



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS DE LARANJEIRAS DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

DIENE DE BARROS FERREIRA

**Secagem por camada de espuma da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*
Mart)**

LARANJEIRAS DO SUL

2021

DIENE DE BARROS FERREIRA

**Secagem por camada de espuma da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*
Mart)**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof. Dr.^a Leda Battestin Quast

LARANJEIRAS DO SUL

2021

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Ferreira, Diene de Barros

Secagem por camada de espuma da polpa de açaí
(Euterpe oleracea Mart) / Diene de Barros Ferreira. --
2021.

72 f.

Orientadora: Prof. Dr.^a Leda Battestin Quast

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, Laranjeiras do Sul, PR, 2021.

1. Euterpe oleracea Mart. 2. Composição nutricional.
3. Método foam-mat. 4. Isotermas. 5. Coeficiente de
difusividade. I. Quast, Leda Battestin, orient. II.
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

DIENE DE BARROS FERREIRA

SECAGEM POR CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart*)

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação *Stricto sensu*, da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

29/01/2021

BANCA EXAMINADORA¹




Prof.^a Dra. Leda Battestin Quast (UFFS – presidente/orientadora)



Prof. Dr. Flávio Luís Schmidt (UNICAMP – 1º membro)

Prof.^a Dra. Roberta Letícia Kruger (UNICENTRO – 2º membro)



Prof.^a Dra. Eduarda Molardi Bainy (UFFS – suplente)

¹“Em função da Pandemia do Coronavírus e as medidas de afastamento tomadas pela UFFS, esta Folha de Aprovação foi assinada pelo Presidente da Banca, como representante dos demais membros”.

Aos meus pais Rozane e Olivar pelo
apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Leda Battestin Quast, por todo ensinamento compartilhado, paciência e orientação, por estar presente no que foi preciso.

À banca examinadora, Prof. Dr. Flávio Luis Schmidt e Prof.^a Dr.^a Eduarda Molardi Bainy, por terem aceitado o convite.

Ao meu companheiro Yuri, agradeço pelo auxílio e paciência.

Aos meus pais Rozane e Olivar, pelo amparo e incentivo no caminho da pós-graduação, não me deixaram desanimar ou desistir.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, pela oportunidade e infraestrutura para desenvolvimento da pesquisa.

RESUMO

O açaí possui elevado teor de antocianinas e antioxidantes. Geralmente sua polpa é comercializada congelada, a qual apresenta um alto valor energético. A secagem é uma alternativa para se obter produtos com baixo teor de umidade e estabilidade além de facilitar o processo de transporte e armazenamento. O presente estudo teve como objetivo produzir espuma de açaí com concentrações de 2% e 0% de Emustab®, prosseguindo a secagem (60°C) em estufa de circulação e renovação forçada de ar. Determinou-se o coeficiente de difusividade efetiva para a polpa com 2% de Emustab® ($5,35 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$) e para a polpa pura ($1,41 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$). A formação dos poros, proveniente da aeração na polpa com emulsificante resultou em um coeficiente de difusão maior, com menor tempo de secagem. As isotermas de sorção mostraram que os modelos apresentaram ótimos ajustes matemáticos nas temperaturas de 25°C e 35°C para as duas amostras do pó de açaí, com $R^2 > 0,95$ e $R^2 > 0,91$ respectivamente. Determinou-se teor de antocianinas ($4,28 \pm 0,08 \text{ mg/g}$ pó 0% Emustab® e $2,69 \pm 0,20 \text{ mg/g}$ pó 2% Emustab®), atividade antioxidante DPPH ($29,34 \pm 0,002$ pó 0% Emustab® e $91,81 \pm 0,03$ pó 2% Emustab®), solubilidade para o pó com 2% de Emustab® ($47,93\% \pm 0,02$) e para o pó de açaí padrão ($19,72\% \pm 0,028$), microestrutura e tempo de reconstituição ($168 \pm 0,05 \text{ s}$ pó com 2% de Emustab® e $324 \text{ s} \pm 0,11$ pó 0% Emustab®). Nesta condição de 2% de Emustab® obteve-se um pó poroso, com boa fluidez, solubilidade e capacidade antioxidante.

Palavras-Chave: *Euterpe oleracea* Mart. Composição nutricional. Método foam-mat. Isotermas. Coeficiente de difusividade.

(ABSTRACT)

Açaí has a high content of anthocyanins and antioxidants in its composition. Usually its pulp is sold frozen, which has a high energy value. Drying would be an alternative to obtain products with low moisture content and stability to facilitate the transport and storage process. The present study aimed to prepare and produce açaí foam with emulsifier concentrations of 2% and 0%, proceeding with drying (60°C) in a forced air circulation oven. The diffusion coefficient was determined for the pulp with 2% Emustab® ($5.35 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$) and for the pure pulp ($1.41 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$). The formation of pores, resulting from aeration in the pulp with emulsifier, resulted in a higher diffusion coefficient, with less drying time. The sorption isotherms showed that the models presented excellent mathematical adjustments at temperatures of 25° C and 35°C for the two samples of açaí powder, with $R^2 > 0.95$ and $R^2 > 0.91$ respectively. The content of anthocyanins ($4.28 \pm 0.08 \text{ mg/g}$ powder 0% Emustab® and $2.69 \pm 0.20 \text{ mg/g}$ powder 2% Emustab®), DPPH antioxidant activity (29.34 ± 0.002 powder 0% Emustab® and 91.81 ± 0.03 powder 2% Emustab®), solubility for powder with 2% Emustab® ($47.93\% \pm 0.02$) and for powder with 0% Emustab® ($19.72\% \pm 0.028$), microstructure and rehydration time ($168 \pm 0.05 \text{ s}$ powder with 2% Emutab® and $324\text{s} \pm 0.11$ powder 0% Emustab®). In this condition of 2% Emustab®, a porous powder was obtained with good fluidity, solubility and antioxidant capacity.

Keywords: Euterpe oleracea Mart. Nutritional composition. Foam-mat method. Isotherms. Diffusion coefficient.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Frutos maduros (<i>Euterpe oleracea</i>). Fonte: Foto de Maria Socorro Padilha de Oliveira, 2015.	17
Figura 2: Movimento da umidade durante a secagem. Fonte: FELLOWS, 2017.	19
Figura 3: Curvas de secagem. Fonte: FELLOWS, 2017.	21
Figura 4: Fluxograma das etapas da metodologia que foi utilizada. Fonte: Autor.	25
Figura 5: Avaliação experimental da expansão do volume (a) amostra pura (b) amostra com 2% de Emustab® e (b) amostra pura, utilizando o mesmo tempo de batimento para ambas as amostras (10 minutos).....	40
Figura 6: Cinética de secagem para a polpa pura e para a polpa contendo 2% de Emustab®	46
Figura 7: Gráfico da taxa de secagem da polpa de açaí pura e com Emustab®.	47
Figura 8: Comportamento da espuma de açaí (padrão) e a espuma com 2% de Emustab®.	48
Figura 9: Resultado final da secagem (a) polpa com Emustab® (b) polpa pura.	50
Figura 10: Microestrutura das amostras secas: (a) pó padrão aumento de 8x (b) pó com Emustab® aumento de 8x (c) pó padrão aumento de 30x e (d) pó com Emustab® aumento de 30x.....	53
Figura 11: escoamento dos pós de açaí, parte (a) pó com Emustab®, (b) pó padrão (sem Emustab®).	55
Figura 12: Gráfico das isotermas de pó de açaí com 2% de Emustab® e do pó de açaí padrão (0% emulsificante) nas temperaturas de 25°C e 35°C.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos pós de acordo com sua higroscopicidade.....	32
Tabela 2: Sais e suas diferentes umidades relativas.	35
Tabela 3: Modelos para estimar as isotermas de sorção de água.	36
Tabela 4: Resultados médios da caracterização da polpa de açaí in natura,	37
Tabela 6: Resultados médios da capacidade antioxidante DPPH, compostos fenólicos e antocianinas para os pós de açaí Padrão (0% emulsificante) e para o pó de açaí com a adição de 2% do Emustab® Emustab®.	42
Tabela 7: Resultados médios da capacidade antioxidante DPPH, compostos fenólicos e antocianinas para os pós de açaí Padrão (0% emulsificante) e para o pó de açaí com a adição de 2% do Emustab®.....	43
Tabela 8: Ajustes matemáticos para isotermas do pó de açaí padrão com 0% de emulsificante nas temperaturas de 25°C e 35°C.....	57
Tabela 9: Ajustes matemáticos para isotermas do pó de açaí com 2% de Emustab® na temperatura de 25°C e 35°C	59

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANOVA	Análise de variância
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
CC	Com circulação e renovação de ar
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazila
ATT	Acidez total titulável

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVO GERAL.....	15
2.1. Objetivos específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. Açai.....	16
3.2. Secagem	18
3.2. Secagem em Camada de Espuma	21
3.4 Emulsificante.....	22
4. METODOLOGIA.....	24
4.1. Análise centesimal	24
4.1.1. Umidade	24
4.1.2. Cinzas.....	26
4.1.3. Proteínas pelo método de Kjeldahl	26
4.1.4. Lipídios pelo método Bligh-Dyer	27
4.1.5 Análise do pH	27
4.2 Acidez total titulável (ATT)	27
4.3 Preparo da polpa de açai para a formação de espuma	28
4.4 Determinação da massa específica e percentual de expansão das espumas 28	
4.5 Determinação da capacidade de sequestro do radical DPPH.....	29
4.6 Compostos Fenólicos.....	30
4.7 Antocianinas.....	31
4.8 Secagem	31
4.9 Higroscopicidade.....	32

4.10	Solubilidade.....	33
4.11	Microestrutura	34
4.12	Tempo de Reconstituição.....	34
4.13	Ângulo de repouso	34
4.14	Isotermas de sorção.....	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5.1	Análise centesimal	37
5.2	Determinação da massa específica e percentual de variação das espumas 39	
5.3	Determinação da capacidade antioxidante DPPH, compostos fenólicos e antocianinas para a polpa fresca e para o pó de açaí.....	41
5.4	Cinéticas de secagem: Cálculo do coeficiente de difusão.....	45
5.5	Higroscopicidade.....	50
5.8	pH do pó.....	51
5.9	Solubilidade.....	51
5.10	Microestrutura	52
5.11	Tempo de Reconstituição.....	54
5.11	Ângulo de repouso	54
5.12	Isotermas de sorção a 25°C e 35°C	56
6.	CONCLUSÃO	60
7.	REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas da China e da Índia. A produção de frutas no Brasil está acima de 40,0 milhões de toneladas por ano e a presença no mercado exterior é consequência da grande oferta de frutas tropicais e de clima temperado, possibilitada por sua extensão territorial, condições de solo e clima privilegiados (SEAB, 2017).

Açaí (*Euteper oleracea* Mart) é um fruto tropical, uma palmeira que é nativa do norte do Brasil, encontrada principalmente nos estados do Pará, Amapá, Maranhão, Tocantins e Amazônia (SILVA et al., 2016; TORMA et al., 2017; YAMAGUCHI et al., 2015). A fruta pode ser colhida durante todo o ano especialmente nos meses de agosto à dezembro, quando tem seu maior rendimento e sua melhor qualidade sensorial (BRONDIZIO, SAFAR, e SIQUEIRA 2002).

A espécie *Euterpe* tem um grande potencial econômico, essencialmente pelo uso de seus frutos na preparação de bebidas de açaí exportadas em todo o mundo como uma bebida energética (YAMAGUCHI et al., 2015). Na região amazônica, é consumido com farinha de tapioca e peixe como acompanhamento. Geralmente vendido pasteurizado, não processado ou como uma mistura de polpa congelada (OLIVEIRA et al., 2015).

Atualmente também é consumido na região Sul do Brasil e por populações do sudeste brasileiro e muitos países da Europa, Estados Unidos, Japão e China, em bebidas, misturas de frutas e sorvetes, onde os consumidores a reconhecem como uma polpa com grande poder nutricional (COSTA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015; PACHECO-PALENCIA e TALCOTT, 2010).

Para fazer o suco de açaí, os frutos precisam ser colhidos e transportados, sendo estes altamente perecíveis, com poucas horas de vida útil à temperatura ambiente, com um pH de 4,5, o que favorece a sua deterioração (OLIVEIRA et al., 2015; DOMINGUES et al., 2017).

Diante dessa demanda por transporte e exportação da fruta é necessário métodos que conservem as suas propriedades, como o método de desidratação, muito utilizado para aumentar a vida útil dos alimentos (BEZERRA, 2009; RODRIGUES, 2015). A

desidratação reduz a atividade da água dos alimentos e aumenta o prazo de validade, impedindo o crescimento microbiano, atividade enzimática e oxidativa, levando a um aumento da estabilidade, não necessitando de refrigeração (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2016; TSOTSAS e ANDMUJUMDAR, 2014; SINGH e HELDMAN, 2014). Métodos de secagem usando por spray (TORNON et al., 2009b), liofilização (SCHAUSS et al., 2006) ou secagem por camada de espuma (COSTA et al., 2015) são considerados alternativas para melhorar a conservação da fruta.

A secagem por camada de espuma é um método de secagem no qual se consegue melhorar a taxa de secagem mudando a estrutura física da amostra, tornando-a mais porosa. É um método de secagem em que alimentos líquidos ou semissólidos são batidos em espumas estáveis e depois secos com estufa de circulação de ar. A formação da espuma se dá com a adição de agentes espumantes e estabilizadores para conferir estabilidade adequada. (MORGAN et al. 1961).

Este método permite a desidratação de alimentos sensíveis ao calor, com alto teor de açúcar e viscosos ou com pequenas partículas, difíceis de secar sem alteração na qualidade. É adequado para a secagem de produtos que não podem ser secos por secagem por spray (AKINTOYE e OGUNTUNDE 1991). Algumas das vantagens deste método consistem na facilidade operacional e baixo custo (BATES, 1964; SANGAMITHRA, VENKATACHALAM, JOHN, e KUPPUSWAMY, 2015). Com base nesse contexto o trabalho teve como objetivos produzir a espuma de açaí, definindo as formulações e processamento da secagem.

2. OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo sobre a produção de espuma da polpa de açaí, e submeter o produto ao processo de secagem.

2.1. Objetivos específicos

- Realizar as análises centesimais, avaliar o teor de antocianinas, compostos fenólicos e a capacidade de sequestro do radical DPPH da polpa de açaí *in natura*.
- Estudar o comportamento cinético da secagem da polpa com adição de emulsificante e da polpa *in natura*, a fim de analisar os parâmetros de secagem, determinar as constantes de secagem e os coeficientes de difusividade para ambas as amostras;
- Determinar o teor de antocianinas, compostos fenólicos, capacidade de sequestro do radical DPPH e análises físicas da polpa seca de açaí.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Açaí

A palmeira açaí (*Euterpe oleracea* Mart), nativa da região norte do Brasil, produz uma baga roxa chamada açaí ou açai da Amazônia, consumida desde a antiguidade por brasileiros nativos da região (SCHAUSS, 2015). O nome açaí vem do Tupi Guarani (a língua nativa do povo) e significa “fruta que chora” porque durante a extração do açaí sua polpa flui lentamente como lágrimas (ENGELS 2010; YAMAGUCHI et al., 2015).

Seus frutos são esféricos e verdes, ao amadurecer adquirem coloração roxa escura devido ao alto teor de compostos fenólicos, principalmente as antocianinas. Os frutos são encontrados em cachos, sua semente representando a maior parte do tamanho da fruta, envolvidos por uma polpa oleaginosa que representa apenas 5% a 15% do peso da fruta (ENGELS 2010; YAMAGUCHI et al., 2015).

Atualmente, o consumo de açaí como alimento funcional é amplamente utilizado em todo o mundo e há um mercado crescente para os nutracêuticos e suplementos alimentares que contêm açaí (PORTINHO et al., 2012). Além do uso tradicional do suco de açaí, a polpa processada tem sido utilizada no norte do Brasil para fazer sorvete, doces e bolos em pó (CYMERYYS e SHANLEY, 2005; YAMAGUCHI, PEREIRA, LAMARÃO, LIMA, e VEIGA-JUNIOR, 2015).

Nos últimos dez anos houve um aumento do interesse por esta fruta devido à sua composição e possíveis efeitos benéficos na saúde humana. Atualmente, 40% da polpa de açaí produzida na região amazônica é destinada tanto ao mercado interno quanto à exportação e os principais produtos comercializados no mundo incluem polpa congelada de açaí, pó de açaí, usado como ingrediente na fabricação de suplementos alimentares, bebidas de açaí e outros alimentos (CARVALHO et al., 2017). As plantações de grande escala de açaí aumentaram em mais de 200% na última década (CARVALHO et al., 2017). Na figura 1 é apresentado o aspecto visual do açaí.



Figura 1: Frutos maduros (*Euterpe oleracea*). Fonte: Foto de Maria Socorro Padilha de Oliveira, 2015.

O ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece as instruções normativas em relação aos padrões de qualidade e identidade das polpas de açai de acordo com a quantidade de sólidos totais presentes e da adição de água. As polpas de açai são classificadas em polpa integral, polpa do tipo A, B e C. Segundo a legislação, a polpa de açai integral é a polpa que deve apresentar entre 40% a 60% de sólidos totais. Já a polpa de açai do tipo A deve apresentar sólidos totais acima de 14%, açai tipo B entre 11% a 14% de sólidos totais e a polpa do tipo C entre 8% a 11% de sólidos. As polpas do tipo A, B e C são extraídas com adição de água e filtração (BRASI, 2016).

O açai tem sido descrito como um fruto com ampla gama para promoção de benefícios a saúde devido às suas propriedades anti-inflamatórias que são

acentuadas em comparação com outras frutas (HEINRICH et al., 2011). Nos últimos anos tem aumentado a produção de açaí, pois apresenta alta atividade antioxidante e um potencial como alimento funcional (KANG et al., 2010).

Este efeito é vinculado a presença de polifenóis (antocianinas e flavonoides) (PACHECO-PALENCIA et al., 2009; KANG et al., 2010). O açaí tem um alto valor nutricional e é rico em conteúdo energético devido aos seus altos níveis de ácidos graxos, carboidratos, fitoesteróis, fibras, vitaminas e minerais (PORTINHO et al., 2012). Em relação aos polifenóis, estes são antioxidantes importantes presentes no açaí, podendo ser encontrados na forma de cianidina-3-glicosídeo e cianidina-3-rutinosídeo como suas principais antocianinas e, em pequenas quantidades, peonidina-3-rutinosídeo, peonidina-3-glicosídeo, cianidina-3-O-sambubiosídeo, e pelargonidina-3-O-glucido (GORDON et al., 2012). Além disso, os principais flavonoides encontrados no açaí são a quercetina, a orientina e seus derivados, bem como proantocianidinas (GORDON et al., 2012; KANG et al., 2010).

No entanto, essas propriedades químicas e da composição dos frutos dos açaís, incluindo os compostos fenólicos e antocianinas, acidez, sólidos totais, variam em relação às características genéticas, sistema de cultivo, técnicas de colheita, estágio de maturação, tempo de transporte, processo de limpeza e maceração (CARVALHO et al., 2017; DOMINGUES et al., 2017).

3.2 Secagem

A secagem é um processo complexo de transferência de calor e massa que visa remover a umidade dos materiais alimentares, podendo ser sólido ou líquido, com o objetivo de obter um produto com baixo teor de água. O produto pode ser obtido em forma de flocos, pó ou grânulos (RAGHAVAN et al., 2005; FIOREZE. 2004). Quando estes produtos são secos ficam menos susceptíveis a contaminação microbiana e outras reações químicas de deterioração. É um método que facilita o armazenamento e transporte dos produtos (ZAREIN et al., 2015).

A comercialização de frutas está restrita à sua época de safra, pois sua perecibilidade geralmente é alta. A secagem é um método que tem como finalidade inibir estes processos enzimáticos, conservando a fruta por mais tempo quando na forma de pó. É uma alternativa para abastecer o mercado consumidor nos períodos de entressafra (RODRIGUES et al.2015).

Portanto, qualquer aumento no teor de umidade durante o armazenamento pode resultar em deterioração rápida depende do pH e da Aw. A secagem também pode provocar alterações na qualidade e valor nutricional dos alimentos uma vez que as temperatura se secagem influenciam em vários parâmetros como na degradação de compostos antioxidantes (NASCIMENTO, 2008).

A secagem depende de alguns fatores como temperatura do ar, umidade e velocidade do ar. Quando o ar quente é soprado sobre um alimento úmido, o vapor de água difunde-se através de uma película delimitada de ar ao redor do alimento e é levado pelo ar em movimento Figura 2 (FELLOWS, 2017).

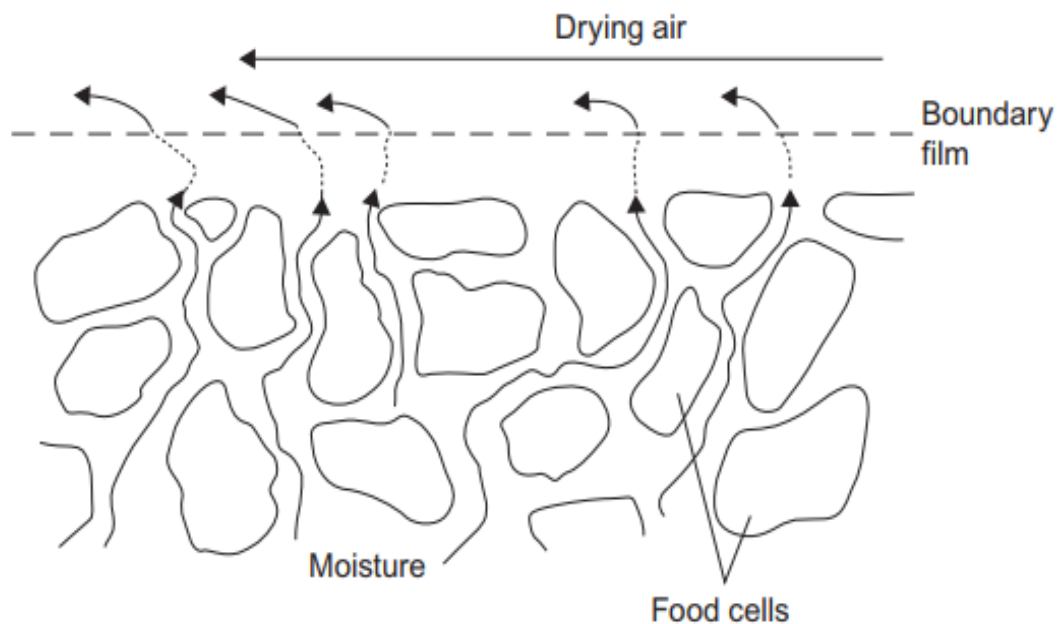


Figura 2: Movimento da umidade durante a secagem. Fonte: FELLOWS, 2017.

Durante a secagem um gradiente de pressão de vapor de água é estabelecido a partir do interior úmido do alimento para o ar seco. Este gradiente fornece a "força motriz" para a remoção de água dos alimentos. A camada limite age como uma

barreira à transferência de calor e à remoção do vapor de água. A espessura do filme é determinada principalmente pela velocidade do ar (FELLOWS, 2017).

Ar de baixa velocidade produz filmes de limite mais espessos que reduzem o coeficiente de transferência de calor e a remoção lenta de umidade. Quando o vapor de água deixa a superfície dos alimentos, aumenta a umidade do ar no filme limite. Isso reduz a pressão do vapor de água, e, portanto, diminui a taxa de secagem. Por outro lado, o ar em movimento rápido remove ar úmido mais rapidamente, reduz a espessura do filme limite e aumenta o gradiente de pressão de vapor de água aumentando a taxa de secagem (BARBOSA-CÁNOVAS 2007).

Quando o alimento é colocado em um secador, há um curto período de acomodação inicial, medida que a superfície aquece até a temperatura do bulbo úmido nos pontos da curva A e B na Figura 3 A. Começa então a secagem, onde a água se move do interior do alimento na mesma velocidade que evapora, sendo que a superfície do alimento permanece úmido. Isso é conhecido como o período de taxa constante e continua até que um certo teor crítico de umidade é alcançado entre os pontos B e C para as curvas da Figura 3 (A e B) (FELLOWS, 2017).

A temperatura da superfície do alimento permanece perto da temperatura do bulbo úmido do ar de secagem até o final do período de taxa constante, devido ao efeito de resfriamento da água evaporada. Na prática, diferentes áreas da superfície dos alimentos secam a taxas diferentes e, em geral, a taxa de secagem diminui gradualmente no final do período 'constante' (FELLOWS, 2019).

Diversas são as técnicas de secagem que podem ser usadas na desidratação de alimentos, porém a escolha é orientada pela natureza do material a ser desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operação (EVANGELISTA, 1994). Dentre os métodos e equipamentos de secagem que podem ser utilizados, pode-se citar: secagem com ar quente, secagem por contato direto com uma superfície quente, secagem por radiação, secagem por camada de espuma e liofilização. A polpa seca na forma de pó geralmente apresenta fácil reidratação, o que possibilita a formulação de outros produtos de baixo volume e massa, com consequência econômica no custo de embalagens, transporte espaço e armazenamento (ALEXANDRE et al., 2007).

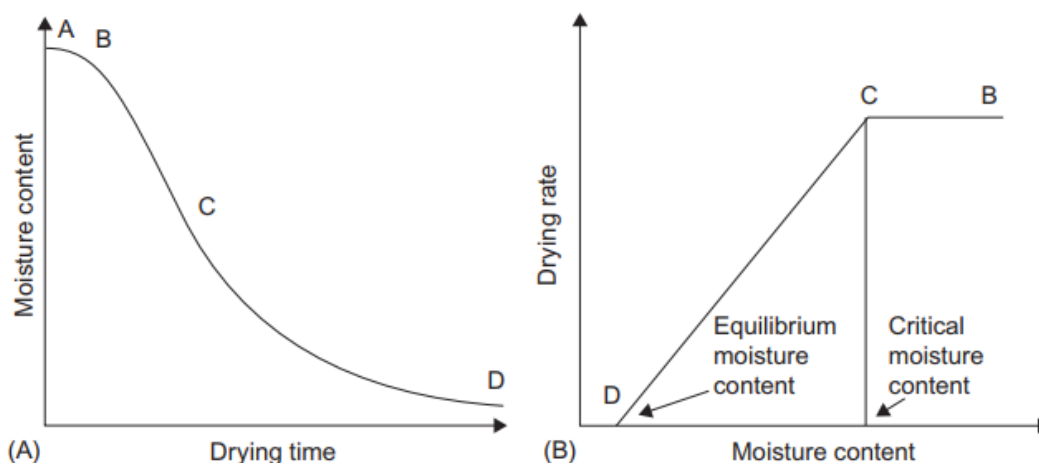


Figura 3: Curvas de secagem. Fonte: FELLOWS, 2017.

3.2. Secagem em Camada de Espuma

Alimentos em pó são normalmente usados para preparar produtos como alimentos para bebês, bebidas, lanches, assados e produtos de massa. Esses alimentos podem ser produzidos por pulverização em um secador de spray. No entanto, é necessário aplicar alternativas mais simples para remover a umidade mantendo a qualidade do alimento (JAKUBCZYK et al., 2011).

A secagem por camada de espuma é vantajosa por ser uma técnica simples com custo operacional menor, além de possibilitar o uso de temperaturas mais baixas. Esta técnica reduz o tempo do processo e melhora a secagem e qualidade do produto, uma vez que preserva o valor nutricional e o sabor do alimento, possibilitando uma secagem mais rápida pois há um aumento na área superficial do alimento incrementando a transferência de calor e massa (FRANCIS, 2000; PRASETYANINGRUM, e DJAENI, 2012; AZIZPOUR et al., 2016). A secagem por camada de espuma possibilita tempos de secagem mais curtos que ajudam a manter os nutrientes e sabor da fruta (CHANDRASEKAR, GABRIELA, KANNAN, e SANGAMITHRA, 2015).

É um método de desidratação apropriado para alimentos viscosos e sensíveis ao calor. Neste método o líquido é submetido à adição de um agente espumante,

incorporando o ar geralmente por agitação. A espuma formada na presença do emulsificante é distribuída em bandejas em camadas finas e levados para secar (BRENNAN, 2006; WIDYASTUTI, e SRIANTA, 2011).

Espumas são sistemas bifásicos que contêm bolhas de ar dispersas em um sólido ou líquido separados por uma película fina. Os principais fatores necessários para a produção de espumas estáveis são (FELLOWES, 2019):

- Baixa tensão superficial, para que permita que as bolhas tenham mais ar e evitem a contração.
- Insolubilização ou gelificação da película de bolhas, para evitar e minimizar a perda de gás contido e aumentar a rigidez da bolha.
- Ter baixa pressão de vapor nas bolhas afim de evitar a evaporação e o rompimento da película.

A secagem por camada de espuma pode ser aplicada a muitos alimentos sensíveis ao calor como vegetais e frutas. Várias pesquisas foram realizadas utilizando esta técnica como a secagem feijão-caupi (FALADE et al., 2003), damasco (KOMES et al., 2005), banana (THUWAPANICHAYANAN et al., 2008), manga (KADAM et al., 2010), maçã (JAKUBCZYK et al., 2010), massa de tomate (KADAM e BALASUBRAMANUAN, 2011), mandarim (KADAM et al., 2011), polpa de groselha preta (ZHENG et al., 2011). Entre outros estudos.

3.4 Emulsificante

Os agentes emulsificantes ou surfactantes estão presentes ou são adicionados ao alimento, e tem capacidade de se ligar tanto as partes polares (hidrofílicas) quanto as apolares (lipofílicas), formando micelas em torno de cada gotícula na fase dispersa. Agentes emulsificantes que contêm principalmente grupos polares, preferem se ligar a água e produzem emulsões, já os agentes emulsificantes apolares se ligam principalmente a óleos para produzir emulsões (FELLOWS, 2019).

Um dos aspectos mais críticos na formação de produtos à base de emulsão é a escolha do emulsificador apropriado (MCCLEMENTS, 2015). Em geral, existem

muitos tipos de emulsionantes sintéticos e naturais que podem ser utilizados na indústria alimentícia, incluindo proteínas, polissacarídeos, fosfolípidios e surfactantes (KRALOVA e SJOBLOM 2009). As proteínas atualmente estão sendo muito usadas pela indústria alimentícia por suas capacidades emulsionantes além da sua disponibilidade comercial, alto valor nutricional e excelentes propriedades. As proteínas mais utilizadas são derivadas do leite (ou soro de leite), soja, ovo, entre outros (AMINE, DREHER, HELGASON, e TADROS, 2014; O'SULLIVAN, MURRAY, FLYNN e NORTON, 2016).

Um emulsificante eficaz precisa ter características físico-químicas específicas para formação da espuma, sendo uma delas é a atividade de superfície, que deve ser capaz de adsorver a superfície água e óleo, ou seja, ter proporção apropriada de grupos polares e não polares. Outro fator é a cinética de adsorção, que deve ter uma rápida adsorção durante a homogeneização para que se tenha uma redução da tensão interfacial e evitar a agregação das bolhas de espuma.

Outro fator é de que os emulsionantes adsorvidos devem diminuir efetivamente a tensão interfacial. Devem proteger as gotículas da agregação durante os encontros gotículas-gotículas, gerando interações repulsivas, agindo como um estabilizante. A cobertura da superfície, ou seja, a quantidade emulsificante necessária para estabilizar uma emulsão, depende da carga superficial, que é a massa do emulsificante por unidade de superfície na saturação. Quanto maior a carga superficial, mais emulsificante é necessário para estabilizar uma determinada emulsão (MCCLEMENTS, 2015).

O emulsificante e estabilizante neutro Emustab® é um produto de baixo custo com bons resultados na estabilização de polpas de frutas. Este produto é composto por: monoglicerídeos de ácidos graxos destilados (tensoativo/ agentes de aeração estabilizador de cristalização), monoestearato de sorbitana (estabilizante), polioxietileno de monoestearato de sorbitana (tensoativo) e apresenta o sorbato de potássio (GURGEL, 2014).

4. METODOLOGIA

A polpa de açaí utilizada nesse trabalho foi fornecida por uma empresa especializada em venda de açaí localizada no município de Laranjeiras do Sul-PR. Esta polpa foi classificada como polpa do tipo B, no qual deve possuir entre 11% a 14% de sólidos totais. Foi armazenada a - 21°C em *freezer* no laboratório até o momento do uso. A metodologia utilizada para cada uma das etapas experimentais é representada na Figura 4.

4.1. Análise centesimal

Para análise da polpa de açaí foram utilizados os métodos descritos abaixo de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). Todas as análises centesimais foram analisadas em triplicada.

4.1.1. Umidade

Para determinar o teor de umidade, as amostras foram aquecidas em estufa a 105°C até a massa se tornar constante, então em seguida resfriadas em dessecador a temperatura ambiente para uma nova medida. A umidade foi expressa em termos de massa de amostra seca.

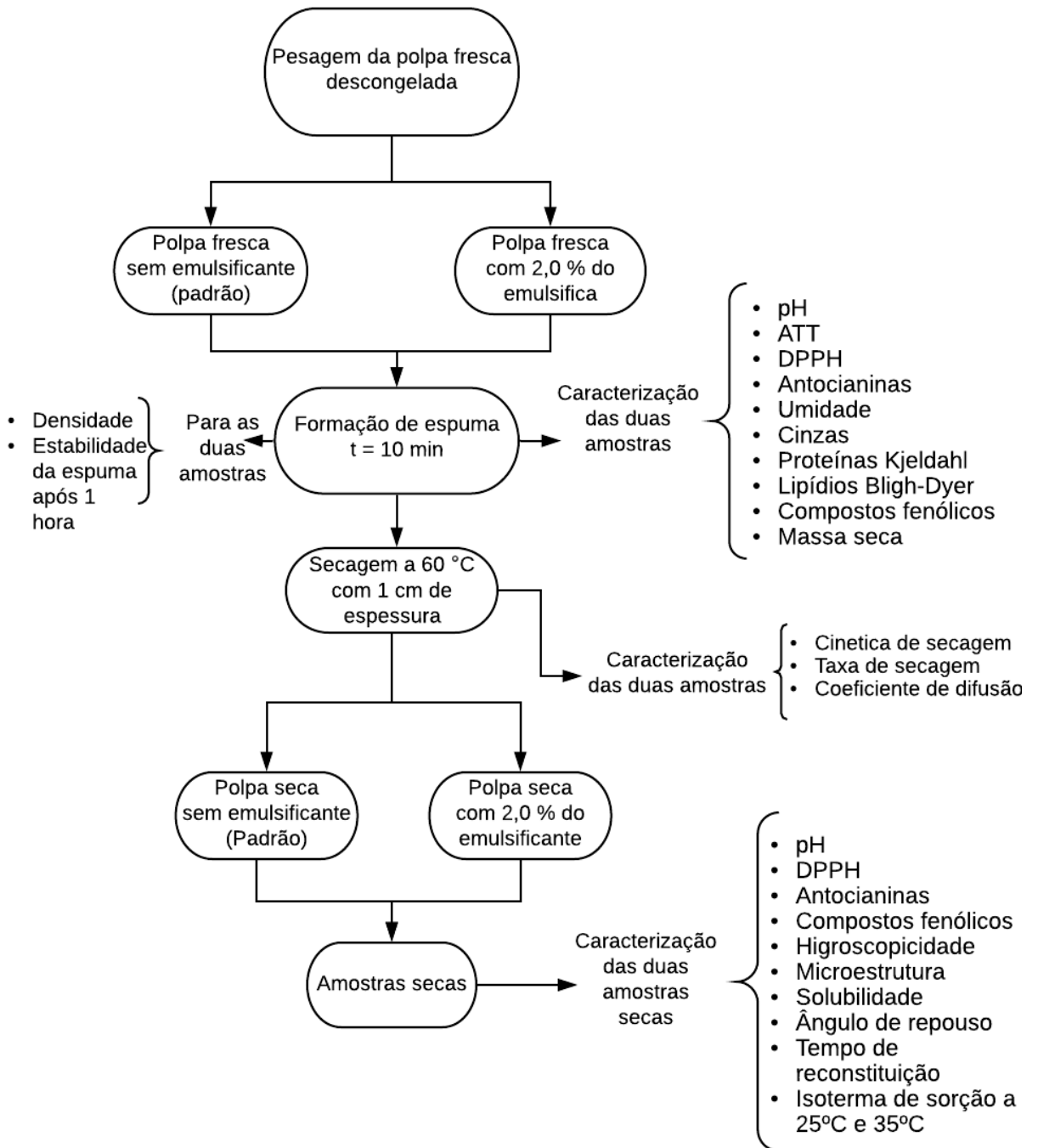


Figura 4: Fluxograma das etapas da metodologia que foi utilizada. Fonte: Autor.

4.1.2. Cinzas

Para determinar o teor de cinzas na polpa de açaí, foi utilizado o método de incineração em mufla a 550°C até massa constante. A massa foi aferida após resfriamento em dessecador até temperatura ambiente.

4.1.3. Proteínas pelo método de Kjeldahl

O teor de proteínas foi determinado pelo método de Kjeldahl. Aferiu-se aproximadamente 3,0 g da amostra de polpa de açaí no tubo de digestão com 1,5 g de mistura catalítica (1:3 de sulfato de cobre e sulfato de potássio), com de 7 mL de ácido sulfúrico concentrado. A mistura foi aquecida lentamente até alcançar 350°C e mantida sob aquecimento por 6 h, até a completa digestão da amostra, observada pela mudança da coloração do escuro para verde claro.

Após a digestão, foi transferido aos poucos hidróxido de sódio a 40% (m/v), até a mistura tornar-se marrom escura. O nitrogênio foi destilado e coletado em Erlenmeyer, contendo 25 mL da solução de ácido bórico 2%(m/v), com 3 gotas do indicador misto (vermelho de metila e verde de bromocresol), sendo este mergulhado na saída do condensador. Foram destilados aproximadamente 75 mL. O borato de amônio produzido foi titulado com solução de ácido clorídrico 0,1 mol/ L, até a mudança de cor do indicador. O mesmo procedimento foi realizado para a prova do branco. O conteúdo de nitrogênio, das diferentes proteínas é de aproximadamente 16%(m/v). Assim, o valor de nitrogênio encontrado, foi multiplicado pelo fator de correção de 6,25, a fim de obter o teor de proteínas do material.

4.1.4. Lipídios pelo método Bligh-Dyer

A análise utiliza como princípio uma mistura a frio de metanol-clorofórmio-sulfato de sódio 1,5%. Mediu-se aproximadamente 3 g da amostra de polpa de açaí em béquer previamente aquecidos em estufas a 105°C, e adicionou-se 10 mL de clorofórmio e 10 mL de metanol, a mistura foi levada a um agitador rotativo por 30 min. Posteriormente foi adicionado 10 mL de clorofórmio e 10 mL de sulfato de sódio 1,5% (m/v) e transferido 15 mL da camada inferior para um tubo de 30 mL. Ao tubo foi adicionado aproximadamente 1 g de sulfato de sódio anidro, tampado e agitado, e transferido 5 mL da solução para um béquer previamente aferido. O béquer foi levado a estufa a 80°C até a evaporação do solvente. E por diferença de massa obteve-se o teor de gordura.

4.1.5 Análise do pH

O pH da polpa de açaí foi determinado com o auxílio do pHmetro da marca Hanna Instruments, modelo HI 2221.

4.2 Acidez total titulável (ATT)

Na determinação da acidez total titulável foi utilizada a metodologia da AOAC (2007). Inicialmente uma porção de 5 g de amostra de polpa de açaí foi transferida para um Erlenmeyer e sobre a amostra adicionou-se 40 mL de água destilada sobre homogeneização por cerca de 2 minutos, na sequência adicionou-se 3 gotas de indicador fenolftaleína e foi feita a titulação com o auxílio de um pHmetro, o ponto de viragem observou-se quando o pH ficou constante aproximadamente em pH 8,5. A amostra foi titulada com solução de hidróxido de sódio (0,01 mol. L⁻¹) previamente

padronizada. A acidez total titulável foi expressa em massa de ácido cítrico, por 100 g da amostra.

4.3 Preparo da polpa de açaí para a formação de espuma

Este trabalho segue a continuação dos estudos realizados em trabalho de conclusão de curso de Moraes (2018), onde este desenvolveu aplicação do planejamento experimental 2^2 com pontos axiais e 4 pontos centrais, variando a concentração de Emustab® (0 até 2%) e o tempo de batimento de (1,77 até 10,23 min). As variáveis resposta foram a densidade e a estabilidade da espuma após uma hora de repouso. A partir deste estudo, Moraes 2018 verificou que a maior concentração de Emustab® possibilitou maior estabilidade da espuma e a densidade mais baixa.

Diante disso para a continuidade dessa dissertação (presente trabalho) a elaboração das espumas com polpa de açaí foi realizada usando batedeira planetária na velocidade 3 (modelo SX84, Deluxe Arno, Brasil) com 2% de Emustab® (ponto experimental 1,41) e 10,23 min (ponto experimental 1,41).

Para a formação da espuma a preparação iniciava com o desconge lamento da polpa de açaí. Quando a temperatura da polpa atingia 14°C o Emustab® era adicionado manualmente e o batimento era iniciado. Cada batelada experimental era feita com uma quantidade de 400g de polpa de açaí.

4.4 Determinação da massa específica e percentual de expansão das espumas

A avaliação do percentual de expansão das espumas foi determinada pela sua densidade aparente. Foram realizadas medidas utilizando provetas de 1000 mL. Para o cálculo da densidade aparente foi utilizada a Equação 1.

$$\rho = \frac{m_{(\text{total})}}{V_{(\text{proveta})}} \quad (1)$$

Em que:

ρ = Densidade aparente (g.mL^{-1})

m = Massa da polpa e aditivo (g)

V = Volume depois do batimento (mL)

A expansão da espuma é determinada pelo aumento do volume, e a sua estabilidade foi determinada durante o período de 1 h de repouso. O percentual de variação foi determinado utilizando-se a Equação 2, descrita por Wang et al, (1992).

$$\text{Percentual de variação \%} = 100 - \left(\frac{V_{(\text{Apos 1 hora})} * 100}{V_{(\text{Inicial})}} \right) \quad (2)$$

4.5 Determinação da capacidade de sequestro do radical DPPH

Para determinação da capacidade de sequestro do radical DPPH, foi utilizado a metodologia baseado na Captura do Radical Livre, proposto por Rufino et al. (2007). Uma solução de DPPH na concentração de $60 \mu\text{mol.L}^{-1}$ foi preparada. Em triplicata preparou-se um controle contendo 3,9 mL de acetona e 0,1 mL da solução estoque de DPPH, cuja absorbância foi lida em 516 nm em espectrofotômetro UV-VIS. Para mensurar a atividade antioxidante das amostras foram preparadas três diluições da polpa de açaí. Alíquotas de 0,1 mL das diluições da polpa foram transferidas para tubos de polipropileno com 3,9 mL da solução estoque de DPPH (em duplicata). As soluções foram homogeneizadas e acompanhada a variação de absorbância das soluções em 516 nm com intervalo de 15 minutos até que não variasse mais.

Após o tempo necessário para que a reação ocorresse, foi medida a absorbância das demais soluções. Uma curva padrão de DPPH nas concentrações de 0; 5; 10; 20; 40; $60 \mu\text{mol. L}^{-1}$ foi analisada. A atividade antioxidante foi expressa como sendo a massa de amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH (EC50) em g de amostra por g de DPPH (Rufino et al., 2007). Para a interpretação dos dados do método DPPH, utilizou-se o cálculo da “concentração

eficiente” ou valor de IC50, também conhecido como valor de EC50. Inicialmente, para calcular a capacidade antioxidante foi determinada a média das absorbâncias da solução controle e multiplicando por 0,5. Através da leitura a 515 nm plotou-se o gráfico de Absorbância em relação a concentração de DPPH. Com a equação da reta obtida pelo gráfico, foi calculada a concentração que representa 50% de DPPH na solução controle.

Foram calculadas as massas de amostras contidas em cada diluição. A partir das massas calculadas de cada diluição, foi possível plotar o gráfico da absorbância em relação massa (g), obtendo-se uma nova equação de reta. Com esta nova equação foi calculado o valor de x, ou seja, a massa de amostra capaz de diminuir em 50% a concentração de DPPH na solução controle. Posteriormente determinou-se a quantidade de amostra necessária para consumir 50% de 1g de DPPH. A capacidade antioxidante é expressa como sendo a massa da amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial de DPPH (RUFINO, et al., 2007).

4.6 Compostos Fenólicos

A determinação dos compostos fenólicos foi realizada triplicata, com base no método de Folin-Ciocalteu, de acordo com a metodologia proposto por (MINUSSI et al, 2003). Foi aferida 1,5 g da amostra em frasco de polipropileno de 50 mL, adicionado 20 mL de etanol 50% (v/v) e homogeneizado em vortex por 2 minutos. A mistura foi centrifugada por 5 minutos a 5000 rpm e uma alíquota de 0,50 mL desse extrato foi transferida para um balão de 25 mL protegido da luz (envoltos em papel alumínio). Foi adicionado nos balões sobre o extrato da amostra 3,0 mL de água destilada, 4,0 mL de solução de Folin-Ciocalteu 10% (v/v) e, entre 30 segundos a 8 minutos, foram adicionados 2,00 mL de solução de carbonato de sódio a 7,5% (m/v).

O volume foi complementado com água destilada e a mistura homogeneizada. Os frascos foram mantidos em repouso, na ausência de luz, por 2 h e posteriormente foi realizada a leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 765 nm descontando o valor do branco de cada medida. Uma curva padrão foi realizada com

ácido gálico (AG) nas concentrações de 0; 0,2; 0,5; 1,0; 2,5 e 5,0 mg de AG.L⁻¹ para realização da curva padrão seguiu-se o mesmo procedimento utilizado para as amostras. Os resultados foram expressos em mg AG / 100 g de amostra.

4.7 Antocianinas

Para determinação das antocianinas totais foi o utilizado o método por Lee e Francis (1972). Aferiu-se 0,5g de fruta em pó em um tubo de falcon de 15 mL protegido da luz com papel alumínio. Acrescentou-se 10 ml de metanol pH 1,0 e homogeneizou-se a solução, com ultraturrax por 2 minutos a cada 5 minutos em um intervalo de 1 hora. A solução foi filtrada com o auxílio de papel filtro em cones de vidros diretamente colocado sobre o balão volumétrico de 50 ml, lavou-se com metanol acidificado de duas a três vezes, posteriormente o volume de 50 mL do balão foi completado com água destilada. A absorbância foi lida em 505 nm. Mediu-se a absorbância do metanol pH 1,0 e descontou esse valor das medidas. Análise realizada triplicata para todas as amostras.

4.8 Secagem

As amostras padrão com 0% de Emustab® e com 2% de Emustab®, ambas submetidas ao batimento de **10 minutos**, foram dispostas em camadas de 1 cm de espessura em placas de Petri 4,75 cm, e levadas em estufa de secagem SOLAB - SL-102/150 com circulação e renovação forçada de ar a 60°C, até atingir massa constante. Para o cálculo das cinéticas de secagem a umidade em base seca foi utilizada, de acordo com a equação abaixo:

$$x_{bs} = \frac{\text{massa da polpa} - \text{massa seca}}{\text{massa seca}} \quad (3)$$

As curvas da taxa de secagem foram obtidas através da derivada matemática das equações obtidas das cinéticas de secagem e o cálculo do coeficiente efetivo de difusão da água pela polpa de açaí foi determinado utilizando-se a equação descrita por Shigh e Heldman (2009).

$$t = \frac{4 * d^2}{\pi * D_{ab}} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} * \left(\frac{x_c - x_e}{x - x_e} \right) \right] \quad (4)$$

A equação 4 é válida para representar o regime transiente, para uma placa plana infinita.

Em que: d representa a espessura (cm) característica do material durante a secagem. Considera-se que este valor permanece constante durante todo o processo. Tempo é o t, Xc é a umidade crítica, determinada pelo início da taxa de secagem decrescente, Xe é a umidade de equilíbrio e X é a umidade que depende de cada tempo de secagem. O Dab (cm²/s) representa o coeficiente efetivo de difusão determinado nesta análise.

4.9 Higroscopicidade

A partir da higroscopicidade os pós foram classificados de acordo com a Tabela 1 de GEA Niro Research Laboratory.

Tabela 1: Classificação dos pós de acordo com sua higroscopicidade.

Higroscopicidade	
Não higroscópico	<10%
Ligeiramente higroscópico	10,1 - 15%
Higroscópico	15,1 - 20%
Muito higroscópico	20,1 - 25%
Extremamente higroscópico	>25%

Fonte: GEA Niro Research Laboratory (2010).

A higroscopicidade foi obtida medindo-se aproximadamente 1g da amostra e em seguida estas foram colocadas em dessecador com 70% UR, a 25°C durante 10 dias. Para promover a umidade relativa próxima a 70% no interior do dessecador, utilizou-se uma solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) (ASTOLFI-FILHO, 2003). A higroscopicidade foi calculada a partir da Equação 5.

$$\text{Higrosocopacidade} = \frac{m_{\text{úmida}} - m_{\text{seca}}}{m_{\text{úmida}}} \quad (5)$$

4.10 Solubilidade

Foi determinada de acordo com o método descrito por Eastman e Moorre (1984), modificada por Cano-Chauca et al. (2005). Uma porção de 1 g de pó foi diluída por adição e 100 mL de água destilada sob agitação com agitador magnético por 5 minutos. A solução foi transferida para tubo de polipropileno e centrifugadas a 2600 rpm por 5 minutos. Uma alíquota do sobrenadante (25 mL) foi transferida para vidro relógio de massa conhecida e foi submetido a secagem em estufa a 105°C durante 5 horas. O percentual de solubilidade foi calculado a partir da diferença entre a massa final e a inicial do material no vidro relógio, conforme a equação 6.

$$\text{Solubilidade \%} = \frac{\text{Peso do solido final seco} \times 4}{\text{Peso da amostra em base seca}} \times 100 \quad (6)$$

4.11 Microestrutura

Para a análise da microestrutura da polpa em pó do açaí padrão e do pó de açaí com Emustab® foi utilizado um Estereomicroscópio de laboratório (SZ51 Olympus, Brasil) onde este fornece a faixa de aumento de 8x a 40x.

4.12 Tempo de Reconstituição

Foi adicionado água destilada ao pó em quantidade suficiente para se obter uma pasta com 15° Brix (teor característico de sólidos solúveis totais da mistura de frutas *in natura*). A mistura foi submetida a agitação de 200 rpm, com acompanhamento visual, em intervalos de 30 segundos, até que se observou o desaparecimento do pó aglomerado.

4.13 Ângulo de repouso

Para avaliação do ângulo de repouso, o pó de açaí foi despejado lentamente em um funil de vidro colocado em um suporte a uma altura fixa de 5 cm, sendo coletado o pó em uma placa de Petri de 7 cm de diâmetro. A quantidade de amostra utilizada correspondia ao necessário para cobrir o fundo da placa (7g), formando um cone. A partir do raio da placa de Petri e da altura do cone formado pelo pó, foi possível a determinação do ângulo de repouso, calculado segundo a equação 7. As medidas foram feitas em triplicata.

$$\theta = \arctan * \frac{H}{R} \quad (7)$$

Onde:

θ = é o angulo de repouso

H= altura considerando o pico do cone atingido pela amostra

R= Raio da placa

4.14 Isotermas de sorção

As isotermas de sorção do pó de açaí foram determinadas por meio da avaliação da sua umidade de equilíbrio através do método estático de acordo com Park, Bin e Brod (2001) e por Oliveira, Afonso e Costa (2011). As isotermas de sorção foram determinadas utilizando diferentes sais representados na tabela 2 que proporcionaram diferentes umidades relativas nas temperaturas de 25 e 35°C . Os dados experimentais foram ajustados por modelos matemáticos de GAB (Van den Berg, 1985), *Peleg* (Peleg, 1993), *Oswin* (Lomauro et al., 1985) e Smith (Smith, 1947) tabela 3.

Tabela 2: Sais e suas diferentes umidades relativas.

Sais	aw
Cloreto de lítio	0,111
Acetato de potássio	0,226
Cloreto de Magnésio	0,327
Carbonato de potássio	0,438
Brometo de sódio	0,577
Nitrito de sódio	0,650
Cloreto de sódio	0,755
Sulfato de amônio	0,807
Cloreto de bário	0,904

Fonte: Greenspan (1977).

Todos os testes foram realizados em triplicata e os resultados avaliados estatisticamente no nível de 95% de confiança. Fez-se uso de regressão não linear no software SciDAVis (Scientific Data Analysis and Visualization) programa computacional gratuito.

Tabela 3: Modelos para estimar as isotermas de sorção de água.

Modelo	Equação	Constantes
GAB (<i>Van den Berg, 1985</i>)	$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + C \cdot k \cdot a_w)}$	X_m C k
Peleg (<i>Peleg, 1993</i>)	$X_{eq} = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2}$	k_1 k_2 n_1 n_2
Oswin (<i>Lomauro et al., 1985</i>)	$X_{eq} = A \cdot \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^B$	A B
Smith (<i>Smith, 1947</i>)	$X_{eq} = A + (B \cdot \log \log (1 - a_w))$	A B

Em que: X_{eq} , umidade de equilíbrio (g de água/g massa seca); a_w , atividade de água; X_m , conteúdo de umidade de monocamada molecular (g de água/g massa seca); A, B, C, K, k_1 , k_2 , n_1 , n_2 , k, parâmetros constantes das equações.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise centesimal

Na Tabela 4 estão expressos os resultados das análises centesimais da polpa de açaí padrão e com 2% de Emustab®, umidade, matéria seca, lipídios, proteína, cinzas, pH e ATT.

Tabela 4: Resultados médios da caracterização da polpa de açaí in natura

	Amostras de açaí	Média bu ± desvio padrão	Média bs ± desvio padrão
Umidade (%)	<i>Açaí in natura</i>	87,60 ± 0,1	—
	Açaí + Emustab®	88,04 ± 0,0	—
Matéria Seca (%)	<i>Açaí in natura</i>	12,50 ± 0,1	—
	Açaí + Emustab®	11,96 ± 0,0	—
Lipídios (%)	<i>Açaí in natura</i>	4,60 ± 0,0	36,78 ± 0,0
	Açaí + Emustab®	8,23 ± 0,0	68,83 ± 0,1
Proteína (%)	<i>Açaí in natura</i>	1,32 ± 0,0	10,6 ± 0,2
Cinzas (%)	<i>Açaí in natura</i>	0,43 ± 0,0	3,6 ± 0,0
pH	<i>Açaí in natura</i>	4,73 ± 0,0	—
	Açaí + Emustab®	4,79 ± 0,0	—
ATT (%)	<i>Açaí in natura</i>	0,33 ± 0,0	—
	Açaí + Emustab®	0,32 ± 0,0	—

Fonte: Autor.

O alto teor de umidade encontrado na polpa de açaí deste trabalho, 87,60% para o açaí *in natura* (0% de emulsificante) e 88,04 % para o açaí com 2% de Emustab® pode ser explicado pelo fato da polpa ser extraída com a adição de água e filtração para sua extração, segundo a legislação atual o açaí deve apresentar respectivamente, teores de sólidos totais acima de 14% para açaí tipo A, 11 a 14% para o B e 8 a 11% para o açaí do tipo C (BRASIL, 2000).

Coutinho (et al 2017) avaliando as características das polpas de açaí do tipo B determinaram uma umidade de 88,93%. Nascimento et al. (2008), analisando a composição do açaí tipo B, encontraram um teor de 89,18%, enquanto, Silva et al. (2017) encontraram 85,36%. A análise de umidade é muito importante, pois conhecendo o seu teor é possível identificar a estabilidade do produto e assim, aplicar técnicas adequadas de processo e armazenamento (SILVA, et al, 2017). No presente estudo a polpa adquirida foi a do tipo B. Logo, a polpa analisada está dentro dos parâmetros exigidos na legislação, apresentando uma média de 12 % de sólidos totais.

O teor de proteína determinado foi de 1,32%, aproxima-se dos valores encontrados por Tornon et al, (2009b) de 1,43% e também dos valores encontrados Costa et al, (2015), correspondente a 1,59%. Apesar da polpa de açaí do tipo B mostrar valores relativamente baixos de proteína, este pode ser explicado pelo elevado teor de umidade presente na polpa (ETO, et al., 2010).

O teor de lipídios determinado foi de 4,60% para o açaí padrão e de 8,23% para a polpa de açaí com a presença de Emustab®, valores muito similares ao observado por Nascimento, et al. (2008) de 4,61% para a polpa do tipo B e de Silva et al. (2017) de 7,23% de lipídios para a polpa do tipo A. Este valor superior já era esperado devido a presença do emulsificante e estabilizante Emustab®.

O pH da polpa de açaí foi de, 4,73 para a polpa padrão e de 4,79 para polpa na presença de Emustab®, mostrando que pH não foi influenciado pela presença do Emustab®. Como era esperado a polpa de açaí é ligeiramente ácida, sendo este resultado muito próximo do estudo realizado por Tornon et al. (2008a) onde o pH encontrado correspondeu a 5,18. Em geral o pH é importante para o processamento de alimentos, produtos ácidos e com atividade de água reduzida podem ser armazenados em temperatura ambiente quando esterilizados (BUERMAN et al., 2020). Uma vez que o açaí apresenta um pH não considerado baixo, este deve ser

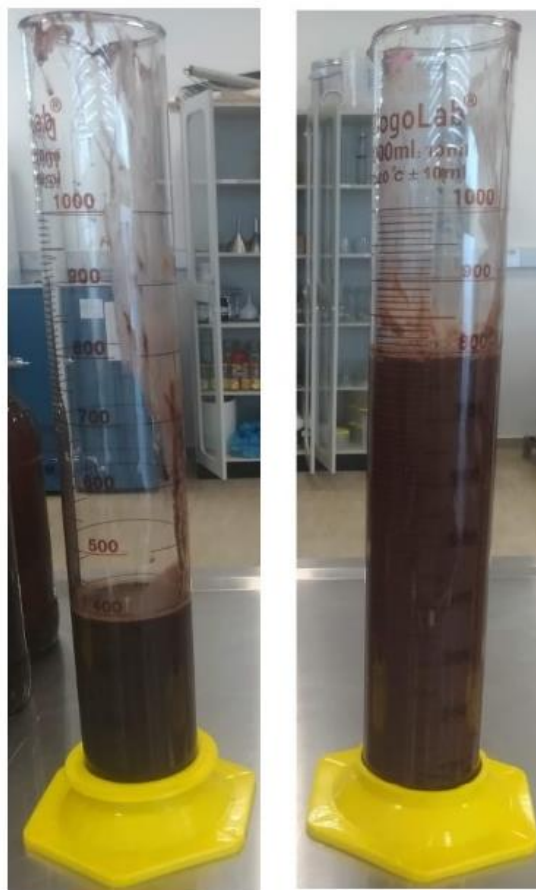
armazenado refrigerado ou uma opção seria a diminuição da atividade da água pelo processo de secagem. A polpa de açaí analisada neste trabalho está de acordo com legislação brasileira, no qual determina que deve conter no mínimo 7,00 g/100 gms proteína, 20,00 g/100 gms de lipídios (ambos os resultados estão expressos em massa seca), pH deve estar em torno de 4,0- 6,2 (BRASIL, 2016).

Os resultados encontrados para a acidez titulável total foram $0,32 \% \pm 0,0$ para a polpa de açaí com Emustab® e $0,33 \% \pm 0,0$ para a polpa de açaí padrão (0% de emulsificante). A presença do emulsificante não alterou o a acidez titulavel da polpa da fruta. Estes valores estão próximos aos encontrados por Coutinho et, al. (2017), para o fruto de açaí do tipo B, C e D respectivamente $0,33 \% \pm 0,01$, $0,35 \% \pm 0,03$ e $0,24 \pm 0,01$. Gordon (2012) ainda explica que é possível que ocorra variações na acidez das polpas de frutas, pois assim como a concentração dos compostos bioativos a acidez também depende do estágio de maturação e das condições climáticas.

5.2 Determinação da massa específica e percentual de variação das espumas

A obtenção de uma estrutura de espuma estável é um dos principais objetivos da secagem por camada de espuma, garantir a estabilidade física para se obter taxas de secagem mais altas. Se a espuma se desestabilizar ou se soltar líquido excessivamente, o tempo de secagem aumenta reduzindo a qualidade final do pó (FRANCO et al., 2015b) A estabilidade da espuma é influenciada por sua densidade e espessura e permeabilidade, concentração do agente espumante (KANDASAMY et al., 2012).

Figura 5: Avaliação experimental da expansão do volume (a) amostra pura (b) amostra com 2% de Emustab® e (b) amostra pura, utilizando o mesmo tempo de batimento para ambas as amostras (10 minutos).



(a)

(b)

Fonte: Autor.

Pode-se observar na Figura 5, quando se utilizou 2% do Emustab® o volume da amostra praticamente duplicou, para avaliação dos estudos de formação da espuma de polpa de açaí com emulsificante, foi verificada a estabilidade da espuma após 1 hora em repouso, na temperatura ambiente e calculado o percentual de variação para a espuma com 2% de Emustab®, obteve-se um percentual de variação baixo que foi de $1,44\% \pm 0,003$, a espuma se manteve estável. Isto se deve ao batimento com o emulsificante que faz com que se incorporem inúmeras bolhas de ar em todo o corpo da amostra principalmente na sua superfície. Essas bolhas criam um filme de espessura interfacial formando uma espuma estável aumentam o volume e diminui a densidade da amostra (NG e SULAIMAN, 2017).

As densidades obtidas foram de 1,03 g/mL para a polpa padrão e 0,51 g/mL para a polpa com Emustab®, a densidade foi menor para a polpa com Emustab®. A densidade da espuma é geralmente usada para avaliar as propriedades de batimento. Quanto mais o ar incorporado durante o batimento, menor será a densidade da espuma, pois o batimento tem a capacidade de incorporar o ar e aumentar o volume da espuma (ABBASI e AZIZPOUR, 2016). A espuma de baixa densidade pode acelerar o processo de remoção de água na secagem, pois fornece uma área de superfície maior para remover a água da amostra (THUWAPANICHAYANAN et al., 2012).

5.3 Determinação da capacidade antioxidante DPPH, compostos fenólicos e antocianinas para a polpa fresca e para o pó de açaí.

Nas Tabelas 5 e 6 estão expressos os resultados das análises da capacidade antioxidante DPPH, compostos fenólicos e antocianinas bem como a média e desvio padrão para as polpas de açaí *in natura* e para os pós de açaí.

Na literatura foram encontrados valores relativamente próximos aos valores encontrados para o pó de açaí. Rufino et al., (2010) encontrou uma capacidade antioxidante de 598 g úmida/ g em açaí (*E. oleracea*) pelo teste DPPH, já quando analisado os valores em base seca, Carvalho et al (2016) determinou a capacidade antioxidante para diferentes genótipos de açaí liofilizado sendo que as amostras variam de 17,86 a 71,54 g/ g DPPH, os valores de pó e polpa *in natura* estão dentro dos parâmetros encontrados na literatura.

Por outro lado, Paz et al (2015) encontrou um valor de 1574 mg/100g de trolox em massa seca na polpa de açaí liofilizada, e Hogan et al 2010 encontraram 839 µmol/g de trolox em amostras de açaí. Os resultados da capacidade antioxidante variaram nos ensaios feitos nesse trabalho, esta diferença pode estar relacionada à presença de outros compostos redutores, como açúcares e tocoferóis, que são conhecidos por interferir nos testes de capacidade antioxidante (REZAIRE, et al., 2014). Acredita-se que a ocorrência de processos químicos e enzimáticos ocorridos

durante as etapas do processamento podem ser responsáveis por perdas, bem como originar derivados químicos com capacidade antioxidante menor, similar ou maior ao inicial. Com isso, a capacidade antioxidante, após a secagem, pode ser maior ou menor, dependendo das reações que ocorrem no decorrer do processo (BENNETT et al., 2011).

Tabela 5: Resultados médios da capacidade antioxidante DPPH, compostos fenólicos e antocianinas para os pós de açaí Padrão (0% emulsificante) e para o pó de açaí com a adição de 2% do Emustab® Emustab®.

Análises	Tipo de amostra	Média bu ± desvio padrão	Média bs ± desvio padrão
DPPH	<i>Açaí in natura</i>	70,35 ± 3.16	5,62 ± 0,0002
	Açaí com 2% Emustab®.	60,63 ± 1.54	5,06 ± 0,0002
Compostos fenólicos	<i>Açaí in natura</i>	36,13 ± 2,06	2,89 ± 0,16
	Açaí com 2% Emustab®.	32,10 ± 0,79	2,68 ± 0,06
Antocianinas	<i>Açaí in natura</i>	16,59 ± 1,13	1,327 ± 0,09
	Açaí com 2% Emustab®.	12,31 ± 1,28	1,029 ± 0,10

Fonte: Autor.

Além disso, o conteúdo de sólidos totais do açaí pode variar significativamente, o que de fato altera a composição química da fruta, e conseqüentemente a capacidade antioxidante a ser medida (LICHTENTHALER et al., 2005).

Tabela 6: Resultados médios da capacidade antioxidante DPPH, compostos fenólicos e antocianinas para os pós de açaí Padrão (0% emulsificante) e para o pó de açaí com a adição de 2% do Emustab®.

Análises	Tipo de amostra	Média bu ± desvio padrão	Média bs ± desvio padrão
DPPH	Pó padrão	366,70 ± 27,98	29,34 ± 0,002
	Pó com 2% Emustab®.	1098,06 ± 367,62	91,81 ± 0,03
Compostos fenólicos	Pó padrão	49,54 ± 0,38	3,96 ± 0,03
	Pó com 2% Emustab®.	48,27 ± 2,44	4,04 ± 0,20
Antocianinas	Pó padrão	53,501 ± 1,02	4,28 ± 0,08
	Pó com 2% Emustab®.	32,268 ± 2,49	2,69 ± 0,20

Fonte: Autor.

A polpa de açaí avaliada neste trabalho apresentou um teor de compostos fenólicos equivalente a $36,13 \pm 2,06$ mg AG/ 100g de amostra de açaí *in natura* e $32,107 \pm 0,79$ mg AG/ 100g para a polpa de açaí com 2% de Emustab®, valores próximos quando comparados com os valores em base úmida encontrados por Rufino et, al. (2010) de $32,68 \pm 5,27$ mg AG/ 100g, Gordon et, al. (2012) encontrou valores mais próximos $34,37 \pm 1,54$ mg AG/ 100g.

Para as amostras de pó de açaí padrão, os compostos fenólicos apresentaram valores de $49,54 \pm 0,38$ mg AG/ 100g de amostra. Para o pó de açaí na presença do Emustab® o valor obtido foi de $48,27 \pm 2,44$ mg AG/ 100g de amostra. Estes valores de compostos fenólicos para o pó de açaí foram mais altos dos que encontrados por Schauss et al., (2006) verificaram a capacidade antioxidante da polpa de açaí liofilizada e encontrou um valor de 13,9 mg AG/ g que podem ser explicado pelo uso do açaí integral. Mas quando analisado os valores em base seca foram próximo dos valores encontrados pelos autores quando analisado em base seca valores próximos

foram encontrados por Hassimotto, Genovese e Lajolo (2005) $3,28 \pm 0,09$ mg GAE/ g por grama de massa seca, em base úmida Silva et al., (2016) encontrou para polpa de açaí 58.1 mg GAE/ 100 g.

Gordon et al, (2012), relataram que os procedimentos utilizados na extração da polpa, como por exemplo, a água adicionada ao produto e o teor de fitoquímicos pode variar de maneira significativa, além disso, as condições climáticas, a variedade, colheita e o amadurecimento incluindo a luz e disponibilidade de nutrientes podem influenciar no teor dos fitoquímico e fenólicos das plantas. Estes fatores podem justificar a diferença entre o valor obtido nesse trabalho e o encontrado na literatura, além do tipo de polpa utilizada (Classificação de sólidos de acordo com a legislação). A ingestão desses compostos está diretamente relacionada com a sua atuação como agente redutor, além disso, os compostos fenólicos exercem proteção ao organismo contra o estresse oxidativo (SOUZA et al., 2006). Observando esses valores é possível verificar que a presença do emulsificante não teve influência na quantidade de compostos fenólicos após a secagem das amostras.

As antocianinas predominantes na polpa de açaí são as cianidina 3-glucosídeo e cianidina 3-rutinosídeo. Neste estudo avaliou-se o teor de antocianinas baseada na cianidina 3-glucosídeo. O teor de antocianinas para os pós foi determinado de 2,7 mg/ g massa seca de cianidina 3-glicosídeo para a amostra de açaí na presença do emulsificante estabilizante Emustab®, já para o pó padrão observou-se valores de 4,2mg/ g massa seca. O teor de antocianinas para o pó padrão foi maior que para o pó com o Emustab®, pode ser explicado devido a estrutura rígida do pó do açaí padrão obtido, esta estrutura pode ter resultado em um rompimento celular na matriz da amostra, permitindo maior extração de antocianinas contidas na fruta, já em relação a polpa antes da secagem para ambas as amostras de pó o teor de antocianinas foi significativamente maior devido ao mesmo fator da estrutura da amostra seca ter conseguido extrair mais antocianinas (LUCAS, et al., 2018).

Valores próximos obtidos neste estudo foram encontrados na literatura Tornon et al. (2008a) encontrou $32,81 \pm 0,5$ mg/ 100 g de amostra para polpa de açaí liofilizada com maltodextrina no presente estudo o pó de açaí com 2% de Emustab® obteve $32,26 \pm 2,49$ mg/ 100 g de amostra quando comparados os valores em base úmida.

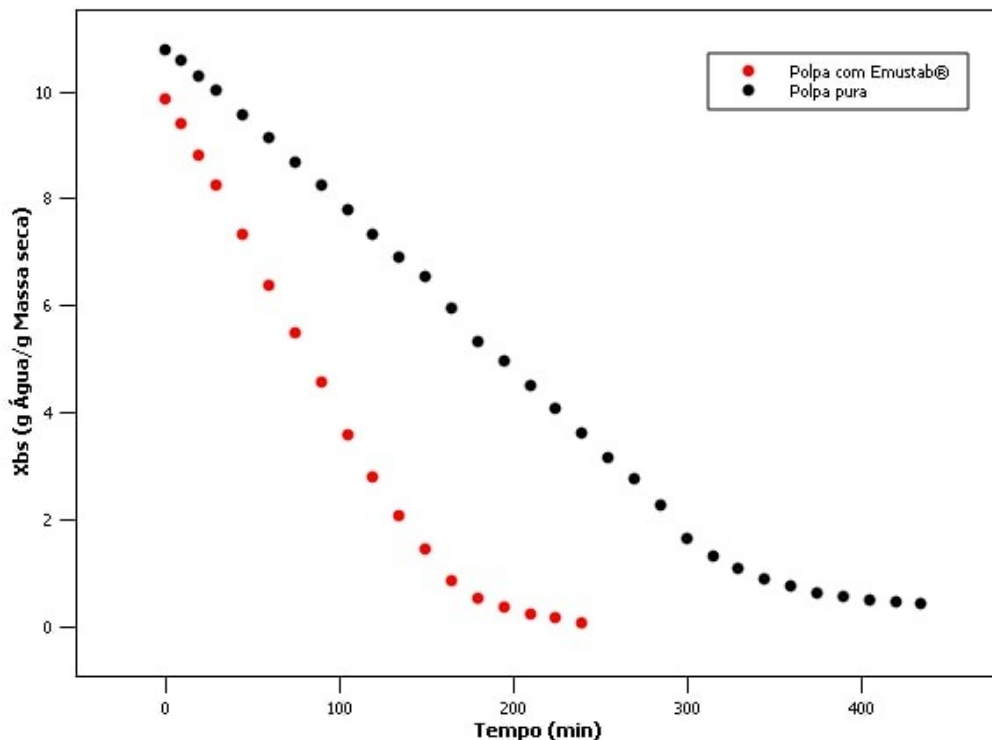
Costa et al. (2015), secou a polpa de açaí em camada de espuma na temperatura de 81,8 ° C e obteve teor de antocianina total de 1,94 mg / g de matéria seca valor menor do que que o encontrado neste estudo, pode ser explicado pelo uso temperaturas mais altas. Silva et al. (2016) usaram o método de secagem por spray para obter açaí em pó. No entanto, o teor de antocianina retido (5,77 mg / g de matéria seca) valores maiores provavelmente devido ao uso de outro método de secagem. As polpas comerciais de açaí podem variar consideravelmente, dependendo dos métodos de processamento, a proporção de polpa de fruta para água, qualidade da fruta e nível de maturação da fruta (PACHECO-PALENCIA et al., 2009).

5.4 Cinéticas de secagem: Cálculo do coeficiente de difusão

A secagem foi realizada em estufa com circulação de ar, na temperatura de 60°C sendo acompanhada a massa das amostras em intervalos regulares de tempo conforme descrito no item 4.8 2(Secagem). Os resultados apresentados na Figura 6, são os valores médios obtidos das amostras de açaí em triplicata.

O tempo de secagem variou entre os tratamentos, sendo menor na formulação da polpa com Emustab® (espuma) e maior na formulação polpa pura. Considerando a polpa pura, a amostra levou cerca de 400 minutos para atingir o equilíbrio de massa, enquanto a espuma com 2% de emustab® levou em torno de 200 minutos para atingir o equilíbrio. Uma possível explicação para este comportamento, é que na polpa pura, ocorre primeiramente a evaporação da umidade superficial, que é facilmente removida. Como a estrutura interna da polpa apresenta-se semelhante a um corpo sólido, a movimentação da umidade presente no interior da amostra se dá através da difusão interna, isto é, a água localizada no interior da partícula se move para a região menos úmida, sendo está localizada na superfície. Já o açaí com a presença do Emustab® forma uma estrutura espumosa, que seca mais rápido do que os materiais não espumosos. Esta estrutura porosa facilita a secagem das camadas mais internas (PRASETYANINGRUM e DJAENI, 2012).

Figura 6: Cinética de secagem para a polpa pura e para a polpa contendo 2% de Emustab®

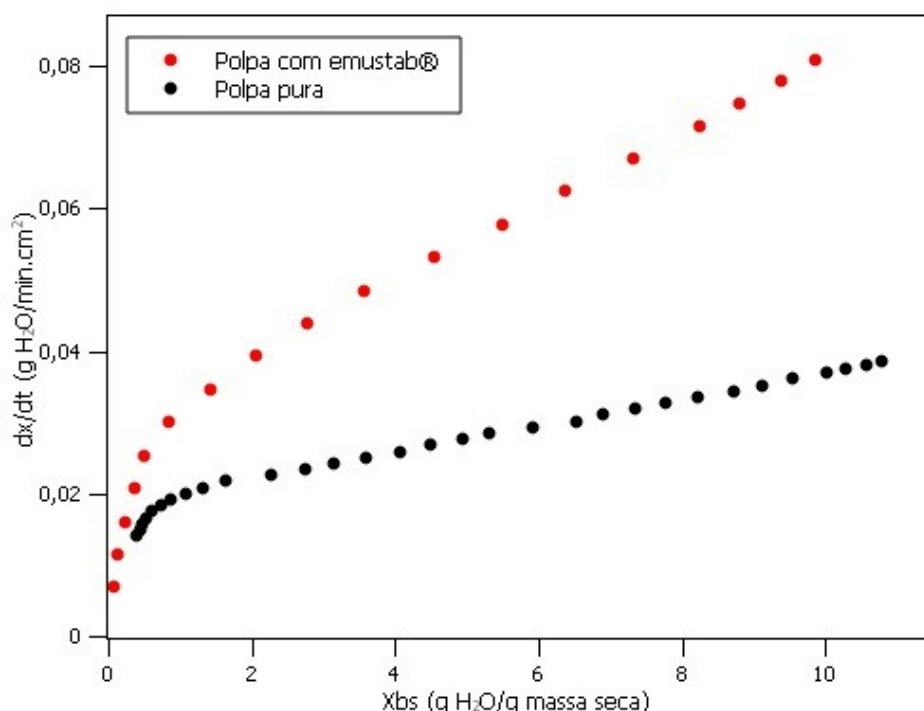


Fonte: Autor.

Neste método, a difusão interna é a principal causa do movimento de umidade dentro da estrutura do produto (SANGAMITHRA et al., 2015). A porosidade da espuma e a maior área de superfície para relação de volume são as razões que explicam a alta taxa de transferência de massa, reduzindo o tempo de processo e melhora a qualidade do produto seco (FRANCO et al., 2015).

Na amostra com Emustab®, há a presença de bolhas de ar, adquirindo assim características de material poroso, formado por uma rede de capilares de pequenas dimensões, sendo que a água superficial vai sendo substituída pela água do interior do produto através dos poros, facilitando o seu escoamento. Ainda neste contexto, pode se observar na Figura 6 que ambas as amostras atingiram o estado de equilíbrio. Nessa condição, a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é igual à pressão parcial de vapor de água da atmosfera (PRASETYANINGRUM e DJAENI, 2012).

Figura 7: Gráfico da taxa de secagem da polpa de açaí pura e com Emustab®.



Fonte: Autor.

Para o melhor entendimento das condições de secagem de um material, é preciso observar o comportamento da secagem através dos dados da Taxa ou velocidade de secagem, obtidos por meio da derivada matemática da equação que descreve a cinética de secagem.

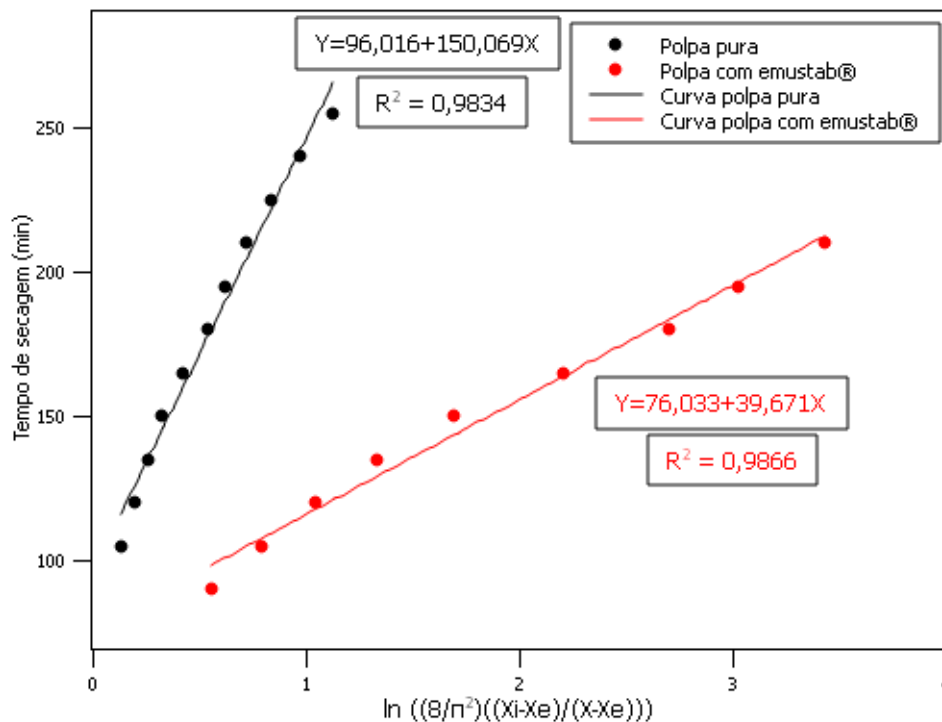
A Figura 7 apresenta os valores médios da taxa de secagem da polpa de açaí pura e adicionada com 2% de Emustab®. É possível observar na Figura 7, que o período de taxa de secagem apresentado pelas amostras foram apenas decrescente, indicando que a secagem para estes produtos nas condições realizadas, ocorre em regime transiente. O período de secagem inicia-se com o teor crítico de água devido a maior umidade presente na superfície, a taxa de secagem é maior no início do processo, no final toda a água que estava presente na superfície evapora, o que resulta em uma menor taxa de secagem representada na Figura 7 pela inclinação mais acentuada da curva.

No período de queda, a resistência contra a remoção de umidade aumenta e a inclinação da curva de secagem diminui até alcançar o valor de equilíbrio. Durante este período de secagem, a temperatura do produto começa a subir acima da

temperatura do bulbo úmido, e a difusão da água do produto interno é mecanismo de controle (SALAH I et al., 2015).

A Figura 8 apresenta as curvas obtidas por meio da equação da difusividade para regime transiente.

Figura 8: Comportamento da espuma de açaí (padrão) e a espuma com 2% de Emustab®.



Fonte: Autor.

A partir do comportamento das curvas apresentadas na Figura 8, realizou-se a aplicação matemática da Equação 4, a qual permite a determinação do coeficiente de difusão da água pela polpa de açaí por meio da construção dos gráficos que relacionam o tempo e o logaritmo das concentrações.

A aplicação da Equação 4 só seria possível caso as curvas obtidas de tempo versus logaritmo das concentrações apresentassem comportamento linear. A Figura 8 mostra que para as duas polpas de açaí avaliadas na secagem, as curvas apresentaram comportamento linear, indicando que a difusividade da umidade assume uma função independente do teor de umidade. Então neste caso a mudança do teor de umidade pode ser descrita pela seguinte equação (CRANK, 1975):

$$\text{Coeficiente angular} = \frac{4 * d^2}{\pi * D_{ab}}$$

Através da análise matemática, foi possível observar que a polpa com 2% de Emustab® apresentou um valor do coeficiente de difusão equivalente a $5,35 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ e para a polpa pura foi de $1,41 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$. O coeficiente de difusão da água pela polpa foi maior para a amostra com Emustab®, ou seja, a polpa aerada com menor densidade, indicou que a retirada de água foi mais rápida neste experimento, devido à presença dos canais formados no processo de aeração, bolhas de ar podem melhorar a remoção de umidade das amostras (SANGAMITHRA et al., 2015). Esse resultado está em acordo com o comportamento das cinéticas de secagem mostradas anteriormente

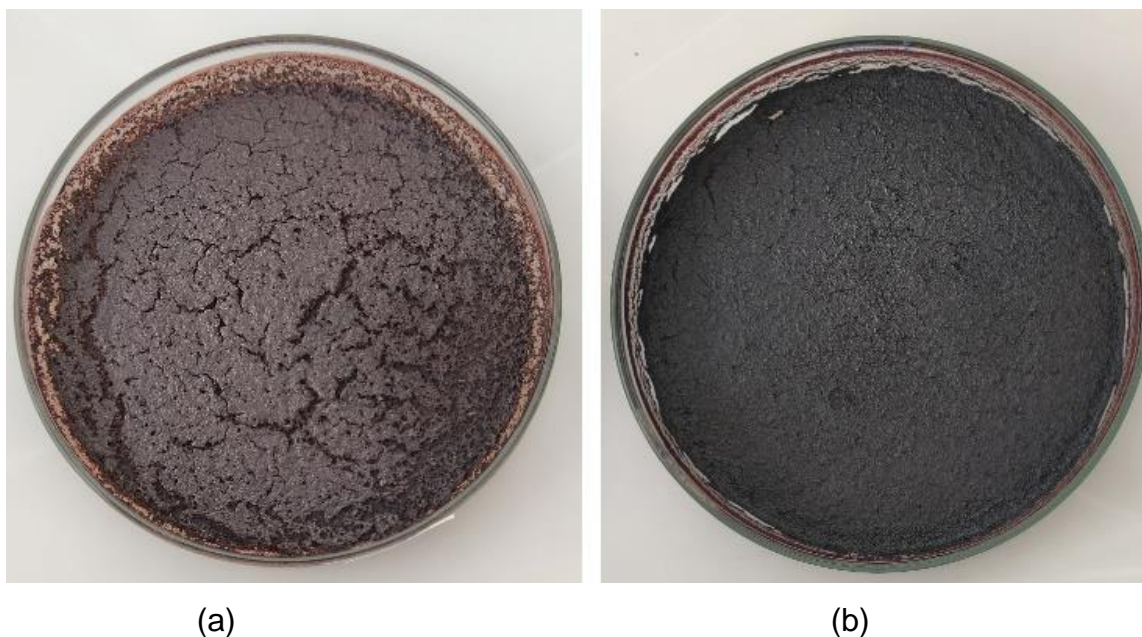
Just et al., (2017) avaliaram a secagem da polpa de pequi, e a 65°C e obtiveram uma difusividade efetiva de $5,13 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$, o autor relata que o resultado obtido se encontra dentro da faixa de valores do coeficiente de difusão para alimentos, que estão entre 10^{-4} a $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$. Isso foi observado no presente estudo, no qual as médias dos experimentos estão na ordem de $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$.

A determinação do coeficiente de difusão é importante do ponto de vista de engenharia, uma vez que conhecido este valor, pode-se avaliar outras condições de secagem, modificando-se parâmetros de processo e obtendo-se o tempo de secagem de forma teórica, descrever a transferência de massa, propriedades de umidade, incluindo, difusão molecular, difusão de umidade e vapor, difusão hidrodinâmica e outros mecanismos de transferência de massa (ASOKAPANDIAN et al., 2015; SANGAMITHRA et al., 2015).

Os valores dos coeficientes de difusão determinados estão condizentes com valores teóricos, indicando a difusão interna como sendo em materiais sólidos, ou seja, a polpa de açaí se comporta fisicamente como um material sólido (CRANK, 1975). O coeficiente de difusão tem um impacto fundamental na cinética de secagem, é fundamental para o processo de secagem, pois altos valores de coeficientes de difusão resultam em taxas de secagem mais altas (KUMAR et al., 2014).

Na Figura 9 é apresentado o aspecto visual da polpa de açaí após a secagem. Observa-se pelas fotografias, que a polpa aerada com Emustab® apresentou um aspecto final com menor colapso da sua estrutura física e sua cor se manteve mais intacta quando comparado com a polpa padrão.

Figura 9: Resultado final da secagem (a) polpa com Emustab® (b) polpa pura.



Fonte: Autor.

5.5 Higroscopicidade

A higroscopicidade é a capacidade do pó seco de absorver água em um ambiente com alta umidade e está relacionado à sua estabilidade em termos físico-químicos e microbiológico. A compreensão do comportamento higroscópico do produto alimentar é fundamental quando se vincula as definições de processamento, como secagem, embalagem e condições de armazenamento (FRANCO et al., 2016). Com 75% de umidade relativa e na temperatura de 25°C, as amostras obtiveram valores de higroscopicidade de $3,75\% \pm 0,21$ para o açaí padrão e de $3,87\% \pm 0,06$ para o açaí com Emustab®. Segundo GEA Niro Research Laboratory as duas amostras obtiveram valores considerados baixos, definindo-as como pouco higroscópicas. Cavalcante et al. (2017) ao estudarem a polpa de graviola seca formulada com maltodextrina (variando entre 10 e 24%) e diferentes temperaturas (148, 154, 169, 184 190 °C),

obtiveram pó em que as médias de higroscopicidade variaram de 7,56 a 13,12%, resultando em pós ligeiramente higroscópicos.

As diferenças de higroscopicidade podem ser explicadas pelo uso de temperatura mais baixas e pela estrutura química de cada agente espumante, amostras secadas em temperaturas mais altas são mais higroscópicas, o que pode estar relacionado ao teor de umidade do pó. Em altas temperaturas menores é a umidade da amostra e maior sua higroscopicidade, ou seja, sua capacidade de adsorver a umidade do ambiente. Isso está relacionado ao gradiente de concentração de água entre o produto e o ar do ambiente (GOULA et al. 2004).

5.8 pH do pó

Os valores encontrados para os pós de açaí foram $4,63 \pm 0,050$ para o pó com Emustab® e $4,74 \pm 0,172$ para o pó padrão, Neves et, al. (2015) obteve valores de pH semelhantes aos valores do pó de açaí 4,91, os valores encontrados no presente estudo estão dentro dos parâmetros de pH encontrados por Santos et, al (2008) que variaram de 3,76 a 4,89 para o pó de açaí. A presença do emulsificante e a secagem da polpa não influenciou nos valores da pH da fruta.

5.9 Solubilidade

Os valores de solubilidade apresentaram diferença significativa entre a secagem da espuma de açaí com 2% de Emustab® e do açaí padrão, ambas conduzidas em estufa com circulação de ar, sendo que o melhor resultado foi obtido para o pó com 2% de Emustab® com valores de $47,93\% \pm 0,02$ e para o pó de açaí padrão $19,72\% \pm 0,028$. Tal fato pode estar relacionado com a formação de espuma para secagem do açaí. A melhoria da solubilidade é provavelmente causada pelo aumento da

porosidade, pois durante a secagem foram conservadas as bolhas presentes na estrutura da amostra diminuindo o tempo de secagem.

Para o pó de açaí padrão o tempo de secagem foi maior onde formam-se camadas duras sobre a superfície do pó dificultando a difusividade da água sobre as partículas granulométricas, prejudicando a molhabilidade e conseqüentemente, reduzindo a solubilidade do pó (CHEGENI e GHOBADIAN, 2005). Os valores obtidos para a amostra com 2% de Emustab® foram próximos da solubilidade encontrado por Cavalcante et al (2017) que secou graviola pelo método de *spray dryer* com maltodextrina e obteve 55,74% ± 3,24 de solubilidade.

5.10 Microestrutura

Na Figura 10 são representados o aspecto da microestrutura dos pós de açaí na presença do emulsificante Emustab® e do pó padrão. O pó de açaí com Emustab® apresentou partículas com estruturas porosas (Fig. 10 B-D).

A morfologia obtida a partir da secagem por camada de espuma foi semelhante aos resultados de imagem obtidos em estudos que realizaram a secagem de frutas, como o trabalho de Costa et al. (2015), que utilizou secagem por camada de espuma para desidratar polpa de açaí também obteve pós com estrutura porosa e irregular. Segundo os autores, esse formato está associado à deformidade mecânica causada por o atrito entre as partículas e contra a parede do leito.

Esses resultados contrastam com os obtidos por Tonon et al. (2009b), que secou a polpa de açaí por *spray dryer* e observou as partículas esféricas e regulares. A irregularidade morfológica deve-se ao fato da utilização dos agentes carreadores (ou seja, maltodextrina, goma arábica e amido de tapioca), o que condiz com a morfologia observada para o açaí na presença do emulsificante Emustab®. As amostras apresentaram estruturas desiguais e presença de cavidades que provavelmente foram ocupadas por bolhas de ar que foram removidas durante o processo de secagem. Isso contribuiu para o aumento da porosidade do material, e conseqüentemente a solubilização ou dispersão da amostra depois de secas (PINTO et al. 2018).

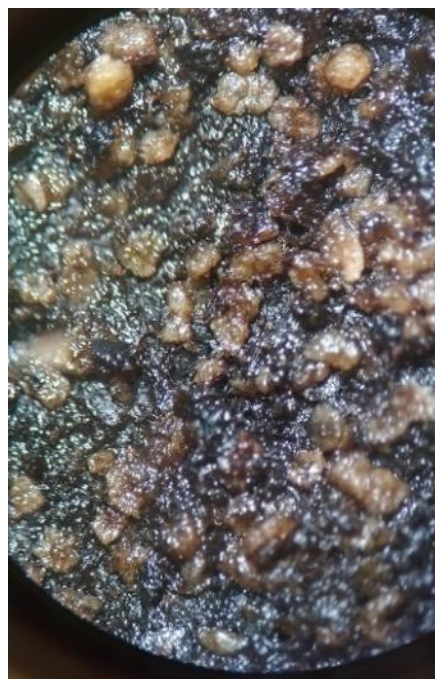
Figura 10: Microestrutura das amostras secas: (a) pó padrão aumento de 8x (b) pó com Emustab® aumento de 8x (c) pó padrão aumento de 30x e (d) pó com Emustab® aumento de 30x.



(a) 8x



(b) 8x



(c) 30x



(d) 30x

Fonte: Autor.

5.11 Tempo de Reconstituição

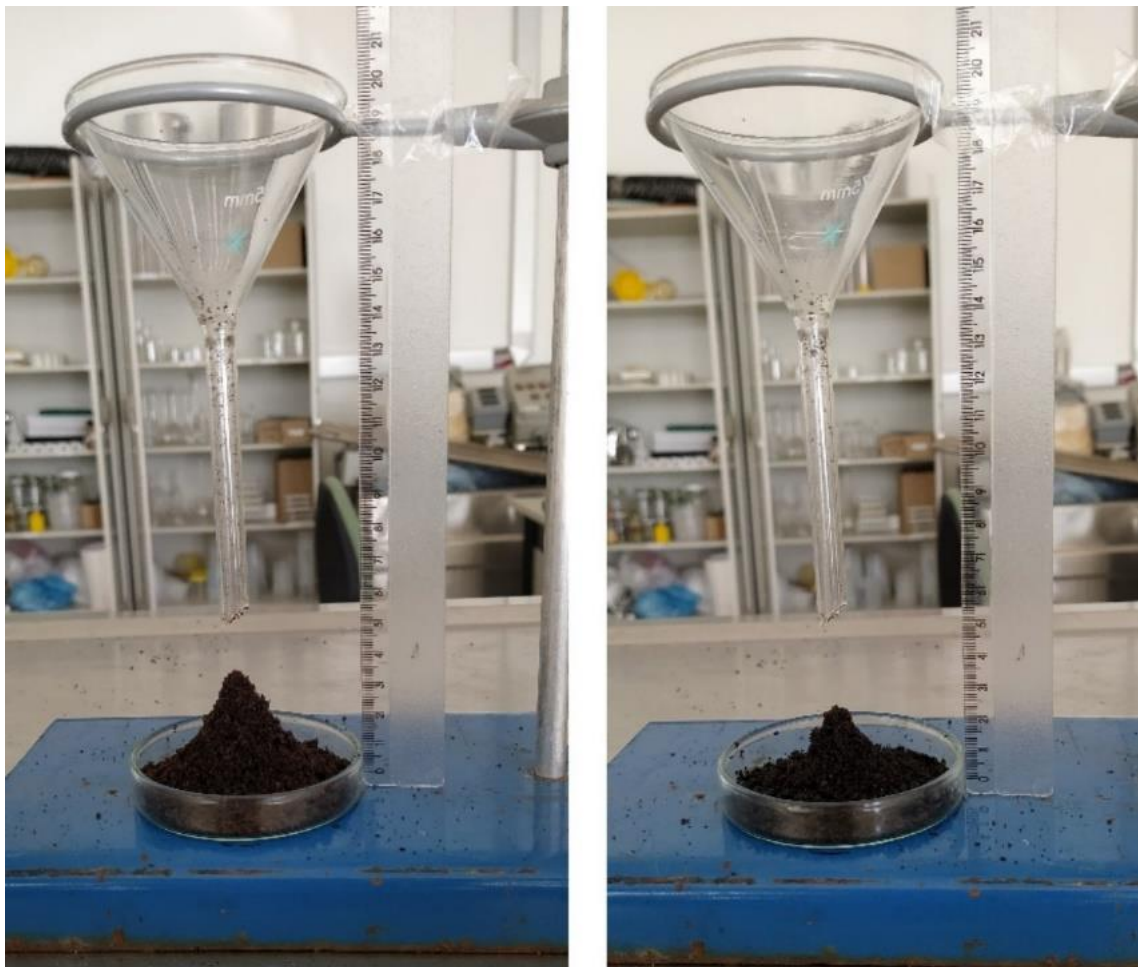
Houve uma diferença significativa entre do tempo que levou para cada uma das duas amostras ser totalmente reconstituída. Esse fato é confirmado pelos resultados de solubilidade deste trabalho, onde a amostra de pó na presença do emulsificante Emustab® apresentou um tempo de reconstituição de $168 \pm 0,05$ segundos, já a amostra padrão apresentou um tempo de $324 \pm 0,11$ segundos. Assim, o pó de açaí com Emustab® reconstitui mais facilmente, o que pode ser um bom indicativo caso esse produto fosse utilizado em alguma formulação alimentícia que precisasse de água em seu preparo.

Resultado semelhante foi encontrado por Sousa et al (2016) que desidratou polpa de caju por camada de espuma na presença de 12% de maltodextrina, sendo que após 60 dias o tempo de reidratação do pó foi $172,5 \pm 10,61$ segundos. Braga, Guidi, Santana e Zotarelli (2020) determinaram o tempo de reidratação em minutos para o pó de abacaxi com hortelã seco em spray drying na presença de 0 % de maltodextrina, cujo valor foi de $4,35 \pm 0,98$ com 3% de maltodextrina $5,39 \pm 1,41$ e 15% de maltodextrina $13,56 \pm 0,37$ minutos. Os valores de reconstituição dos pós de açaí do presente estudo estão dentro da faixa dos valores encontrados por esses autores.

5.11 Ângulo de repouso

A medida do ângulo de repouso é um método simples de caracterização do comportamento de pós ou grânulos, durante o escoamento. Como pode-se observar, neste trabalho as duas amostras apresentaram uma escoabilidade consideravelmente boa. A amostra com 2% de Emustab® apresentou $42,17^\circ \pm 2,21$ e a amostra padrão com 0% de Emustab® $33,32^\circ \pm 0,64$.

Figura 11: Escoamento dos pós de açaí, parte (a) pó com Emustab®, (b) pó padrão (sem Emustab®).



(a)

(b)

Fonte: Autor.

De acordo com Wójcik et, al. (2019), as propriedades de escoamento indicam que quanto menor o ângulo de repouso, melhor é o fluxo de escoamento para produtos em pó. Valores de fluxo abaixo de 30° indicam fluxo excelente e abaixo de 40° o fluxo é aceitável, sendo que pós que exibem ângulos de repouso menores que 45° geralmente apresentam a propriedade de escoamento livre, enquanto ângulos acima de 50° indicam coesividade ou problemas de escoamento (BHANDARI, 1998). Analisando os valores de ângulo de repouso obtidos neste trabalho, há um indicativo de que as amostras apresentaram comportamento de escoabilidade livre. Esta análise descreve o comportamento de pós e granulados durante o armazenamento,

transporte ou em relação ao melhor tipo de embalagem que se deve utilizar (WÓJCIK et, al. 2019).

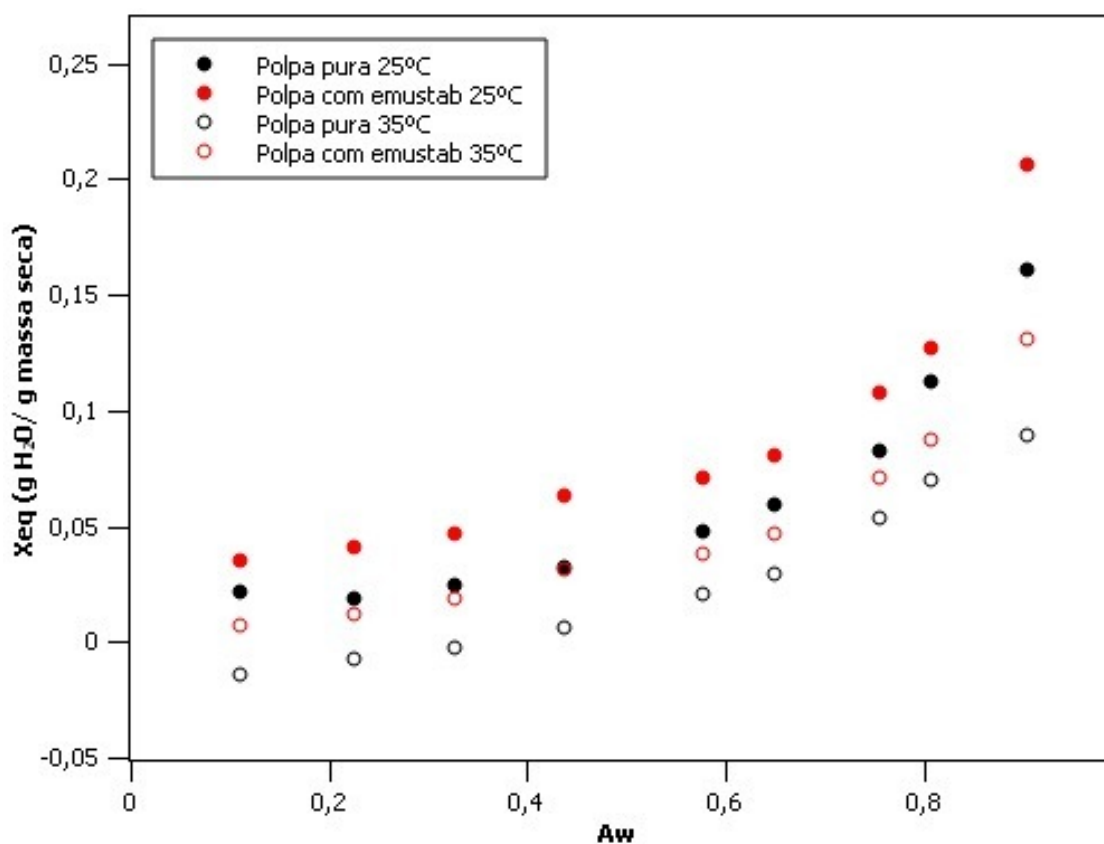
5.12 Isotermas de sorção a 25°C e 35°C

Durante a realização das isotermas de sorção percebeu-se que na medida em que a umidade do ambiente aumentava os pós de açaí demoravam mais para atingir a umidade de equilíbrio. Verificou-se que os pós apresentaram mudanças físicas durante a absorção da água, mais especificamente nos recipientes de cloreto de sódio ($a_w = 0,755$), sulfato de amônio ($a_w = 0,807$) e cloreto de bário ($a_w = 0,904$), a umidade a partir do valor de 0,755 as amostras apresentaram transição vítrea, onde se observou aglomeração das partículas, deixando-as mais aderidas devido a atração das superfícies umedecidas, mais evidente para as amostras de pó de açaí padrão (0% de emulsificante), abaixo deste valor as amostras mantiveram as características originais.

Nas atividades de água mais baixas os pós de açaí absorveram menores quantidades de água, e em atividades de água elevadas observou-se um aumento da quantidade de água absorvida e modificação nas características das amostras. Os pós de açaí mostraram uma similaridade no comportamento durante a construção das isotermas, as quais encerraram no mesmo período de 11 dias.

A Figura 12 mostra as curvas obtidas relacionando a umidade de equilíbrio de pó de açaí com sua atividade de água (a_w). Como era esperado o teor de umidade aumenta com a atividade da água, mas com o aumento da temperatura o teor de umidade acaba diminuindo, como pode-se observar nos gráficos da Figura 12. Esse comportamento, segundo Lahsasni et al. (2003), é atribuído ao alto estado de excitação das moléculas de água, em temperaturas elevadas, diminuindo as forças de atração entre as moléculas.

Figura 12: Gráfico das isotermas de pó de açaí com 2% de Emustab® e do pó de açaí padrão (0% emulsificante) nas temperaturas de 25°C e 35°C.



Fonte: Autor.

Neste estudo foram aplicados quatro modelos matemáticos para ajustar os dados experimentais do pó de açaí com 0% de emulsificante classificado como padrão e do açaí com 2% de Emustab®. Os resultados de ajuste para os modelos de sorção foram representados nas Tabelas 7 e 8, incluindo o coeficiente de correlação (R) e as constantes de cada modelo matemático.

Tabela 7: Ajustes matemáticos para isotermas do pó de açaí padrão com 0% de emulsificante nas temperaturas de 25°C e 35°C.

Modelo	Constantes	25°C	35°C	R ²	
				25°C	35°C
GAB	E _m	0,0271	0,00873	0,9817	0,91146
	C	5,7309	2,19031		
	k	0,9282	0,71106		
Peleg	k ₁	0,2050	0,09766	0,9932	0,94423
	k ₂	0,0292	0,03324		
	n ₁	4,3578	3,35624		
	n ₂	0,1791	3,35968		
Oswin	A	0,04253	0,0173	0,98207	0,86568
	B	0,60216	0,77817		
Smith	A	-2,48x10 ⁻²	-0,02058	0,96488	0,98493
	B	-0,14967	-0,11402		

Fonte: Autor.

Tabela 8: Ajustes matemáticos para isotermas do pó de açaí com 2% de Emustab® na temperatura de 25°C e 35°C

Modelo	Constantes	25°C	35°C	R ²	
				25°C	35°C
GAB	X _m	0,0352	0,0268		
	C	7,54038	2,4631	0,9887	0,9956
	k	0,8946	0,8999		
Peleg	k ₁	0,2742	0,2065		
	k ₂	0,0865	0,0679	0,9955	0,9927
	n ₁	7,8982	8,4182		
	n ₂	0,4628	1,0857		
Oswin	A	0,0644	0,0335		
	B	0,5032	0,6176	0,9788	0,9909
Smith	A	0,0164	-0,0036		
	B	-0,1676	-0,1268	0,9525	0,9862

Fonte: Autor.

Os resultados de todos os modelos matemáticos foram capazes de reproduzir ótimos valores de R² para as temperaturas de 25° C e 35°C para as duas amostras do pó de açaí, com R²>0.95 para a temperatura de 25°C, e R²>0.91 para a temperatura de 35°C, com exceção do modelo de Oswin que seus R² ficaram mais baixos, os valores de umidade de monocamada (X_m) do modelo matemático de GAB ficaram menores que os valores de umidade de equilíbrio. Os resultados mostraram que o modelo de Peleg foi capaz de reproduzir dados experimentais dentro de uma precisão aceitável na temperatura de 25° C e 35°C, sendo estas classificadas como tipo II, uma isoterma mais comum em alimentos (MEDEIROS et al. 2006).

Este modelo está adequado com o comportamento de outros alimentos citados na literatura como grão de bico e feijão (SHAF AEI et al.,2016) e framboesas liofilizadas (SYAMALADEVI et al., 2009) que também apresentaram isotermas do tipo II.

6. CONCLUSÃO

No presente estudo o pó de açaí foi produzido pelo método de secagem por camada de espuma, sendo que se obteve pós com menor tempo de secagem e qualidade superior em vários parâmetros. A partir das análises do pó verificou-se que os valores de coeficiente de difusão e de taxa de secagem foram maiores para o pó na forma de espuma do que para o pó de açaí padrão. O pó seco por camada de espuma apresentou uma qualidade superior ao pó sem a presença de emustab® nos seguintes parâmetros: solubilidade, menor tempo de reconstituição e melhor capacidade antioxidantes. Matérias primas em pó podem ser facilmente utilizados para produzir alimentos processados e a microestrutura porosa facilita a reidratação da amostra.

7. REFERÊNCIAS

- ABBASI, E., & AZIZPOUR, M.. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 105-110. 2016.
- AKINTOYE, O.A.; OGUNTUNDE, A.O. Preliminary investigation on the effect of foam stabilizers on the physical characteristics and reconstitution properties of foam-mat dried soymilk. *Drying Technology*, 9(1), 245–262. 1991.
- ASTOLFI-FILHO, Z. Encapsulação de sucos de frutas por co-cristalização com sacarose / Zailer Astolfi Filho. – São José do Rio Preto: [s.n.], 2003.
- AZIZPOUR, M.; MOHEBBI M.; KHODAPARAST, M.H.H. Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder, *Innov. Food Science. Emerg. Technol.* 34, 122–126. 2016.
- AMINE, C., DREHER, J., HELGASON, T., & TADROS, T. Investigation of emulsifying properties and emulsion stability of plant and milk proteins using interfacial tension and interfacial elasticity. *Food Hydrocolloids*, 39, 180-186. 2014.
- ANANDHARAMAKRISHNAN, C. *Handbook of Drying for Dairy Products*. John Wiley and Sons, Chichester, 2016.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIRO, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, n.1, p.1 1-20, 2007.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). *Official methods of analysis of the association of the oficial analytical chemists*. 18.ed. Washington: AOAC, 2007. 1750p
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.V., FONTANA JR., A.J., SCHMIDT, S.J., LABUZA, T.P. (Eds.), *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 313 - 340. 2007.
- BATES, R. F. Factors affecting foam production and stabilisation of tropical fruit products. *Food Technology*, 18, 93–96. 1964.
- BENNETT, L. E.; JEGASOTHYH.; KONCZAK, I.; FRANK, D.; SUDHARMARAJAN, S.; CLINGELEFFER, P. R. Total polyphenolics and antioxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. *Journal of functional foods*, v. 3, p. 115-124, 2011.
- BEZERRA, V. S; NERY, M. V. S; LOBATO, S. A. O açaí como alimento e sua importância socioeconômica no Amapá. Macapá: Embrapa Amapá, 2001.

BRAGA, V., GUIDI, L. R., DE SANTANA, R. C., & ZOTARELLI, M. F. Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying. *Powder Technology*. 2020.

BHANDARI, B.R.; DATTA, N.; D'ARCY, B.R.; RINTOUL, G.B. Co-crystallization of honey with sucrose. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technolgie*, v. 31, n. 2, p. 138-142, 1998.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Instrução Normativa Nº. 1, de 7 de janeiro de 2000. Ministro de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Aprova o Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. *Diário Oficial da União* Nº. 6, Brasília, 10 de janeiro de 2000, Seção I., p.54-58.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 58 de 30 de agosto de 2016. Projeto de Instrução Normativa e Anexo que visam estabelecer em todo território nacional a complementação dos padrões de identidade e qualidade de polpa de fruta. *Diário Oficial, Brasília, DF*, 01 set. 2016. Seção I, p. 2-5.

BRENNAN, J. G. *Food Processing Handbook*, 1. ed. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA P- 85-95, 2006.

BRONDIZIO E. S., SAFAR C. A. M., SIQUEIRA A. D. The urban market of Acai fruit (*Euterpe oleracea* Mart.) and rural land use change: Ethnographic insights into the role of price and land tenure constraining agricultural choices in the Amazon estuary. *Urban Ecosystems*, 6: 67-97. 2002.

BUERMAN, E. C., WOROBO, R. W., & PADILLA-ZAKOUR, O. I. (2020). High pressure processing of spoilage fungi as affected by water activity in a diluted apple juice concentrate. *Food Control*, 107, 1–8

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 20, e. 2016015, 2017.

CAPRISTE, G. H; ROT STEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starchcontaining foodstuffs. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 47, p. 1501-1507, 1982.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect the carriers on the microstructure of mango powder spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CANUTO, G. A. B., XAVIER, A. A. O., NEVES, L. C., & BENASSI, M. DE T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(4), 1196–1205. 2010.

CARVALHO, A. V., FERREIRA FERREIRA DA SILVEIRA, T., MATTIETTO, R. DE A., PADILHA DE OLIVEIRA, M. DO S., & GODOY, H. T. Chemical composition and antioxidant capacity of açai (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(5), 1467–1474 .2016.

CHANDRASEKAR, V., GABRIELA, J. S., KANNAN, K., & SANGAMITHRA, A. Effect of foaming agent concentration and drying temperature on physiochemical and antimicrobial properties of foam mat dried powder. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 34, 39. 2015.

CHEGENI, G. R.; GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powde. *Drying Technology*, New York, v. 23, p. 657-668, 2005.

COSTA, A.G.V., GARCIA-DIAZ D.F., JIMENEZ P. & SILVA P.I. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries. *Journal of Functional Foods*, 5, 539 – 549. 2013.

COSTA, P. A., BALLUS, C. A., TEIXEIRA, J., & GODOY, H. T. Phytosterols and tocopherols content of pulps and nuts of Brazilian fruits. *Food Research International*, 43, 1603–1606. 2010.

COSTA, R. G. Effect of operating conditions on the yield and quality of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced in spouted bed. *LWT - Food Science and Technology*, v. 64, n. 2, p. 1196–1203, 2015.

COUTINHO, ROSEMARY MARIA PIMENTEL. Physicochemical and microbiological characterization and antioxidant capacity of açai pulps marketed in the states of Minas Gerais and Pará, Brazil. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 47, n. 1, e20151172, 2017.

CRANK, J. *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press, Oxford. 1975.

CYMERYS, M., SHANLEY, P. Açai: *Euterpe oleracea* Mart. In: Shanley, P., Medina, G. (Eds.), *Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica*. CIFOR/Imazon, Belém, pp. 163 - 170. 2005.

DEL BEM, M. S.; POLES, L. F.; SARMENTO, S. B. S.; ANJOS, C. B. P. Massas alimentícias elaboradas com farinhas de leguminosas tratadas hidrotermicamente. *Revista Alimentos. Nutrição.*, Araraquara, v.23, n.1, p.101-110, jan./mar. 2012.

DOMINGUES, A.F.N., MATTIETTO, R.DE A., OLIVEIRA, M.DO S.P. Teor de lipídeos em caroços de *Euterpe oleracea* Mart. *Boletim de Pesquisa* 115. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 17 pp. 2017.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. Cold water soluble granular starch for gelled food composition. U. S. Patent 4465702, 1984.

ENGELS G. Açaí – *Euterpe oleracea* (herb profile). *Herbal gram*; 86: 1–2. 2010.

ETO, D.K.; KANO, A.M.; BORGES, M.T.M. R.; BRUGNARO, C.; CECCATO-ANTONINI, S. R.; VERRUMA BERNARDI, M.R. Qualidade microbiológica e físico-química da polpa e mix de açaí armazenada sob congelamento. *Revista Instituto Adolfo Lutz*. v. 69, n. 3, p. 304-310, 2010.

EVANGELISTA. J. *Tecnologia dos alimentos* 2. ed. São Paulo: Atheneu. 270 p. 1994.

FALADE, K. O., ADEYANJU, K. I., UZO-PETERS, P. I. Foam mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. *European Food Research and Technology*, 217, 486–491. 2003.

FELLOWS, P. J. *Princípios e Prática. Tecnologia do Processamento de Alimentos*, 4.ed. , 33-34. 2019.

FELLOWS, P. J. Dehydration. *Food Processing Technology*, 661–716. 2017.

FRANCIS, F. J. *Encyclopedia of Food Science and Technology* 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. v. 1 , 2907 p. 2000.

FRANCO, T.S., PERUSSELLO, C.A., ELLENDERSEN, L.D.S.N., MASSON, M.L. Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer simulation. *Journal of Food Engineering* 718 158, 48-57. 2015a

FRANCO, T. S., ELLENDERSEN, L. N., FATTORI, D., GRANATO, D., & MASSON, M. L. Influence of the Addition of Ovalbumin and Emulsifier on the Physical Properties and Stability of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Juice Foams Prepared for Foam Mat Drying Process. *Food and Bioprocess Technology*, 8(10), 2012–2026. 2015.b.

FRANCO, T. S., PERUSSELLO, C. A., ELLENDERSEN, L. N., & MASSON, M. L. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 503-513. 2016.

GEA Niro Research Laboratory. GEA Niro analytical methods. Disponível em: <<http://www.niro.com/methods>>. Acesso em: 23 de Junho de 2019.

GORDON, A., CRUZ, A.P., CABRAL, L.M., DE FREITAS, S.C., TAXI, C.M., DONANGELO, C.M., DE ANDRADE MATTIETTO, R., FRIEDRICH, M., DA MATTA, V.M., MARX, F. Chemical characterisation and evaluation of antioxidant properties of açai fruits (*Euterpe oleracea* Mart.) during ripening. *Food Chemistry*. 133, 256–263. 2012.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of research of the notional bureau of standards*.v.81A, n.1, p.89-96, 1977.

GOULA, A.M., ADAMOPOULOS, K.G. AND KAZAKIS, N.A. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technol.* 22, 1129–1151. 2004.

HASSIMOTTO, N.M.A., GENOVESE, M.I. & LAJOLO, F.M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2928–2935. 2005.

HEINRICH, M., DHANJI, T., CASSELMAN, I. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.): a phytochemical and pharmacological assessment of the species' health claims. *Phytochem. Lett.* 4 (1), 10–21. 2011.

HOGAN, S.; CHUNG, H.; ZHANG, L.; LI, J.; LEE, Y.; DAI, Y.; Antiproliferative and antioxidant properties of anthocyanin-rich extract from açai. *Food Chem* 118:208–214. 2010.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos , 4. ed. São Paulo: IMESP, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da extração vegetal e dasilvicultura.<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2014/default_xls.shtm/> Acesso Maio 20, 2019.

Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 1020 p. 2008.

KADAM, D. M., & BALASUBRAMANIAN, S. Foam-mat drying of tomato juice. *Food Processing and Preservation*, 35, 488–495. 2011.

KADAM, D. M., RAI, D. R., PATIL, R. T., WILSON, R. A., KAUR, S., & KUMAR, R. Quality of fresh and stored foam-mat dried mandarin powder. *Food Science and Technology*, 46, 793–799. 2011.

KANDASAMY, P., VARADHARAJU, N., KALEMULLAH, S., & MALADHI, D. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 1–9. 2012.

KANG, J., LI, Z. M., WU, T., JENSEN, G. S., SCHAUSS, A. G., & WU, X. Anti-oxidant capacities of flavonoid compounds isolated from açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). *Food Chemistry*, 122, 610–617. 2010.

KOMES, D., LOVRIC, T., GANIC, K. K., KLJUSURIC, J. G., & BANOVIC, M. Trehalose improves flavour retention in dehydrated apricot puree. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 425–435. 2005.

KRALOVA I, SJOBLOM J. Surfactants Used in Food Industry: A Review. *Journal of Dispersion Science and Technology*.30, 84 – 1363.

KUMAR, C. MILLAR, G.J. KARIM, M.A. Effective diffusivity and evaporative cooling in convective drying of food material, *Dry. Technol.* 33. 227–237. 2014.

LEE, D.H., FRANCIS, F.J. Standardization of pigment analyses in wanberries. *Hotscience*, v.7, n.1, p. 83-84, 1972.

LAHSASNI, S. et al. Moisture adsorption-desorption isotherms of prickly pear cladode (*Opuntia ficus indica*) at different temperatures. *Energy Conversion & Management*, Marrakech, v. 44, n. 6, p. 923-936, 2003.

LICHTENTHALER, R.; RODRIGUES, R, B.; MAIA, J, G, S.; Aphagiannopoulos, M.; Fabricius, H.; Marx, F. Total oxidant scavenging capacities of *Euterpe oleracea* Mart. (açai) fruits. *Int J Food Sci Nutr* 56:53–64, 2005.

LUCAS, B. F.; ZAMBIAZI, R. C.; VIEIRA COSTA, J. A. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. *LWT*.2018.

Medeiros, M. L.; Ayrosa, A. M. I. B.; Pitombo, R. N. M.; Lannes, S. C. S. Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. *Journal of Food Engineering*,v.73, p.402-406, 2006.

MEDEIROS, M. F. D., ROCHA, S. C. S., ALSINA, O. L. S., Jerônimo, C. E. M., Medeiros, U. K. L., Mata, A. L. M. L. Drying of pulps of tropical fruits in spouted bed: effect of composition on dryer performance. *Drying Technology*, 20, 855–881. 2002.

MCCLEMENTS D. *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. Third Edition ed Boca Raton, FL: CRC Press; 2015.

MORAES, ANA FLAVIA CARLA DE. Secagem em camada de espuma da polpa de açai (euterpe oleracea mart). 2018. 52f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS. Laranjeiras do sul, 2018.

Neves, L. T. B. C.; Campos, D. C. S.; Mendes, J. K. S.; Urnhani, C. O.; Araújo, K. G. M. Qualidade de frutos processados artesanalmente de açai (Euterpe oleracea Mart.) e bacaba (Oenocarpus bacaba Mart.). Revista Brasileira de Fruticultura. 37:729–738. 2015.

NOGUEIRA, A.K.M., SANTANA, A.C. Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no cultivo do açai no Estado do Pará. Ceres. 63,1-7. 2014.

Ng, M. L., e Sulaiman, R. Development of beetroot (Beta vulgaris) powder using foam mat drying. LWT, 88, 80–86. 2017.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists (15th edition). Official Methods of Analysis of The Association of Official Chemists, Washington.

OLIVEIRA, M.DO S.P.DE, FARIAS NETO, J.T.DE MOCHIUTTI, S., NASCIMENTO, W.M.O.DO, MATTIETTO, R.DE A., PEREIRA, J.E.S. AÇAÍ-DO-PARÁ. IN: LOPES, R., OLIVEIRA, M. DO S.P. DE CAVALLARI, M.M., BARBIERI, R.L., CONCEIÇÃO, L.D.H.C.H DA (EDS.), Palmeiras Nativas do Brasil. Embrapa, Brasília. pp. 35-81. 2015.

OHKAWA, H., OHISHI, N. AND YAGI, K. Assay for Lipid Peroxides in Animal Tissues by Thiobarbituric Acid Reaction. Analytical Biochemistry, 95, 351-358. 1979.

O'SULLIVAN, J., MURRAY, B., FLYNN, C., e NORTON, I. The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins. Food Hydrocolloids, 53, 141-154. 2016.

PACHECO-PALENCIA, L.A., DUNCAN, C.E., TALCOTT, S.T. Phytochemical composition and thermal stability of two commercial açai species Euterpe oleracea and Euterpe precatoria. Food Chemistry. 115, 1199–1205. 2009.

PAZ, M.; GÚLLON, P.; BARROSO, M. F.; CARVALHO, A. P, DOMINGUES, V. F.; GOMES, A. M. Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: evaluation of bioactive compounds. Food Chemistry. 172: 462–468. 2015.

PELEG, M. Assessment of a semi empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. Journal of Food Processing Engineering, 16(1), 21-37. 1993.

PINTO, M.; R.; M.; R.; DE ALMEIDA, P.; D.; ALVES, A.; I.; RODRIGUES, M.; Z.; VIEIRA, É.; N.; R; FONTES, E.; A.; F.; RAMOS, A.; M. Encapsulation of carotenoid extracts from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) by emulsification (O/W) and foam-mat drying. *Powder Technology*. 2018.

Portinho, J.A., Zimmermann, L.M., Bruck, M.R. Efeitos benéficos do açaí. *Int. J. Nutrol.* 5, 15–20. 2012.

PRASETYANINGRUM, A., DJAENI, M. Drying spirulina with foam mat drying at médium temperature. *International Journal of Science and Engineering* 3, 1-3. 2012.

ASOKAPANDIAN, S., VENKATACHALAM, S., SWAMY, G. J.; KUPPUSAMY, K. Optimization of Foaming Properties and Foam Mat Drying of Muskmelon Using Soy Protein. *Journal of Food Process Engineering*, 39(6), 692–701. 2015

SANGAMITHRA, A. Venkatachalam, S. Gabriela, S. Kuppuswamy, K. Foam mat drying of food materials: a review, *J. Food Process. Preserv.* 39. 3165–3174. 2015.

SANTOS, G. M.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; PRADO, G. M. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(2), 187-192. 2008.

SILVA, A. K. N., BECKMAN, J, C., RODRIGUES, A, M, C., SILVA, L, H, M. Avaliação da composição nutricional e capacidade antioxidante de compostos bioativos da polpa de açaí. *Revista Brasileira Agroindustrial*. 2205-2216. 2017

SILVA, L. B., ANNETTA, F. E., ALVES, A. B., QUEIROZ, M. B., FADINI, A. L., SILVA, M. G., EFRAIM, P. Effect of differently processed açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) on the retention of phenolics and anthocyanins in chewy candies. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 2603–2612. 2016.

SINGH, R.P., HELDMAN, D.R. Dehydration, *Introduction to Food Engineering*. 5th ed Academic Press, San Diego, pp. 675 - 710. 2014.

SOUSA, S. L., MORAIS.; B. A. DE.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(7), 678–682. 2016.

RAGHAVAN, G.S.V., RENNIE, T.J., SUNJKA, P.S., ORSAT, V., PHAPHUANGWITTAYAKUL, W., TERDTON, P. Overview of new techniques for

drying biological materials with emphasis on energy aspects. *Braz. J. Chemistry Engineering*. 22 (2), 195 -201.2005.

REZAIRE, A.; ROBINSON, J.C.; BERAU, D.; VERBAERE, A.; SOMMERER, N.; KHAN, M, K, et al., Amazonian palm *Oenocarpus bataua* ('patawa'): chemical and biological antioxidant activity – phytochemical composition. *Food Chemistry* 149:62–70. 2014.

RODRIGUES, P. L.; ALVES, P. P. C.; GOMES, A. A. C.; SILVA, J. L.; LIMA, D. A. Atividades desenvolvidas pelas famílias no extrativismo do açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.) em Ponta de Pedras-Pa . Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC. Fortaleza-CE. 2015.

RUFINO, M. S. M.; ALVES R. E.; BRITO E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ J.; SAURA-CALIXTO F.; MANCINI-FILHO J, Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry* 121:996–1002. 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico, 127). 2007.

SALAH, M.R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam-mat drying of Cantaloupe (*Cucumis melo*): Optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation* 39(6), 1798-1808. 2015.

SANGAMITHRA, A., VENKATACHALAM, S., JOHN, S. G., & KUPPUSWAMY, K. Foam mat drying of food materials: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 3165-3195.2015.

SANTANA, A.C.DE, CARVALHO, D.F., MENDES, F.A.T. Análise sistêmica da fruticultura paraense: organização, mercado e competitividade empresarial. Banco da Amazônia, Belém, 255 pp. 2008.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento: Departamento de Economia Rural. Fruticultura – Análise da Conjuntura Agropecuária Safra 2016/2017. Curitiba, 2017.

SCHAUSS, A.G. The effect of açai (*Euterpe spp.*) fruit pulp on brain health and performance. *Bioactive Nutraceuticals and Dietary Supplements in Neurological and Brain Disease*. vol. 19. Elsevier Science. pp. 179–186. 2015a.

SCHAUSS AG, WU X, PRIOR RL, et al. Phytochemical and nutrient composition of the freeze-dried amazonian palm berry, *Euterpe oleraceae* Mart. (acai). *J Agric Food Chemistry*, 54. 8598-603. 2006b.

SCHAUSS, A.G., WU, X., PRIOR, R.L., OU, B., HUANG, D., OWENS, J., AGARWAL, A., JENSEN, G.S., HART, A.N., Shanbrom, E.,. Antioxidant capacity and other bioactivities of the freeze-dried amazonian palm berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Acai). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (22), 8604–8610. 2006c.

SHAFAEI, S. M., MASOUMI, A. A., & ROSHAN, H. Analysis of water absorption of bean 408 and chickpea during soaking using Peleg model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural 409 Sciences*, 15, 135–144. 2016.

SILVA, L. B., QUEIROZ, M. B., FADINI, A. L., FONSECA, R. C. C., GERMER, S. P. M., & EFRAIM, P. Chewy candy as a model system to study the influence of polyols and fruit pulp (açai) on texture and sensorial properties. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 268-274.2016.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. *Introduction to Food Engineering*. San Diego: Academic Press, 2009.

SMITH, S.E. The sorption of water vapour by high polymers. *Journal of the American Chemical Society*, 69, 646. 1947.

SYAMALADEVI, R. M., SABLANI, S. S., TANG, J., POWERS, J., & SWANSON, B. G. State diagram and water adsorption isotherm of raspberry (*Rubus idaeus*). *Journal of Food Engineering*, 91, 460 - 467. 2009.

THUWAPANICHAYANAN, R., PRACHAYAWARAKORN, S., SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam-mat. *Journal of Food Engineering*, 86, 573–583. 2008.

TONON, R. V., BRABET, C., E HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411–418. 2008.

TORNON, R. V. Spray drying of acai juice: influence of process variables, quality and stability of the product. PhD Thesis, University of Campinas (in Portuguese).2009b.

TORMA, P. C. M. R., BRASIL, A. V. S., CARVALHO, A. V., JABLONSKI, A., RABELO, T. K., MOREIRA, J. C. F., GELAIN, D. P., FLÔRES, S. H., AUGUSTI, P. R., & RIOS, A. O. Hydroethanolic extracts from different genotypes of açaí (*Euterpe oleracea*) presented antioxidant potential and protected human neuron-like cells (SH-SY5Y). *Food Chemistry*, 222, 94–104. 2017.

TSOTSAS, E., MUJUMDAR, A.S. *Modern Drying Technology*, 5-Volume Set. Wiley/VCH, Weinheim, Alemanha, 2014.

VAN DEN BERG, C. Development of B.E.T. like models for sorption of water of foods; theory and relevance. In D. Simatos & J.L. Multon (Eds), *Properties of water in foods* (119-135). 1985.

WANG, S. H.; CABALLERO-CÓRDOBA, G. M.; SGARBIERI, V. C. Propriedades funcionais de misturas de farinhas de trigo e soja desengordurada, pré-tratadas por microondas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas-SP, v.12, n.1, p.14-25, 1992.

WIDYASTUTI, W., SRIANTA, I. Development of functional drink based on foam-mat dried Papaya (*Carica papaya* L.): Optimisation of foam-mat drying process and its formulation. *International Journal of Food, Nutrition and Public Health* 4(2), 167-176. 2011.

WÓJCIK, A., KLAPA, P., MITKA, B., & PIECH, I. The use of TLS and UAV methods for measurement of the repose angle of granular materials in terrain conditions. *Measurement*. v.146, p. 780-791. 2019.

YAMAGUCHI, K.K.L., PEREIRA, L.F.R., LAMARÃO, C.V., LIMA, E.S., VEIGA-JUNIOR, V.F. Amazon açaí: chemistry and biological activities: a review. *Food Chemistry*. 179, 137-151. 2015.

ZAREIN, M., SAMADI, S.H., Ghobadian, B. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *J. Saudi Soc. Agriculture Science*. 14 (1), 41- 47. 2015.

ZHENG, X. Z., LIU, C. H., & ZHOU, H. Optimization of parameters for microwave assisted foam-mat drying of blackcurrant pulp. *Drying Technology*, 29, 230–238. 2011.