito da secagem convectiva e por leite de espuma sobre as propriedades físico-químicas e tecnológicas de purê de abóbora (*Cucurbita maxima* Duch. x *Cucurbita moschata* Duch. var. 'Tetsukabuto')**. 2017. 159 p. Dissertação (Mestrado em ciência dos alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PANCHARIVA, P. C., POPOVIC, D., & SHARMA, A. L. (2002). **Thin-layer modelling of black tea drying process**. *Journal of Food Engineering*, 52(4), 349–357. doi:10.1016/s0260-8774(01)00126-1

RAJKUMER, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G.S.V. **Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer**. *Journal of Food Engineering*. v.79 p. 1452–1459. 2007.

RASEIRA, M. C. B. **Descrição da planta, melhoramento genético e cultivares**. Embrapa Sistemas de Produção, v.8, p.21-43. 2006.

RASEIRA. M. C. B.; ANTUNES. L. E. C. **A cultura do mirtilo**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 67p.

RODRIGUES, E. et al. **Phenolic compounds and antioxidant activity of blueberry cultivars grown in Brazil**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 31, n. 4, p. 911-917, dec. 2011.

RUFATO, A. de R.; ANTUNES, L. E. C. (Ed.). **Técnicas de produção de framboesa e mirtilo**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 90 p.

SANGAMITHRA A et al. **Foam mat drying of food materials: a review**. Journal of Food Processing and Preservation. v.39, p. 3165-3174, 2015

SANTOS, A. M. dos; RASEIRA, M. do C. B. **O cultivo do mirtilo**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 17p.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. de O.; ALMEIDA, F. de A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. **Desidratação de polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma**. Ciência e Agrotecnologia, v.32, p.1899-1905. 2008.

SILVA, S. E.; OLIVEIRA, J.; MACHADO, A.V.; COSTA, R. O.; **Secagem de Grãos e Frutas**: Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Agrotecnologia. v.5, n.1, p. 19-23. 2015.

SILVA, F.; PARK, K. J.; MAGALHÃES, P.M. **Isotermas de dessecção de Calendula officinalis L.**: determinação experimental e modelagem matemática. Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.9, n.1, p.21-28, 2007.

SILVEIRA, N. G. A.; VARGAS, P. N.; ROSA, C. S. Teor de polifenóis e composição química do mirtilo do grupo highbush. **Alim. Nutr.**, v.18, n.4, p. 365-370, out./dez. 2007. Disponível em: <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/view/176/184>

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (Eugenia stipitata Mc Vaugh)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, 2009. 88p.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F. de.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA Jr., A.; S. Filho, M. de S. de. **Desidratação da polpa de acerola (Malpighia emarginata D.C.) pelo processo foam-mat**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.21, n.2, 2001.

SOUSA, M.B. Mirtilo: Qualidade pós-colheita. Portugal: **Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I. P.** (INIAV), 2007. 31 p. Disponível em: [http://www.inia.v.pt/fotos/gca/8\\_mirtilo\\_qualidade\\_pos\\_colheita\\_1369137340.pdf](http://www.inia.v.pt/fotos/gca/8_mirtilo_qualidade_pos_colheita_1369137340.pdf)

SOUSA, M. B., CURADO, T., VASCONCELLOS, F. N., TRIGO, M. J. Mirtilo qualidade pós-colheita. Folhas de Divulgação AGRO 556, n, 8, 2007, 30p.

SOUSA, M.B., CURADO, T. e VIEIRA, S. 2001. Características Físicas, Químicas e Sensoriais de Cultivares de Mirtilo (*Vaccinium sp*) Introduzidas em Portugal. In Actas 5º Encontro de Química de Alimentos: Qualidade, Segurança & Inovação, Porto, p. 349-351.

SOUZA, V. R. D. **Tratamento térmico com vapor e adição de xantana para preservação de compostos bioativos fenólicos e da atividade antioxidante de polpas de mirtilo.** 2017. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/3473>. Acessado em:

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SIQUEIRA, E. T. F. **Desidratação de frutas.** Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 40 p.

VIEIRA, H.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. **Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó.** Revista de Biologia e ciências da terra, n.1.