



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ALIMENTOS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**APLICAÇÃO DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (AR QUENTE E LIOFILIZAÇÃO) PARA A OBTENÇÃO DE PÓ DE BACABA (*Oenocarpus bacaba*):
AVALIAÇÃO DO PROCESSO E DA QUALIDADE DO PRODUTO**

Carla Dettenborn de Cól

Porto Alegre

2021

Carla Dettenborn de Cól

**APLICAÇÃO DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (AR QUENTE E LIOFILIZAÇÃO) PARA A OBTENÇÃO DE PÓ DE BACABA (*Oenocarpus bacaba*):
AVALIAÇÃO DO PROCESSO E DA QUALIDADE DO PRODUTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadores:

Prof^a. Dr^a. Rosane Rech (Orientadora)

Prof^a. Dr^a. Simone Hickmann Flôres (Co-orientadora)

Porto Alegre

2021

CIP - Catalogação na Publicação

Dettenborn de Cól, Carla
Aplicação da secagem em camada de espuma (ar quente e liofilização) para a obtenção de pó de bacaba (*Oenocarpus bacaba*): avaliação do processo e da qualidade do produto / Carla Dettenborn de Cól. -- 2021.

139 f.

Orientadora: Rosane Rech.

Coorientadora: Simone Hickmann Flôres.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Bacaba. 2. Secagem em camada de espuma. 3. Pó. 4. Compostos bioativos. 5. Estabilidade. I. Rech, Rosane, orient. II. Hickmann Flôres, Simone, coorient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter aberto as portas para essa conquista e por me sustentar todos os dias da minha vida.

Aos meus queridos pais e meu marido pelo apoio incondicional e compreensão.

Às minhas orientadoras Prof^a. Dra. Rosane Rech e Prof^a. Dra. Simone Hickmann Flôres, pelos ensinamentos, incentivo, dedicação e amizade. Vocês foram o meu porto seguro, sem vocês eu não teria conseguido.

Aos professores e técnicos do ICTA, em especial ao Prof. Dr. Alessandro Oliveira Rios, Prof^a. Dr^a. Bruna Tischer, Michele Utpottt e Márcia Bellos que me auxiliaram sempre que puderam.

Aos amigos Andressa Diprat, Carol Gonçalves, Lenon Bauer e Tânia Menegol que me receberam de braços abertos no Laboratório de Bioengenharia e sempre se dispuseram a me ajudar, pelos momentos memoráveis juntos e carinho.

Aos iniciantes científicos por toda ajuda no laboratório para realização das análises.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins-Campus Paraíso, por tornar possível a qualificação do seu quadro de pessoal.

Aos professores componentes da banca, pela disponibilidade em contribuir para a melhoria do meu trabalho.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

TESE

**APLICAÇÃO DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (AR QUENTE E LIOFILIZAÇÃO) PARA A OBTENÇÃO DE PÓ DE BACABA (*Oenocarpus bacaba*):
AVALIAÇÃO DO PROCESSO E DA QUALIDADE DO PRODUTO**

Autora: Carla Dettenborn De Cól

Submetida como parte dos requisitos para obtenção do grau de
DOUTORA EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Aprovada em:/...../.....

Homologada em:/...../.....

Pela Banca Examinadora:

Por:

Prof^ª. Dr^ª. Rosane Rech
Orientadora
Docente do Instituto de Ciência e
Tecnologia de Alimentos PPGCTA/UFRGS

Prof^º. Dr. Eliseu Rodrigues
Coordenador do Programa de Pós-graduação
em Ciência e Tecnologia de Alimentos
PPGCTA/UFRGS

Prof^ª. Dr^ª. Simone Hickmann Flôres
Co-orientadora
Docente do Instituto de Ciência e
Tecnologia de Alimentos PPGCTA/UFRGS

Prof^ª. Dr^ª. Simone Hickmann Flôres
Diretora do Instituto de Ciência e
Tecnologia de Alimentos
PPGCTA/UFRGS

Banca: Prof^ª. Dr^ª. Ligia Damasceno Ferreira
Marczak
Doutora em Engenharia Mecânica - UFSC
PPGEQ/UFRGS

Banca: Prof^ª. Dr^ª. Giovana Domeneghini
Merciali
Doutora em Engenharia Química - UFRGS
PPGCTA/UFRGS

Banca: Prof. Dr. Voltaire Sant'Anna
Doutor em Engenharia Química - UFRGS
PPGCTA/UFRGS

“Muitos são os planos no coração do homem, mas o que prevalece é o propósito do Senhor.”

Provérbios 19:21, Bíblia, Nova Versão Internacional

RESUMO

Estudar a secagem da polpa de bacaba, uma fruta nativa do bioma amazônico com potencial funcional, cujas informações sobre seu processamento e uso comercial são praticamente inexistentes foi o objetivo deste trabalho. Na fase inicial deste trabalho foi utilizado um método alternativo de secagem, em camada de espuma, para a obtenção do pó de bacaba. Avaliou-se os parâmetros de formação de espuma e os efeitos da espessura da camada (5, 10 e 15 mm) e da temperatura (50, 60 e 70 °C) durante o processo de secagem. Os resultados mostraram a necessidade do uso de um emulsificante, além do agente espumante, para se obter uma espuma de baixa densidade e estável. O pó apresentou alto teor de proteínas ($15,9 \pm 0,6$ %), fibras ($49,6 \pm 0,4$ %) e lipídios ($35,6 \pm 0,2$ %). A combinação de menor temperatura de secagem e menor espessura resultou em um produto com solubilidade de $37,5 \pm 1,2$ %, similar ao cacau em pó, e alta capacidade antioxidante (525 ± 13 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$), o que sugere grande potencial de uso no desenvolvimento de produtos funcionais. Na sequência foram avaliadas as mudanças no perfil de compostos bioativos (carotenoides, compostos fenólicos e ácidos graxos) da polpa de bacaba após a secagem a ar quente a 50 °C e 60 °C (FMD) e liofilização (FMFD) da espuma. A bacaba em pó foi utilizada para a confecção de sorvete sabor bacaba. A tecnologia FMFD foi a mais adequada para a preservação de fitoquímicos, mas a secagem FMD a 60 °C pode ser uma excelente alternativa devido ao menor custo de processo e desempenho semelhante na preservação desses compostos, além da alta aceitação sensorial do sorvete. Esses pós também apresentam alta concentração de compostos fenólicos e ácidos graxos mono e poli-insaturados, cujo consumo é recomendado para uma alimentação saudável. Para finalizar a pesquisa, foram avaliadas as propriedades térmicas, microestruturais e de sorção de umidade do pó de bacaba produzido por secagem da espuma a 60 °C (FMD) e liofilização (FMFD), bem como a estabilidade dos ácidos graxos desses pós armazenados em diferentes tipos de embalagem e atmosfera. O modelo de GAB apresentou um bom ajuste aos dados experimentais ($R^2 > 0,99$) e permitiu calcular a umidade ideal para a conservação dos pós (6 %, b.u.), indicando também a temperatura limite para armazenamento de 55 °C. Os diferentes processos de secagem não afetaram a estabilidade térmica dos pós, cujas partículas apresentaram-se irregulares e porosas. A proteção contra a luz e a ausência de oxigênio são os principais fatores para prolongar a vida útil dos pós.

Palavras-chave: Bacaba. Secagem em camada de espuma. Pó. Compostos bioativos. Estabilidade.

ABSTRACT

Studying the drying of bacaba pulp, a native fruit of the Amazon biome with functional potential, whose information about its processing and commercial use is practically non-existent was the objective of this work. In the initial phase of this study, an alternative drying method in a foam layer (FMD) was used to obtain the bacaba powder. The foaming parameters and the effects of the layer thickness (5, 10, and 15 mm) and temperature (50, 60, and 70 °C) during the drying process were evaluated. The results showed the need to use an emulsifier, in addition to the foaming agent, to obtain a low density and stable foam. The powder presented high contents of proteins (15.9 ± 0.6 %), fibers (49.6 ± 0.4 %) and lipids (35.6 ± 0.2 %). The combination of lower drying temperature and lower thickness resulted in a product with solubility of 37.5 ± 1.2 %, similar to cocoa powder, and high antioxidant capacity (525 ± 13 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$) suggesting great potential for its use in the development of functional products. Changes in the profile of bioactive compounds (carotenoids, phenolic compounds, and fatty acids) of the bacaba pulp were evaluated after drying with hot air at 50 °C and 60 °C (FMD) and freeze-drying (FMFD) of the foam. The bacaba powder was also used in the development of bacaba-flavored ice cream. The FMFD technology was the most suitable for preserving phytochemicals, but the FMD drying at 60 °C showed similar performance in the preservation of these compounds and can be an excellent alternative due to the lower process cost and the high sensory acceptance of the ice cream. The bacaba-powders have a high concentration of phenolic compounds and mono and polyunsaturated fatty acids, which are recommended for a healthy diet. Finally, thermal, microstructural, and moisture sorption properties of bacaba powder produced by drying the foam at 60 °C (FMD) and lyophilization (FMFD) were evaluated, as well as the stability of the fatty acids of these powders, stored in different types of packaging and atmosphere. The GAB model showed a good fit to the experimental data ($R^2 > 0.99$) and allowed to calculate the ideal humidity for the conservation of the powders (6 %, w.b.), with the limit temperature for storage of 55 °C. The different drying processes did not affect the powders thermal stability, whose particles were irregular and porous. Protection against light and the absence of oxygen are the main factors to prolong powders shelf life.

Keywords: Bacaba. Foam-mat drying. Foam-mat freeze-drying. Powder. Bioactive compounds. Stability.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 - Estrutura dos ácidos graxos ω -9 ou delta 9 (a) e ω -3 ou delta 9, 12, 15 (b).	22
Figura 1.2 - Estrutura básica de um flavonoide	23
Figura 1.3 - Estrutura dos principais flavonóis.	24
Figura 1.4 - Estrutura das antocianidinas.	24
Figura 1.5 - Estrutura do β -caroteno (caroteno) e da β -criptoxantina (xantofila).	25
Figura 1.6 - Palmeira de bacaba (<i>Oneocarpus bacaba</i>) evidenciado os frutos (a) e a sua comercialização em feira livre (b).	19
Figura 1.7 - Gráfico de taxa de secagem.	27
Figura 1.8 - Fases subsequentes (a, b e c) da formação de uma espuma poliédrica.	31
Figura 1.9 - Isotermas de equilíbrio	35

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 - Fluxograma de realização das análises.	40
Figura 2.2 - Etapas para obtenção da polpa de bacaba	41
Figura 2.3 - Fluxograma de etapas para obtenção do pó de bacaba.	44
Figura 2.4 - Aparato para determinação das isotermas de equilíbrio.	53

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2. 1 - Planejamento experimental para avaliação dos efeitos das concentrações dos aditivos nas propriedades das espumas (valores codificados e valores reais em g/100g)..... 43

Tabela 2. 2 - Formulação de sorvete..... 48

CAPÍTULO 3

Table 3. 1 - Effective moisture diffusivity of foam-dried bacaba powder 70

Table 3. 2 - Composition of pulp and foam-mat dried bacaba powder 71

Table 3. 3 - Results of the analyses of the physical properties and antioxidant capacity performed on bacaba powders..... 74

Table 3. 4 - Color values of bacaba powders. 78

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL	14
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 Bacaba (Oenocarpus bacaba)	18
3.1.1 Composição nutricional e compostos bioativos da bacaba	19
3.2 Compostos bioativos	21
3.2.1 Ácidos graxos	21
3.2.2 Compostos fenólicos	23
3.2.3 Carotenoides	25
3.3 Secagem de alimentos	26
3.3.1 Cinética de secagem	26
3.3.2 Secagem em camada de espuma “foam-mat”	29
3.4 Propriedades dos alimentos em pó	34
3.4.1 Atividade de água (aw) e umidade de equilíbrio (Xe)	34
3.4.2 Propriedades Térmicas	36
3.4.3 Microestrutura	38
CAPÍTULO 2: MATERIAIS E MÉTODOS	40
4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	40
4.1 Obtenção dos pós de bacaba	41
4.1.1 Extração da polpa de bacaba	41
4.1.2 Caracterização e composição centesimal da polpa	42
4.1.3 Preparo da espuma de bacaba	42
4.1.4 Avaliação das propriedades das espumas	43
4.1.5 Ensaio de secagem	43
4.2 Análises de qualidade dos pós de bacaba obtidos por FMD	45
4.2.1 Cor	45
4.2.2 Diâmetro médio de partícula	45
4.2.3 Atividade de água (aw)	45

4.2.4 Solubilidade.....	45
4.2.5 Determinação da capacidade antioxidante in vitro.....	46
4.3 Formulação de sorvete com pó de bacaba.....	47
4.4 Análise sensorial do sorvete elaborado com pó de bacaba.....	48
4.5 Extração de compostos bioativos dos pós de bacaba	48
4.5.1. Ácidos graxos	49
4.5.2. Carotenoides	49
4.5.3. Compostos fenólicos	50
4.6 Análises cromatográficas.....	50
4.6.1. Cromatografia Gasosa (CG).....	50
4.6.2. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)	51
4.6.3. Espectrometria de massas (HPLC-DAD-MS/MS).....	52
4.7 Isotermas de equilíbrio dos pós obtidos por FMD e FMFD.....	52
4.8 Análises térmicas dos pós obtidos por FMD e FMFD	54
4.9 Mudanças no perfil de ácidos graxos dos pós de bacaba durante quatro meses de armazenamento.....	54
4.10 Morfologia das partículas	55
4.11 Análises Estatísticas	55
CAPÍTULO 3: RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5. MANUSCRITO 1: FOAM-MAT DRYING OF BACABA (<i>Oenocarpus bacaba</i>): PROCESS CHARACTERIZATION, PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, AND ANTIOXIDANT ACTIVITY	56
5.1 Introduction	57
5.2 Material and methods	59
5.2.1. Preparation and characterization of bacaba pulp.....	59
5.2.2. Foam preparation and characterization.....	59
5.2.3. Foam-mat drying	60
5.2.4. Drying kinetics and water effective diffusivity	61
5.2.5. Physicochemical properties of bacaba powder.....	62
5.2.6. <i>In vitro</i> antioxidant capacity	62
5.2.7 Total phenolic content (TPC)	63

5.2.8 Antioxidant Capacity (ORAC).....	63
5.2.9 Statistical analysis.....	64
5.3 Results and discussion	64
5.3.1 Evaluation of bacaba foams	64
5.3.2 Drying characteristics of bacaba foam mats	66
5.3.3 Properties of foam-dried bacaba powder	70
5.3.4 Moisture content and water activity	70
5.3.5 Solubility.....	71
5.3.6 Particle size distribution.....	72
5.3.7 Effects of drying on the in vitro antioxidant capacity of bacaba powders.....	74
5.3.8 Color characteristics.....	75
5.4 Conclusion	78
6. MANUSCRITO 2	83
7. MANUSCRITO 3	103
8. DISCUSSÃO GERAL	121
9. REFERÊNCIAS.....	123
10. APÊNDICE.....	139

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O consumidor tem buscado cada vez mais alimentos que auxiliem na manutenção da saúde visando reduzir o risco de surgimento de doenças crônicas. Nesse contexto, a flora brasileira apresenta muitas frutas de consumo regional com grande potencial nutricional cuja utilização comercial é mínima ou inexistente.

A bacabeira (*Oenocarpus bacaba* Mart.) é uma palmeira amazônica encontrada na região norte do país cujos frutos apresentam formato elíptico, de coloração roxo-escura quando maduros e polpa de cor branco-amarelada. A bacaba é comercializada na forma *in natura* nas feiras livres e a sua polpa geralmente é consumida na forma de um “vinho” de sabor agradável. Esse fruto também é consumido no Estado do Pará como substituto do açaí, pois sua frutificação ocorre durante a entressafra deste e obtém-se um produto similar.

Estudos prévios relatam que a bacaba possui alta concentração de compostos fenólicos, entre eles as antocianinas que podem ser usadas como pigmentos naturais e também tem potencial para ser utilizada como ingrediente funcional para aplicações alimentares e farmacêuticas devido ao alto conteúdo de antioxidantes (ABADIO FINCO *et al.*, 2012; ABADIO FINCO; KLOSS; GRAEVE, 2016).

Tais compostos podem sofrer degradações durante o processamento e/ou armazenamento, o que tem sido alvo de inúmeras pesquisas nos últimos anos visando o desenvolvimento de técnicas que permitam a manutenção das propriedades nutricionais e sensoriais dos produtos alimentícios. Os processos de secagem podem preservar as propriedades antioxidantes dos frutos, agregar valor à matéria-prima, gerar produtos estáveis, de fácil transporte, manuseio, embalagem e armazenamento, bem como permitir diversas aplicações industriais (CARVALHO *et al.*, 2017; DEHNAD; JAFARI; AFRASIABI, 2016; LOBO *et al.*, 2017; NAKNAEN; CHAROENTHAIKIJ; KERDSUP, 2016).

A secagem por atomização é uma das técnicas mais aplicadas a alimentos líquidos, mas possui limitações para algumas polpas e sucos de frutas com alta viscosidade (AMBEKAR; GOKHALE; LELE, 2013). A polpa de bacaba é rica em lipídios e fibras com composição similar à da polpa de açaí. Tonon *et al.* (2009a) relataram a necessidade da filtração da polpa de açaí antes

da secagem por atomização para evitar entupimentos e perdas pela aderência de material nas paredes da câmara de secagem. Essa redução do teor de sólidos totais da polpa de bacaba também poderia provocar uma importante perda nutricional e de eficiência energética.

A liofilização, por sua vez, é um processo usado para alimentos sensíveis ao calor, que consiste em congelar o material e reduzir sua pressão para permitir a sublimação da água diretamente da fase sólida para a fase gasosa. É uma tecnologia lenta e onerosa quando comparada a outras técnicas devido ao gasto energético do equipamento, sendo aplicada a produtos com alto valor agregado (ABDELWAHED *et al.*, 2006; FANG; BHANDARI, 2010).

A secagem em camada de espuma (FMD - *Foam-Mat Drying*) tem despontado como alternativa por tratar-se de uma técnica de execução simples e barata. Nesse processo, alimentos líquidos ou semissólidos são transformados em uma espuma estável usando aditivos como agentes espumantes, emulsionantes e estabilizantes. Subsequentemente, a espuma é espalhada em bandejas e é desidratada em temperaturas amenas, na maioria das vezes por secagem com ar quente à pressão atmosférica. Ainda assim, a desidratação também pode ser realizada por secagem por microondas (QADRI; SRIVASTAVA, 2015), secagem a vácuo (SRAMEK *et al.*, 2015) ou liofilização (SEERANGURAYAR *et al.*, 2017). A taxa de secagem é elevada devido à grande área superficial para evaporação da umidade e a porosidade da espuma, facilitando a movimentação da água por difusão e capilaridade (THUWAPANICHAYANAN; PRACHAYAWARAKORN; SOPONRONNARIT, 2012). Em seguida, a espuma é desintegrada para se obter um produto em pó semelhante aos obtidos por *spray drying* e liofilização

Essa tecnologia tem sido aplicada em muitas frutas e outros alimentos como banana, goiaba, suco de tomate, iogurte, beterraba, *yacon*, entre outros. A principal desvantagem desta técnica é a necessidade de aditivos; no entanto, os aditivos usados podem ser de fontes naturais e ainda adicionar valor nutricional ao produto (FRANCO *et al.*, 2016; LOBO *et al.*, 2017; NG; SULAIMAN, 2018a; QADRI; SRIVASTAVA, 2015).

A presente pesquisa propõe o aproveitamento da bacaba, que é consumida regionalmente durante o período de safra e cujo processamento pode trazer um impacto positivo nas comunidades, contribuindo para o desenvolvimento regional sustentável. Visando oferecer uma opção de diversificação do seu consumo que permitisse alcançar novos mercados utilizando uma tecnologia

simples, foi utilizada a secagem em camada de espuma para a obtenção do pó de bacaba e avaliadas as condições do processo, a sua qualidade nutricional e aplicação.

A tese será apresentada em capítulos para permitir a organização dos resultados que são apresentados no formato de artigos científicos.

O primeiro capítulo apresenta uma introdução geral com os objetivos da tese e o referencial teórico com os principais tópicos discutidos neste trabalho. No Capítulo 2, descreve-se a metodologia de todas as análises realizadas de forma detalhada.

Os artigos científicos são apresentados no Capítulo 3 e neles constam os resultados da pesquisa e intitulam-se:

- 1) “Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity”,
- 2) “Bioactive compounds and sensory acceptance of bacaba powder obtained by foam-mat drying and foam-mat freeze-drying” e
- 3) “Thermal, microstructural, moisture sorption properties, and fatty acids stability of the bacaba powder obtained by foam-mat drying and foam-mat freeze-drying”.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um processo de secagem de polpa de bacaba pelo método de camada de espuma e avaliar as condições de processo, a qualidade nutricional do produto e a sua aplicação.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Determinar as melhores condições para a formação de espuma de polpa de bacaba.
- Caracterizar as espumas para a seleção daquela que apresenta características adequadas para a secagem.
- Avaliar a influência de diferentes temperaturas e espessuras no processo de secagem da espuma de bacaba por camada de espuma (ar quente) - FMD.
- Caracterizar e avaliar os parâmetros de qualidade do pó obtido por FMD tais como: cor, diâmetro médio de partícula, atividade de água, solubilidade, capacidade antioxidante *in vitro*.
- Avaliar a influência dos processos de secagem (FMD ou FMFD) sobre os compostos bioativos do pó de bacaba.
- Avaliar o uso da bacaba em pó como ingrediente em formulação de sorvete.
- Estudar as propriedades térmicas, microestruturais e de sorção de umidade do pó de bacaba produzido por FMD e FMFD, bem como a estabilidade dos ácidos graxos desses pós armazenados em diferentes tipos de embalagem e atmosfera.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Bacaba (*Oenocarpus bacaba*)

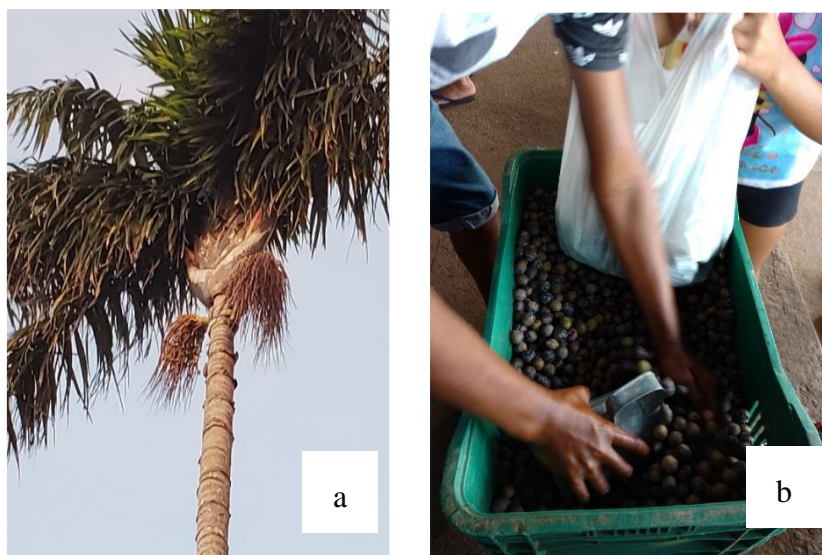
A flora brasileira apresenta um grande potencial de exploração. Pertencente a essa vegetação estão as palmeiras cujo agronegócio envolve frutos, palmito e óleo comestível. A bacaba pertence à família *Arecaceae* e ao gênero *Oenocarpus* que compreende seis espécies nativas do Brasil; sendo uma palmeira nativa dos biomas da Amazônia e do Cerrado, encontrada com maior frequência no Amazonas, Pará, Acre, Tocantins e no sul do Maranhão (PUERARI; MAGALHÃES-GUEDES; SCHWAN, 2015; SEIXAS *et al.*, 2016).

No Brasil, a bacaba é usada pelos indígenas desde antes do descobrimento do país. Dentre as muitas espécies de bacabeiras, a mais famosa é a *Oenocarpus bacaba*, que tem estipe único e atinge de 7 a 22 m de altura e 12 a 25 cm de diâmetro. Ocorre com mais frequência em áreas de solos pobres e argilosos e não-alagados. Essa espécie pode crescer na sombra, contudo prefere áreas mais abertas e é resistente ao fogo, sendo encontrada em capoeiras e pastos. Seus frutos normalmente amadurecem no período mais chuvoso do ano e são formados em cachos pesando aproximadamente 20 kg. A bacabeira produz frutos uma vez por ano e, geralmente, apenas um cacho (Figura 1.1-a), contudo, a sua produtividade é alta porque o seu cacho floresce cinco a seis vezes mais que o do açaí (CYMERYYS, 2005; GUIMARÃES, 2013).

Os frutos da bacabeira são coletados de forma extrativista e comercializados em feiras livres *in natura* (Figura 1.1-b). Esses frutos quando processados com água, formam uma emulsão, o “vinho” - como a polpa também é denominada. Consumida na forma de mingau, suco ou ainda, utilizada para a obtenção de óleo, a polpa de bacaba é uma fonte nutricional importante na alimentação de populações que habitam a Amazônia, em virtude do seu aporte energético e alta concentração de compostos fenólicos (ABADIO FINCO *et al.*, 2012; CYMERYYS; FERNANDES; RIGAMONTE-AZEVEDO, 2005).

A polpa de bacaba apresenta grandes possibilidades de competir no mercado com a polpa de açaí, especialmente na entressafra, por ser o produto mais próximo em termos de sabor, mas cuja oferta é insuficiente pois a sua cadeia produtiva, seja para a fabricação de polpa ou para a obtenção do óleo, ainda é artesanal (OLIVEIRA; RIOS, 2014).

Figura 1. 1-Palmeira de bacaba (*Oneocarpus bacaba*) evidenciando os frutos (a) e a sua comercialização em feira livre (b).



Fonte: O autor (2021).

3.1.1 Composição nutricional e compostos bioativos da bacaba

A parte comestível da bacaba (casca e polpa) apresenta um elevado teor de lipídios ($30,2 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) e teores menores de carboidratos ($6,0 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), proteínas ($4,6 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) e cinzas ($1,2 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), com uma umidade de $58,0 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. Trata-se de um fruto altamente oleaginoso e levemente ácido (pH 5,3-4,8) (PUERARI; MAGALHÃES-GUEDES; SCHWAN, 2015; SANTOS *et al.*, 2013b). A farinha de bacaba, por sua vez, apresenta uma composição centesimal de 7,2% de umidade, 22,2% de lipídios, 10,1% de proteína, 7,7% de glicídios, 1,3% de cinzas e 51,5% de fibra alimentar total (GUIMARÃES, 2013).

Além do uso popular como bebida, estudos sugerem que as substâncias presentes na bacaba possuem propriedades terapêuticas, como efeitos hipocolesterolêmicos e neuroprotetores relacionados aos seus ácidos graxos, o que pode reduzir o risco de doenças crônicas, tais como doença cardíaca coronária e hipertensão. A presença de compostos fenólicos na sua composição também lhe confere propriedades como antimicrobiano e antioxidante (ABADIO FINCO *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2013b).

Foram identificados dez polifenóis no mesocarpo da bacaba, sendo a maioria desses compostos derivados da quercetina e rhamnetina, além de antocianinas. As amostras exibiram um alto teor de antocianinas ($34,69 \text{ mg cyn-3-glc } 100 \text{ g}^{-1}$) e flavonoides ($1134 \text{ mg TE } 100 \text{ g}^{-1}$). No ensaio DPPH, a bacaba apresentou uma alta atividade antioxidante ($34,251 \text{ mmol TE } 100 \text{ g}^{-1}$) quando comparada à goiaba ($3,6 \text{ mmol TE } 100 \text{ g}^{-1}$) e nozes ($6,1 \text{ mmol TE } 100 \text{ g}^{-1}$). Provavelmente a alta capacidade antioxidante da bacaba baseia-se na sua alta concentração de compostos fenólicos (ABADIO FINCO *et al.*, 2012).

Estudos usando o extrato fenólico da bacaba verificaram a inibição da proliferação *in vitro* de células cancerígenas HepG2 e MCF-7, e da adipogênese em células 3T3-L1. Na pesquisa do efeito antiproliferativo dos extratos fenólicos de bacaba em culturas vivas de células de câncer de fígado (HepG2), verificou-se que o extrato da fruta teve uma influência redutora na solução de MTT [3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazólio], com uma elevada concentração inibitória ($\text{IC}_{50} = 649.6 \pm 90.3 \text{ mg mL}^{-1}$) (ABADIO FINCO; BÖSER; GRAEVE, 2013). A proliferação de células de câncer de mama MCF-7 também foi significativamente inibida pelo extrato de bacaba após 96 h de incubação em concentrações maiores ou iguais a $100 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$, com IC_{50} de $252,10 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$, sendo que a inibição da proliferação celular ocorreu principalmente através da indução de apoptose (ABADIO FINCO; KLOSS; GRAEVE, 2016). No estudo mais recente avaliando o efeito do extrato fenólico de bacaba na adipogênese usando pré-adipócitos 3T3-L1, verificou-se a sua ação reduzindo o acúmulo de lipídios intracelulares e a expressão de proteínas de marcadores adipogênicos durante a diferenciação de células 3T3-L1 em adipócitos, sugerindo que o extrato da fruta inibiu a adipogênese *in vitro* por meio do direcionamento de fatores de transcrição durante os estágios iniciais e intermediários da diferenciação (LAUVAI *et al.*, 2017).

O teor de carotenoides na bacaba é baixo, a concentração de carotenoides totais no óleo de bacaba é de $13,5 \pm 0,97 \text{ mg kg}^{-1}$, a menor entre algumas espécies de palmeiras (buriti, inajá, pupunha e tucumã). Os carotenoides majoritários são a luteína ($6,20 \pm 0,35 \text{ mg kg}^{-1}$) e o β -caroteno ($3,02 \pm 0,28 \text{ mg kg}^{-1}$) (SANTOS; ALVES; ROCA, 2015). Resultados similares foram encontrados para o teor de carotenoides totais ($15,47 \text{ } \mu\text{g } \beta\text{-caroteno } \text{g}^{-1}$) no resíduo do processamento de suco de bacaba (BARROS *et al.*, 2017).

Em um estudo sobre a composição dos óleos obtidos dos frutos de palmeiras nativas da Amazônia que pertencem à família Arecaceae, os óleos de bacaba, buriti e tucumã apresentaram aproximadamente 70 % de ácidos graxos insaturados. Devido a essa característica apresentam-se líquidos em temperatura ambiente e possuem alto valor nutricional. O perfil lipídico do óleo de bacaba apresenta o ácido oleico (46 %) como ácido graxo majoritário, seguido por ácido palmítico (26 %), ácido linoleico (20 %) e em menor quantidade o ácido esteárico (4,6 %) e ácido palmitoleico (1 %). (SANTOS *et al.*, 2013b).

O ácido oleico, que está presente em altas concentrações na bacaba, é um ácido graxo monoinsaturado, pertencente à família ω -9. Esse composto é encontrado tanto em óleos vegetais quanto em tecidos animais. É o componente majoritário no azeite de oliva e foi considerado um princípio ativo da “dieta do Mediterrâneo”, que recebeu esse nome pois a população dessa região têm menor risco de desenvolver doenças cardiovasculares e habitualmente consome esse produto (CALDER, 2015; DELGADO *et al.*, 2017; ESTRUCH *et al.*, 2013).

Além desses compostos, a bacaba também apresenta vitaminas antioxidantes, contendo 30 ± 2 mg de vitamina C por 100g em peso fresco (DOS SANTOS *et al.*, 2015) e 148 mg de α -tocoferol por kg de óleo (SANTOS *et al.*, 2013c).

3.2 Compostos bioativos

Os compostos bioativos são constituintes naturais dos alimentos e fornecem benefícios para a saúde além do seu valor nutricional. Diversos estudos epidemiológicos verificaram que o consumo regular de frutas e vegetais ricos nesses compostos apresenta múltiplos efeitos biológicos positivos no organismo humano, pois podem atuar como antioxidantes, anti-inflamatórios, antimicrobianos e anticarcinogênicos. Entre essas substâncias, destacam-se os compostos fenólicos, os carotenoides, os ácidos graxos insaturados e as vitaminas antioxidantes (BIESALSKI *et al.*, 2009; DOS SANTOS *et al.*, 2015; MARGOT; HUNTER, 2013).

3.2.1 Ácidos graxos

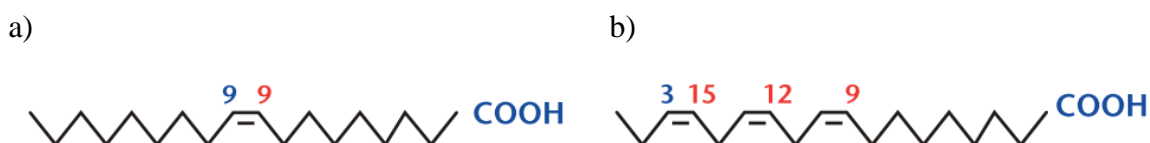
Os ácidos graxos são os principais constituintes de óleos e gorduras que fazem parte da dieta humana e quando metabolizados fornecem energia e participam da formação das células como

constituintes de membrana. Suas atividades biológicas influenciam na regulação das funções das células e tecidos e por isso interferem na saúde, no bem-estar e no risco de doenças (CALDER, 2015).

São classificados em saturados, monoinsaturados (MUFAs), e poli-insaturados (PUFAs) de acordo com o número de ligações duplas entre os carbonos da sua estrutura, que também possui hidrogênio e oxigênio. A sua conformação espacial é outro fator que implica na estabilidade dos ácidos graxos.

A ingestão dos MUFAs como ácido oleico e palmitoleico, de fontes vegetais, foi associada a uma menor mortalidade em um grupo que teve a sua ingestão acompanhada durante 14 anos (MAO *et al.*, 2019). Outro estudo sobre o efeito de dietas ricas em ácidos graxos α -linolênico (ω -3) e oleico (ω -9) (Figura 1.1) concluiu que esses compostos melhoram a resistência à insulina em animais com obesidade induzida pela dieta (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Figura 1. 2-Estrutura dos ácidos graxos ω -9 ou delta 9 (a) e ω -3 ou delta 9, 12, 15 (b).



Fonte: Rustan; Drevon (2005).

A principal causa de deterioração de alimentos lipídicos é a oxidação, que depende de fatores como a exposição ao oxigênio, exposição à luz, presença de pigmentos e metais pesados, bem como grau de saturação dos ácidos graxos presentes. Comparado com os ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), o ácido oleico (MUFA) é menos suscetível à oxidação por ter apenas uma ligação dupla e os sítios insaturados são mais suscetíveis à essa reação (URIBE *et al.*, 2014). A influência do aquecimento na estabilidade do azeite de oliva em comparação com outros óleos vegetais foi estudada, e verificou-se a sua boa resistência térmica em geral que se deve ao seu perfil de alta concentração de ácidos graxos monoinsaturados (SANTOS *et al.*, 2013a).

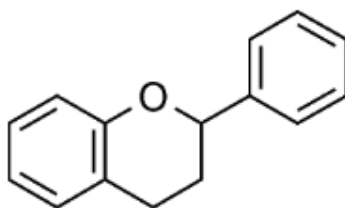
3.2.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários de plantas e fungos produzidos para proteção contra a radiação ultravioleta, insetos, vírus e bactérias. Também podem influenciar na cor e no sabor da planta (AYDEMIR *et al.*, 2015).

Os compostos fenólicos atuam facilitando a eliminação de agentes oxidantes e radicais livres pelo organismo. Essas substâncias, além das propriedades antioxidantes são o foco de estudos para aplicação em humanos com o intuito de diminuir o risco de doenças como câncer e mal de Alzheimer. Geralmente essas doenças são relacionadas à superprodução de oxidantes no corpo humano causando um desequilíbrio e levando à oxidação que causa danos a biomoléculas, como lipídios, DNA e proteínas (HELENO *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2015).

Os compostos fenólicos são caracterizados por ter pelo menos um anel aromático e são comumente encontrados ligados a grupos hidroxila, açúcares e ácidos orgânicos. Aqueles que ocorrem naturalmente em vegetais podem ser classificados em dois grupos, os flavonoides (Figura 1.2) e os não flavonoides, classificados com base no número e disposição dos átomos de carbono. Os flavonoides são compostos fenólicos que contém uma estrutura básica de quinze carbonos, com dois anéis aromáticos ligados por um anel de três carbonos (C6-C3-C6). Os não flavonoides podem conter apenas um anel aromático (ácidos hidroxibenzoicos: C6-C1 e ácidos hidroxicinâmicos: C6-C3) ou dois anéis (estilbenos: C6-C2-C6) (PEREIRA *et al.*, 2009).

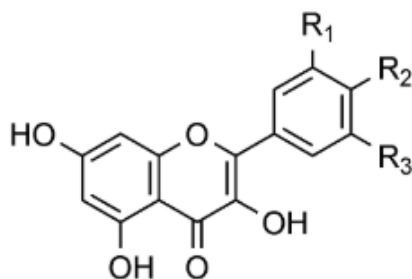
Figura 1. 3-Estrutura básica de um flavonoide



Fonte: Crozier; Jaganath; Clifford (2009).

As principais subclasses de flavonoides são os flavonóis, flavonas, flavan-3-ols, antocianidinas, flavanonas e isoflavonas. Os flavonóis são os flavonoides mais abundantes, sendo os principais, o kaempferol, a quercetina, a isorhamnetina e a miricetina. A estrutura desses compostos é apresentada na Figura 1.3 (CROZIER; JAGANATH; CLIFFORD, 2009).

Figura 1. 4-Estrutura dos principais flavonóis.

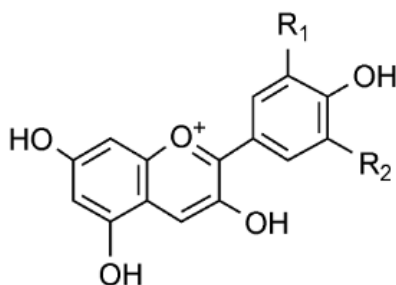


Onde: Kaempferol - $R_1 = H$, $R_2 = OH$, $R_3 = H$; Quercetina - $R_1 = OH$, $R_2 = OH$, $R_3 = H$; Isorhamnetina - $R_1 = OCH_3$, $R_2 = OH$, $R_3 = H$; Miricetina - $R_1 = OH$, $R_2 = OH$, $R_3 = OH$.

Fonte: Crozier; Jaganath; Clifford (2009)

As antocianidinas (pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina) estão representadas na figura 1.4. Essas substâncias não são encontradas na natureza na forma livre, mas ligadas a açúcares e grupos metoxi com maior frequência, apresentando a forma de cátion flavylium, sendo chamadas de antocianinas. Esses açúcares também podem ser conjugados com ácidos alifáticos ou ácidos orgânicos. As antocianinas são responsáveis pelas cores vermelho, azul e roxo dos vegetais (SAHA *et al.*, 2020) e são particularmente instáveis, podem ser degradadas pela exposição ao oxigênio e ação de enzimas polifenol oxidase endógenas (NÓBREGA *et al.*, 2015).

Figura 1. 5-Estrutura das antocianidinas.



Onde: Pelargonidina - $R_1 = H$, $R_2 = H$; Cianidina - $R_1 = OH$, $R_2 = H$; Delphinidina - $R_1 = OH$, $R_2 = OH$; Peonidina - $R_1 = OCH_3$, $R_2 = H$; Petunidina - $R_1 = OCH_3$, $R_2 = OH$; Malvidina - $R_1 = OCH_3$, $R_2 = OCH_3$.

Fonte: Crozier; Jaganath; Clifford (2009)

Já no grupo dos não flavonoides, os de maior importância na dieta são os ácidos hidroxibenzoicos, principalmente o ácido gálico, que é o precursor biossintético dos taninos hidrolisáveis, os ácidos hidroxicinâmicos e seus derivados conjugados, e os estilbenos (CROZIER; JAGANATH; CLIFFORD, 2009).

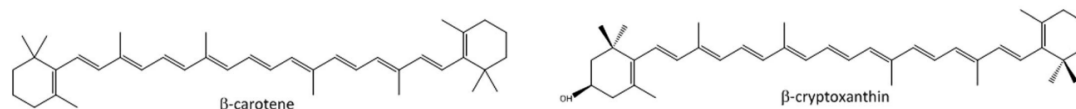
3.2.3 Carotenoides

Os carotenoides são uma classe de pigmentos naturais de cor amarelo, laranja ou vermelha, lipossolúveis, com importantes atividades biológicas. Suas principais fontes são os vegetais e as frutas (AZEVEDO-MELEIRO; RODRIGUEZ-AMAYA, 2004; DE ROSSO; MERCADANTE, 2007).

O seu potencial antioxidante é oriundo do elevado número de insaturações na sua molécula. Isso lhes permite absorver o excesso de energia de outras moléculas e dessa forma, podem atuar na desativação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e radicais livres, prevenindo ou retardando várias doenças crônicas degenerativas. Além disso o β -caroteno e a β -criptoxantina possuem atividade provitamina A no corpo humano (OLSON, 1989; TAPIERO; TOWNSEND; TEW, 2004).

A estrutura molecular dos carotenoides é tetraterpenoide, tendo como base o isopreno. Apresenta cadeia politênica caracterizada por muitas ligações duplas conjugadas, formando o cromóforo. São classificados em carotenos quando são formados apenas por carbono e hidrogênio, e xantofilas quando além desses elementos possuem oxigênio; na figura 1.5 isso é exemplificado (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

Figura 1. 6-Estrutura do β -caroteno (caroteno) e da β -criptoxantina (xantofila).



Fonte: Marhuenda-Muñoz *et al.* (2019)

A estrutura química dos carotenoides os deixa propensos à isomerização e à oxidação. A degradação oxidativa depende da presença de O_2 e é estimulada pela luz, enzimas e metais. Já a isomerização normalmente é causada por calor, luz, ácidos e adsorção em uma superfície ativa (por exemplo, alumina), promovendo a mudança dos carotenoides da sua forma natural *trans* para a

forma *cis*. Isso resulta em perda de cor e da atividade provitamina A (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

3.3 Secagem de alimentos

A secagem é uma das técnicas mais antigas de conservação de alimentos, usada para a conservação de produtos alimentícios por um tempo maior através da redução da atividade de água, em maior ou menor quantidade, o que inibe o crescimento microbiano e retarda muitas reações indesejáveis. Esse processo possibilita a estocagem dos alimentos em condições ambientais desde que adequadamente embalado. Os produtos desidratados são mais leves e menos volumosos, facilitando a sua distribuição até o consumidor e diminuindo os custos com transporte e armazenamento. Também apresentam conveniência no seu uso e uma variedade de aplicações. Em alguns casos, a secagem apresenta a vantagem adicional de possibilitar a comercialização de alguns alimentos mesmo fora da safra (BARBOSA-CANOVAS; IBARZ, 2002; FELLOWS, 2009; SOUZA, 2011).

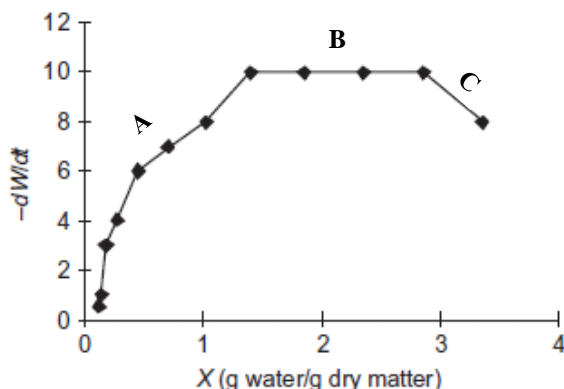
A secagem consiste na remoção da água presente em um alimento por evaporação ou sublimação em condições controladas. Trata-se de um processo complexo e utilizado frequentemente pelas indústrias de processamento de alimentos que envolve transferência de calor e massa e cujo controle depende das condições internas de transferência de massa, das características do sólido ou das condições externas, tais como pressão e temperatura do ar (DANTAS, 2010; FELLOWS, 2009).

3.3.1 Cinética de secagem

A taxa de secagem é definida como a massa de água removida por unidade de tempo (Figura 1.7). O teor de umidade e a composição do alimento, assim como a temperatura, velocidade e a umidade do ar afetam a taxa de secagem (FELLOWS, 2009)

Os mecanismos envolvidos no movimento da água no interior e exterior do alimento se devem a forças capilares, difusão da água por gradientes de concentração, difusão na superfície, difusão do vapor de água nos poros com ar, fluxo devido a gradientes de pressão e à vaporização e condensação de água (IBARS e CÁNOVAS, 2005).

Figura 1. 7-Gráfico de taxa de secagem.



Fonte: Fellows (2009)

A curva de secagem geralmente é modelada para mostrar três regiões ou fases. Na primeira região (A) a taxa de secagem aumenta à medida que a água é removida. Essa fase geralmente é curta e nem sempre é observada em experimentos de secagem. Na fase de taxa constante de remoção de umidade (B), a umidade interna do produto é transportada para a superfície na mesma velocidade que a evaporação ocorre. Nessa etapa é removida a água não ligada ao produto. Essa etapa continua até ser atingido um teor de umidade crítico, que é característico de cada produto. No próximo estágio (C), a taxa de perda de água é decrescente, nesse caso, a velocidade de secagem não se mantém constante e começa a diminuir, sendo governada pelo fluxo interno de água e vapor (BARBOSA-CANOVAS; IBARZ, 2002; FELLOWS, 2009).

A partir de dados experimentais, são construídas curvas de secagem que relacionam a razão de umidade (MR) com o tempo de secagem (t) para cada temperatura de operação. A razão de umidade (MR) é calculada conforme a Eq. 1 (BARBOSA-CANOVAS; IBARZ, 2002):

$$MR = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (1)$$

onde MR é a razão de umidade adimensional; X é o teor médio de umidade no tempo t , X_0 é a umidade inicial e X_{eq} é a umidade de equilíbrio, obtida através da regressão linear dos dados experimentais de taxa de secagem versus tempo ao final do processo, todas as umidades em g água/g de peso seco.

Outra variável importante, que é obtida a partir das curvas de secagem, é difusividade mássica efetiva. Ela representa a interação de todos os parâmetros que interferem na transferência de massa e podem dificultar a migração de água do interior do alimento para a sua superfície. São eles: temperatura do processo, teor de umidade inicial do material, parâmetros físicos inter-relacionados (porosidade, massa específica) e interação entre os componentes do material (amido, proteína, gordura) com a água (BARBOSA-CANOVAS; IBARZ, 2002; MCMINN; MAGEE, 1999).

Para o cálculo das difusividades mássicas efetivas durante a secagem, em condições transientes, em que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água, é amplamente aplicado o modelo teórico embasado na segunda Lei de Fick. Esse modelo é fenomenológico, baseado nos princípios básicos de conservação de massa.

Ao utilizar-se um desidratador convectivo de bandejas, pode se considerar a bandeja uma placa plana infinita (meio poroso) e aplicar-se a Eq. 2. Nesse caso adota-se que as faces laterais são isoladas, como condição inicial, que a umidade é conhecida, e, como condições de contorno, que o fluxo de massa é nulo na região de simetria (central) e que fluxo de massa é convectivo na superfície da espuma (resistência externa ao transporte de massa desprezível) conforme descrito por Crank (1975):

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4L^2} D_{eff} t\right) \quad (2)$$

onde D_{eff} é a difusividade efetiva de água ($m^2 s^{-1}$) e L é a espessura da camada (m).

Para a seleção de um determinado processo de secagem, devem ser levados em conta muitos fatores, incluindo o tipo de matéria-prima e a sua suscetibilidade ao aquecimento, as propriedades nutricionais desejadas no produto e o custo do processamento.

Em geral, uma diminuição na qualidade sensorial e no valor nutricional do alimento é provocada pela exposição do produto a altas temperaturas por um tempo longo. No entanto, tempos de secagem curtos podem aumentar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos, devido à sua extração da matriz celular, o que impacta nas suas propriedades bioativas e benefícios para a saúde (DEHNAD; JAFARI; AFRASIABI, 2016; LOBO *et al.*, 2017).

3.3.2 *Secagem em camada de espuma “foam-mat”*

A secagem em camada de espuma é uma tecnologia antiga que foi patenteada por Campbell em 1917 para a secagem de espuma de leite vaporizado. Esse método tem despertado a atenção nos últimos anos por permitir a utilização de temperaturas moderadas por períodos de tempo curtos, por possibilitar a secagem de alimentos líquidos utilizando equipamentos simples e baratos, e por originar produtos de fácil reidratação e com boa retenção de voláteis (RATTI; KUDRA, 2006).

Esse método consiste em três etapas: na primeira, o alimento líquido ou pastoso é transformado em uma espuma estável utilizando-se equipamentos geradores de espuma e adição de agentes espumantes; posteriormente, a espuma é espalhada numa fina camada sobre uma superfície; por fim, o processo finaliza com a secagem, geralmente por corrente de ar quente em desidratador convectivo, obtendo-se o pó (SOUZA, 2011).

Devido à estrutura porosa da espuma, cuja capilaridade facilita a perda de umidade e à grande área de superfície, as taxas de transferência de massa aumentam, o que leva a um período mais curto de secagem e um produto com maior qualidade. Como resultado dos baixos tempos de secagem, os nutrientes podem ser preservados, e as alterações na cor são consideravelmente menores. Geralmente o tempo de secagem aumenta à medida que a espessura da espuma é maior e diminui a temperaturas mais elevadas. Isto pode ser devido ao fato da migração de umidade ser mais favorecida em espessuras menores de espuma, levando menos tempo até aquecer o centro do material (KARIM; WAI, 1999; THUWAPANICHAYANAN; PRACHAYAWARAKORN; SOPONRONNARIT, 2012).

Além da espessura da camada, temperatura e velocidade do ar, as taxas de secagem dos materiais espumados dependem muito das características da espuma como composição, estabilidade, massa específica e tamanho da bolha. Espumas mecanicamente e termodinamicamente estáveis, permitem uma remoção rápida e eficiente da água, já a sua ruptura provoca um aumento no tempo de secagem, comprometendo assim a qualidade do produto (ABBASI; AZIZPOUR, 2016).

Os pós/flocos obtidos possuem melhores propriedades de reconstituição quando comparados aos produtos secos por tambor e spray devido à sua estrutura em favo de mel. Outra característica

importante é a retenção de voláteis que seriam perdidos durante a secagem de materiais não espumosos (KANDASAMY *et al.*, 2012).

Devido à menor massa específica da espuma, o rendimento do processo é baixo, o que pode ser compensado pelo tempo de secagem ser significativamente menor do que para alimentos sólidos. Os pós podem ser reconstituídos para obtenção de suco e usados para a preparação de diversos produtos (KADAM; BALASUBRAMANIAN, 2011).

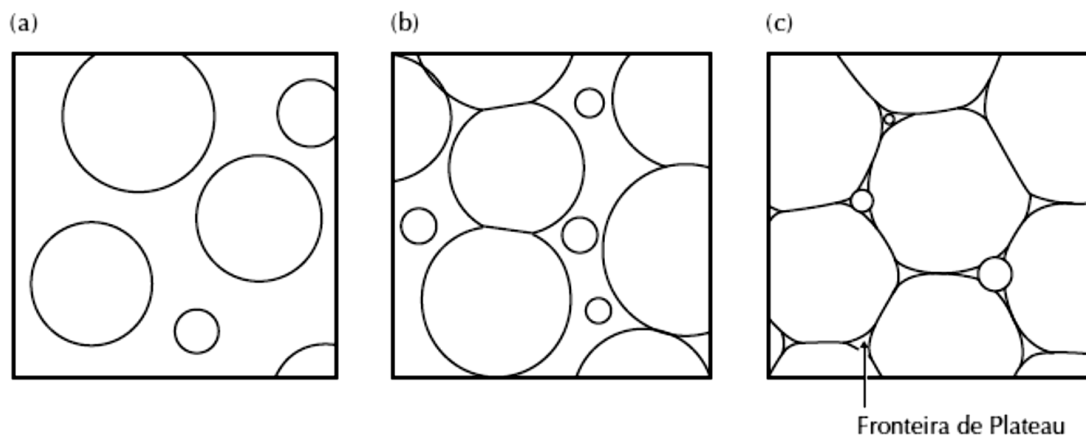
O processo de transformação em espuma antes da secagem de purê de banana reduziu o tempo de secagem e, conseqüentemente, o escurecimento do produto devido à reação de Maillard. Além disso, esse processo minimizou a perda de componentes nutricionais, tais como conteúdo fenólico total, ácido ascórbico, tiamina, riboflavina e β -caroteno (NAKNAEN; CHAROENTHAIKIJ; KERDSUP, 2016).

As espumas são dispersões de um gás (fluido hidrofóbico) numa solução ou suspensão aquosa que contém surfactantes, sendo necessária energia mecânica para criar a interface ar/água. O batimento é o principal método para o processamento industrial de espumas. Para que se produza uma espuma, necessita-se de um surfactante. Quase todos os tipos de surfactantes possibilitarão a formação de espuma, desde que produzam um determinado gradiente de tensão superficial (WALSTRA; VLIET, 2017).

Geralmente, as proteínas são os agentes surfactantes escolhidos pela indústria de alimentos, pois são comestíveis e tendem a resultar em espumas relativamente estáveis. A formação de espumas implica a difusão de proteínas solúveis até a interface ar/água onde se adsorve nessa interface por meio de interações hidrofóbicas, diminuindo a tensão interfacial (CHEFTEL; CUQ; LORLENT, 1989; DAMODARAN, 2005).

Os estágios de formação da espuma estão representados na Fig. 1.8. O líquido fica aprisionado entre as bolhas, formando a borda de Plateau. Ao longo do tempo, pequenas bolhas residuais logo desaparecem devido ao amadurecimento de Ostwald, que consiste na difusão de bolhas pequenas para bolhas maiores; escoamento de líquido em decorrência da gravidade e coalescência das bolhas causada pela instabilidade do filme entre elas. Conforme a espuma continua drenando, sua fração de volume de ar aumenta e uma camada de líquido se forma abaixo da espuma.

Figura 1. 8-Fases subsequentes (a, b e c) da formação de uma espuma poliédrica.



Fonte: Walstra e Vliet (2017)

Como as espumas são dispersões de bolhas de gás em um volume relativamente pequeno de líquido, distribuições de tamanho de bolha muito heterogêneas na estrutura da espuma podem levar à instabilidade das espumas devido a forças desequilibradas na interface líquido-gás. Portanto, as espumas mais adequadas para secagem são aquelas com as bolhas menores e mais homogêneas (FRANCO *et al.*, 2015a; KUDRA; RATTI, 2006).

Um dos principais problemas na obtenção de espumas é a sua instabilidade, que pode ocorrer tanto durante as etapas de formação de espuma, quanto na secagem. A composição química do material, teor de sólidos solúveis, tipo e concentração do agente espumante também são variáveis que afetam a estabilidade das espumas. Essa variável é influenciada pelas propriedades físicas e reológicas da interface e da fase contínua. Filmes viscoelásticos são geralmente resistentes à ruptura e à coalescência de bolhas gasosas dispersas na fase líquida (SALAH; MOHEBBI; TAGHIZADEH, 2015).

3.3.2.1 Aditivos empregados na secagem em camada de espuma “foam-mat”

Para a obtenção da espuma antes da secagem, são utilizadas substâncias capazes de formar e estabilizar espumas, com propriedades emulsificantes e/ou estabilizantes. Proteínas, gomas e vários emulsificantes (monoestearato de glicerol, monoestearato de propileno glicerol, carboximetilcelulose [CMC], triclorofosfato) são utilizados como agentes espumantes (SANGAMITHRA *et al.*, 2015).

Para garantir a segurança dos alimentos, o uso de aditivos como agentes espumantes, estabilizantes e emulsificantes deve obedecer à legislação. A *Food and Drug Administration* (FDA) lista os itens permitidos como “geralmente reconhecidos como seguros” (GRAS) e, no Brasil, os aditivos autorizados são listados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Brasil (ANVISA).

A Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997 do Ministério da Saúde traz a definição de espumante como “*substância que possibilita a formação ou a manutenção de uma dispersão uniforme de uma fase gasosa em um alimento líquido ou sólido*” e emulsificante consiste em uma “*substância que torna possível a formação ou manutenção de uma mistura uniforme de duas ou mais fases imiscíveis no alimento*” (BRASIL, 1997).

Um agente espumante à base de proteínas deve: estabilizar a espuma de forma eficaz e rápida em baixas concentrações, ter bom desempenho dentro da ampla faixa de pH de diferentes alimentos e atuar eficientemente em ambientes contendo inibidores de espuma, como gordura, álcool ou agentes aromatizantes. Os agentes espumantes à base de proteína mais utilizados são a clara de ovo, a gelatina, as proteínas do leite (caseína e proteínas do soro) e a proteína de soja (SANGAMITHRA *et al.*, 2015).

Os emulsificantes são adsorvidos na interface óleo/água, com uma porção hidrofílica voltada para água, enquanto a hidrofóbica é voltada para o óleo, reduzindo a tensão superficial e prevenindo a agregação das gotículas. São diferenciados, pela sua carga, em iônicos e não-iônicos. Os monoglicerídeos são emulsificantes não iônicos lipofílicos. Os ésteres de sorbitana podem reagir com óxido de etileno fazendo com que as propriedades hidrofílicas dos ésteres sejam aumentadas (ARAÚJO, 2011).

A clara do ovo é considerada um agente formador de espuma superior por conter 10 % proteína e diversos constituintes proteicos cujas propriedades físico-químicas parecem complementares, propiciando espumas que se formam rapidamente, são leves, estáveis e resistem ao calor. As albuminas apresentam como principal propriedade, que as distingue de todas as outras proteínas, a sua solubilidade em água e a capacidade de formação de espuma em valores de pH neutros e ácidos (exceto em muito ácido, pH = 1) (CHEFTEL; CUQ; LORLENT, 1989; WALSTRA; VLIET, 2017).

Durante o batimento da clara de ovo, à medida que a estrutura proteica é rompida pela força mecânica na interface, o alúmen interage um com o outro para formar uma película interfacial visco-elástica mais estável. Os agregados proteicos formados se tornam irreversivelmente adsorvidos, resultando em forte resistência à maturação de Ostwald (CHEFTEL; CUQ; LORLENT, 1989; DAMODARAN, 2005).

Vários aditivos vêm sendo utilizados para melhorar as características das espumas no processo de secagem por camada de espuma. Franco *et al.* (2015a) utilizaram a albumina e Emustab® e concluíram que a adição desses agentes espumantes ao suco de yacon foi determinante para a formação de espumas e manutenção de suas propriedades físicas para torná-las elegíveis para o processo de secagem em camada de espuma.

A albumina foi mais eficiente do que o Emustab® como agente espumante proporcionando menor massa específica e melhor índice de estabilidade em todas as concentrações testadas para obtenção de suco misto de açaí, morango e acerola em pó (ROCHA, 2013).

A albumina também foi adicionada em diferentes concentrações (0, 5, 10, 15 e 20 % em massa) na obtenção de espuma para produção de tomate em pó. A concentração ideal foi a de 10 %, com batimento por 5 min, sendo que o aumento da concentração só melhorou o processo de secagem até concentrações de 15 % (KADAM; BALASUBRAMANIAN, 2011).

Para a desidratação da polpa de mamão em camada de espuma incorporando metilcelulose (0,25, 0,5, 0,75 e 1 % em massa), monoestearato de glicerol (1, 2, 3 e 4 %, em massa) e clara de ovo (5, 10, 15 e 20 % em massa) como agentes espumantes obteve-se melhores resultados com a formulação usando 3 % de monoestearato de glicerol (KANDASAMY *et al.*, 2012).

A clara de ovo (1, 2 e 3 g 100 g⁻¹) apresentou um melhor desempenho para a formação de espuma de suco de cereja azeda do que a metilcelulose (1, 1,5 e 2 g 100 g⁻¹) no estudo de Abbasi e Azizpour (2016).

Com base nos resultados desses estudos verifica-se que na escolha dos aditivos a serem utilizados para a obtenção de uma espuma elegível para secagem devem ser levados em conta fatores como composição da matéria-prima, concentração e tipo do agente espumante, o gás incorporado, a técnica e o tempo de incorporação do ar (KARIM; WAI, 1999).

3.4 Propriedades dos alimentos em pó

A secagem pode afetar a composição e a estrutura dos alimentos. Para a avaliação da qualidade desses produtos utiliza-se parâmetros como atividade de água, solubilidade, higroscopicidade, cor, atividade antioxidante e retenção de compostos bioativos (RATTI; KUDRA, 2006).

Essas propriedades afetam principalmente a função do pó como ingrediente alimentar e a maneira que ele poderá ser adicionado a outros alimentos, além da sua estabilidade ao armazenamento.

3.4.1 Atividade de água (a_w) e umidade de equilíbrio (X_e)

A umidade de um alimento não é suficiente para prever a sua estabilidade porque é a atividade de água do alimento que indica a quantidade de água livre, que está disponível para o crescimento de microrganismos e as reações químicas e enzimáticas que podem alterá-los (FELLOWS, 2009).

A atividade de água é uma razão de fugacidades a nível termodinâmico. Nas condições experimentais em que são medidas as pressões podemos calculá-la como “a razão da pressão de vapor da água no alimento (P) e a pressão de vapor da água (P_0) na mesma temperatura”, considerando-se as baixas pressões de vapor no ambiente. Dessa forma, a a_w relaciona-se com a umidade relativa de equilíbrio (UR) do ambiente onde se encontra o produto através da Equação 3. Essa relação é uma das ferramentas usadas para ajudar a estimar a estabilidade dos alimentos, mas requer que tenha sido alcançado o equilíbrio entre a umidade do produto e da sua vizinhança (SLADE; LEVINE; REID, 1991).

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{UR}{100} \quad (3)$$

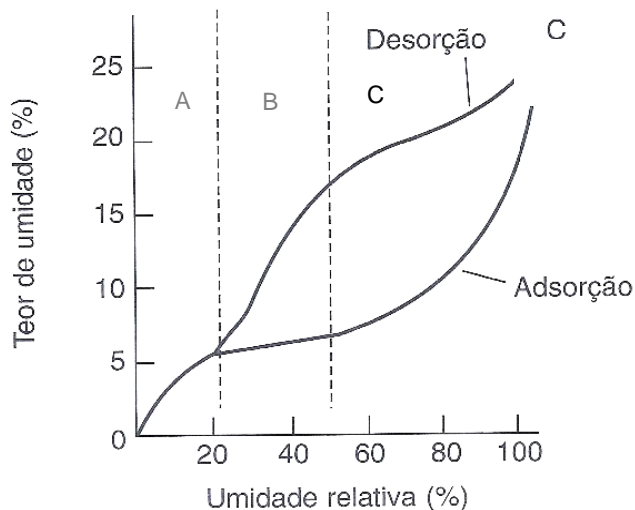
Normalmente abaixo de 0,60 de a_w não ocorre proliferação microbiana e a faixa entre 0,35 e 0,5 é a mais adequada para que não ocorram perdas das propriedades desejáveis dos materiais desidratados (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981).

A migração da água do alimento para o ar ao seu redor vai depender da sua umidade e composição, e das condições de temperatura e umidade relativa do ar. Esse processo vai ocorrer até que seja atingida a umidade de equilíbrio. Quando diferentes valores de umidade relativa são

plotados em relação ao teor de umidade de equilíbrio do alimento para uma temperatura e pressão constantes, obtém-se as isotermas de equilíbrio (Fig. 1.9), que são específicas para cada alimento (REID; FENNEMA, 2007).

Experimentalmente uma das maneiras mais simples e confiáveis para obter-se as isotermas de equilíbrio é por meio do método estático gravimétrico. Nele, um conjunto de recipientes hermeticamente fechados contendo diferentes soluções salinas saturadas e a amostra é colocado em estufa com temperatura controlada. Essas soluções possuem a_w conhecida e servem para regular a pressão de vapor nas vizinhanças da amostra, cuja variação do peso é monitorada periodicamente. As condições de equilíbrio são consideradas atingidas quando três medidas de massa da mesma amostra fornecem resultados idênticos.

Figura 1. 9-Isotermas de equilíbrio



Fonte: Fellows (2009)

Na isoterma, do ponto inicial até o ponto A ocorre a adsorção de água na região da monocamada, onde toda a água está ligada a sítios específicos (como grupos hidroxilas dos oligossacarídeos, grupos carbonila e amina das proteínas e pontes de hidrogênio). Do ponto A ao B está a água adsorvida a camadas adicionais e a força de ligação entre a água e o produto é muito fraca. Acima do ponto B, a água está livre. O valor de umidade de monocamada molecular (X_m)

indica o teor de umidade em que o alimento é mais estável, particularmente nos alimentos desidratados, pois abaixo desse valor o alimento estará mais suscetível à oxidação lipídica e acima desse valor podem ocorrer reações deteriorativas.

As isotermas são aplicadas na predição do tempo de secagem, permitindo a otimização do processo, elas indicam a a_w ideal para o armazenamento do produto e as propriedades de barreira à umidade necessárias para a sua embalagem estendendo a vida útil e garantindo a segurança do alimento (FELLOWS, 2009; KAYMAK-ERTEKIN; GEDIK, 2004).

A partir de dados experimentais de umidade de equilíbrio e atividade de água, pode ser feita a predição da umidade de monocamada (X_m) a partir de alguns modelos matemáticos baseados em critérios teóricos e/ou empíricos disponíveis na literatura. Os modelos mais utilizados para essa finalidade são os modelos de Brunauer-Emmett-Teller (BET) e Guggen-heim-Anderson-de Boer (GAB). Ambos assumem que ocorre sorção homogênea de água formando uma camada monomolecular inicialmente, enquanto a água adicional forma uma multicamada até que haja equilíbrio entre a umidade da amostra e da atmosfera. O modelo de BET possui dois parâmetros, sendo aplicável numa faixa de atividade de água de até 0,45. Já o modelo de GAB é uma extensão do modelo de BET, introduzindo mais um parâmetro e pode ser aplicado até a_w de 0,9, sendo provavelmente o mais adequado para análise do processo de secagem (GOULA *et al.*, 2008; TONON *et al.*, 2009b; VAN DEN BERG; BRUIN, 1981).

3.4.2 Propriedades Térmicas

Outra propriedade dos alimentos em pó que permite prever a sua estabilidade é a temperatura de transição vítrea, pois está relacionada com a mobilidade das suas moléculas. Como o produto é exposto a uma ampla gama de temperaturas durante o transporte e armazenamento, a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio dinâmico entre as fases de vapor e adsorventes pode ser afetada, provocando transformações estruturais como colapso e cristalização. Em geral, produtos secos armazenados em embalagens que evitem a absorção de água e abaixo de sua temperatura de transição vítrea serão estáveis por longo período (ROCIO YANELI AGUIRRE-LOREDO, ADRIANA INÉS RODRIGUEZ-HERNANDEZ, 2017; SLADE; LEVINE; REID, 1991).

A temperatura de transição vítrea (T_g) é definida como a temperatura, a uma dada umidade, na qual o material amorfo muda (transição) de um estado sólido-vítreo para um estado gomoso, podendo ser categorizada termodinamicamente como uma pseudotransição de fase de segunda ordem pois é acompanhada de variação da capacidade calorífica da amostra. Devido à complexa composição dos alimentos e à incompatibilidade molecular de alguns desses componentes, várias transições vítreas podem ser observadas, sendo comandadas pelos seus componentes principais (GOULA *et al.*, 2008; RAHMAN, 2019).

Muitas vezes são usados aditivos para aumentar a T_g , aumentando assim a estabilidade dos pós devido ao aumento do seu peso molecular. Um trabalho avaliou o pó de suco de maçã obtido através da sua liofilização direta ou da sua prévia transformação em espuma e constatou-se que a T_g é 10 °C mais elevada para o pó obtido através da liofilização da espuma. Esse achado foi atribuído à presença de macromoléculas de alto peso molecular usadas para formar as espumas (metil celulose e albumina em pó) (RAHARITSIFA; RATTI, 2009).

Os métodos mais comuns para a detecção de mudanças termodinâmicas são a análise térmica diferencial (DTA) e calorimetria de varredura diferencial (DSC). Essas técnicas monitoram eventos que envolvam troca de calor, endotérmicos ou exotérmicos, possibilitando dessa forma, estudar as transições de fase sob diferentes influências atmosféricas, temperaturas e taxas de aquecimento/resfriamento.

Na calorimetria exploratória diferencial (DSC) a amostra e a referência são mantidas na temperatura pré-determinada pela programação do equipamento mesmo durante um evento térmico na amostra, sendo o fluxo de calor suprido (evento endotérmico) ou removido (evento exotérmico) para manter nula a diferença de temperatura em relação à referência. Nas curvas que são obtidas experimentalmente, os picos gerados são oriundos de alterações na temperatura da amostra devido às variações de entalpia decorrentes de transições de primeira ordem como transformações físicas ou reações químicas (ex. fusão, cristalização), enquanto variações na linha de base são indicadores de transições de segunda ordem.

3.4.3 Microestrutura

A microestrutura do alimento fornece informações qualitativas sobre seu estado físico e de como interagem suas três moléculas básicas (polissacarídeos, proteínas e lipídios) na célula, podendo ser classificada como fibrosa, carnuda ou encapsulada. O seu conhecimento é importante pois impacta diretamente nas propriedades funcionais do alimento, na sua estabilidade e na bioacessibilidade dos seus nutrientes (AGUILERA; STANLEY; BAKER, 2000; KARIM *et al.*, 2017; PARADA; AGUILERA, 2007).

O processo de secagem provoca alterações na microestrutura, na distribuição dos componentes e, conseqüentemente, nas suas características macroscópicas. Isso influencia na textura, na reconstituição e nos nutrientes do produto seco, afetando assim, a sua função como ingrediente alimentar caso seja adicionado a outros alimentos (AGUILERA, 2005; KARIM *et al.*, 2017).

A investigação da microestrutura pode ajudar a compreender os mecanismos que afetam a qualidade dos pós obtidos por secagem em camada de espuma. Como explicado anteriormente no tópico 3.3.2, a espuma deve ser mecanicamente estável para ser elegível para esse tipo de secagem. As espumas estáveis retêm a sua estrutura porosa, o que facilita a eliminação da água durante o processo de secagem, melhora as propriedades de reconstituição do produto seco e ajuda a preservar os nutrientes (SALAH; MOHEBBI; TAGHIZADEH, 2017).

Em uma pesquisa de desenvolvimento de pó de polpa de melão usando o método de secagem em camada de espuma as micrografias mostraram que existia uma ampla estrutura porosa. Essa microestrutura era afetada pela temperatura de secagem e espessura da espuma. Maiores temperaturas aceleravam o processo de secagem, o que diminuía o colapso da estrutura da espuma devido á combinação de bolhas adjacentes. Já o aumento da espessura da espuma originava uma estrutura mais uniforme e menos porosa (SALAH; MOHEBBI; TAGHIZADEH, 2017).

Outro estudo analisando a microestrutura do pó de suco de maçã liofilizado verificou que as amostras de espuma liofilizadas mostraram alta porosidade e formato de poro alongado, enquanto o pó obtido por liofilização direta do suco apresentou uma estrutura compacta e menos porosa (RAHARITSIFA; RATTI, 2009).

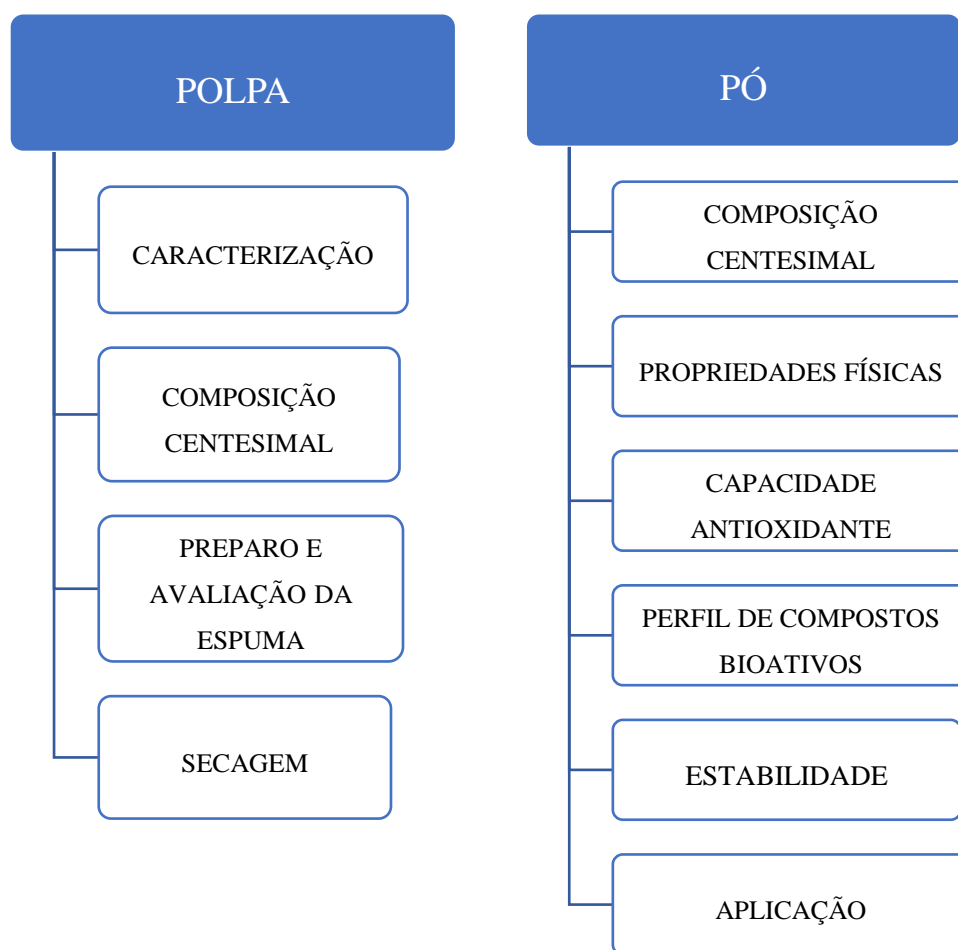
Para avaliar a estrutura dos alimentos as técnicas de microscopia são as mais adequadas pois obtém-se resultados na forma de imagens. O método mais utilizado para análise de produtos em pó é a microscopia eletrônica de varredura (MEV), que permite avaliar as características da superfície e internas, numa ampla faixa de ampliação (AGUILERA; STANLEY, 1999).

CAPÍTULO 2: MATERIAIS E MÉTODOS

4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Os experimentos foram desenvolvidos nos laboratórios de Bioengenharia, de Compostos Bioativos e Processamento de Alimentos e de Análises de Propriedades Físicas dos Alimentos do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA), além do Centro de Microscopia e Microanálise e Laboratório de Radiobiologia Molecular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O desenvolvimento das análises seguiu o esquema apresentado na Figura 2.1.

Figura 2. 1-Fluxograma de realização das análises.



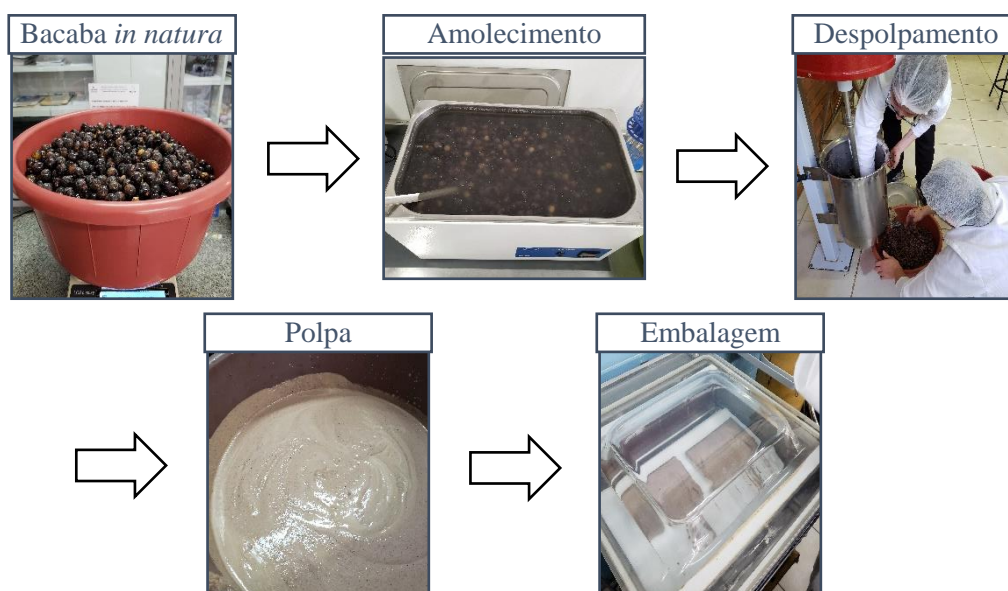
4.1 Obtenção dos pós de bacaba

Para obter os pós de bacaba inicialmente a polpa foi extraída do fruto, transformada em uma espuma estável para, em seguida, ser desidratada por ar seco ou liofilização. Também foi realizada a caracterização da polpa e a avaliação das propriedades da espuma de acordo com as metodologias descritas a seguir.

4.1.1 Extração da polpa de bacaba

A bacaba foi coletada no Estado de Tocantins, no Brasil. Os frutos foram refrigerados (5 °C) e transportados em caixa isotérmica até a Planta Piloto de Frutas e Hortaliças do ICTA onde a polpa foi processada (Fig. 2.2). Inicialmente, os frutos foram selecionados, lavados e higienizados por imersão em solução clorada (100 ppm de cloro ativo por 15 minutos), em seguida, realizou-se o enxague e a imersão dos frutos em água na proporção 1:1 (fruto:água) a 50 °C por 15 min afim de amolecer o mesocarpo e facilitar a etapa de despulpamento em um extrator vertical de pás. A polpa foi armazenada congelada em freezer a -18 °C para posterior utilização.

Figura 2. 2-Etapas para obtenção da polpa de bacaba



4.1.2 Caracterização e composição centesimal da polpa

Foram seguidos os protocolos da AOAC (1990) para as análises de caracterização da polpa de bacaba. Para a determinação da composição centesimal analisou-se os teores de umidade (método n°. 934.06), cinzas (método n°. 923.03), lipídios (método n°. 960.39) e proteínas (método n°. 960.52, usando o fator de correção de 6.25). A fibra dietética total foi aferida na amostra previamente seca e desengordurada pelo método enzimático-gravimétrico (método 985.29). O teor de carboidratos foi calculado subtraindo de 100 os teores de lipídios, proteínas e cinzas, em base seca. O teor de sólidos solúveis totais foi determinado utilizando um refratômetro digital portátil (Pocket Refractometer, Model Pal-1, Atago, Brazil) e os resultados foram expressos em porcentagem (%) (método n°. 932.12). O pH foi medido em pHmetro de bancada (Model DM-22, Digimed, Brazil). O teor de sólidos totais foi determinado subtraindo o conteúdo de umidade de 100 %. Todas as análises foram realizadas em triplicata e calculadas as médias e desvio-padrão.

4.1.3 Preparo da espuma de bacaba

Foram realizados testes preliminares (dados apresentados no apêndice A) para a avaliação da capacidade de formação de espuma da polpa de bacaba utilizando diferentes agentes espumantes (albumina, Super Liga Neutra®, carboximetilcelulose), combinados ou não com um emulsificante (Emustab®, lecitina. Os resultados desses testes indicaram a albumina de ovo em pó (Albumina, Naturovos, Salvador do Sul, Brasil) como o melhor agente espumante, e a necessidade da adição de um emulsificante na formulação (Emustab Selecta®, Duas Rodas Industrial Ltda., Jaraguá do Sul, Brasil). Este agente emulsificante/estabilizante é composto de água, monoglicerídeos de ácidos graxos destilados (INS 471), sal de ácido graxo (INS 470), monoestearato de sorbitano (INS 491) e monoestearato de polioxietileno sorbitano (INS 435).

Para avaliação dos efeitos das concentrações desses aditivos nas propriedades das espumas (densidade e estabilidade) foi realizado um planejamento experimental rotacional completo 2^2 com 3 pontos centrais e 4 pontos axiais (Tabela 2.1).

Albumina de ovos e Emustab® foram adicionados à polpa de bacaba congelada nas concentrações de 2,0, 2,88, 5,0, 7,12 e 8,0 g por 100 g. Após a completa homogeneização da polpa com os aditivos procedeu-se à incorporação mecânica de ar em uma batedeira doméstica (300W, ARNO), em velocidade máxima, durante 20 minutos.

Tabela 2. 1-Planejamento experimental para avaliação dos efeitos das concentrações dos aditivos nas propriedades das espumas (valores codificados e valores reais em g/100g).

Tratamento	Fator	
	Albumina (g/100g)	Emustab (g/100g)
1	-1 (2,88)	-1 (2,88)
2	-1 (2,88)	+1 (7,12)
3	+1 (7,12)	-1 (2,88)
4	+1 (7,12)	+1 (7,12)
5	-1,41 (2,00)	0 (5,00)
6	+1,41 (8,00)	0 (5,00)
7	0 (5,00)	-1,41 (2,00)
8	0 (5,00)	+1,41 (8,00)
9	0 (5,00)	0 (5,00)
10	0 (5,00)	0 (5,00)
11	0 (5,00)	0 (5,00)

4.1.4 Avaliação das propriedades das espumas

A densidade consiste na relação entre o peso e o volume da amostra (g/cm^3). A densidade da polpa e de cada espuma foi obtida de acordo com Karim e Wai (1999), onde se transferiu um

O índice de estabilidade da espuma (%) consiste na diferença entre o volume inicial da espuma (v_{foam}) e o volume final da espuma (v_{foam}), após 120 minutos. É calculado usando a Eq. 4 (FRANCO *et al.*, 2015a).

$$\text{Estabilidade} = \frac{v_{\text{foam}}}{v_{\text{foam}}} \times 100 \quad (4)$$

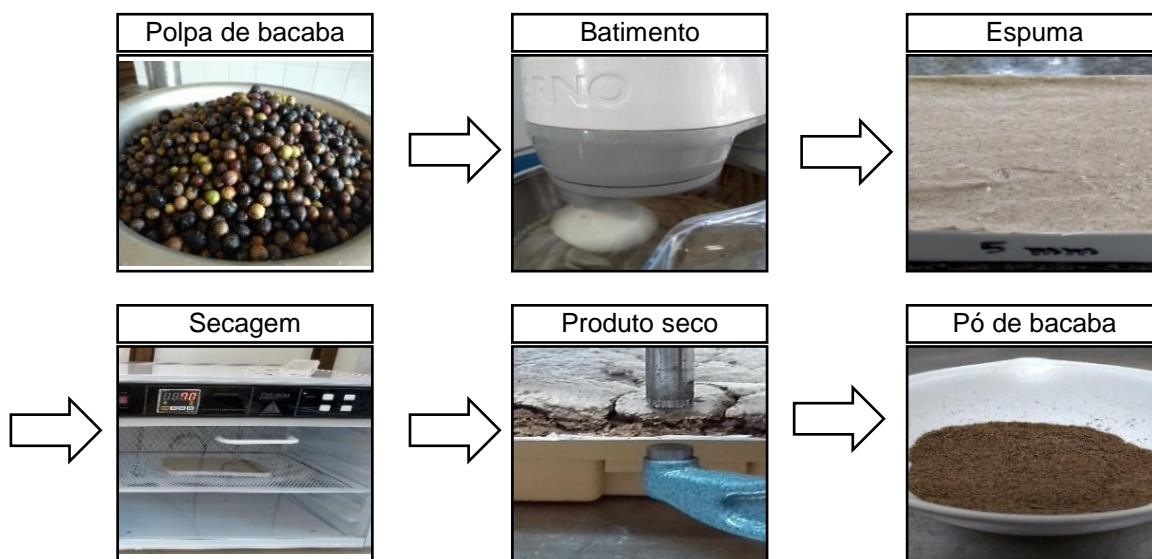
4.1.5 Ensaios de secagem

A espuma foi processada de acordo com a concentração ideal de aditivos, que foi selecionada plotando os dados de massa específica e estabilidade das espumas em superfície de resposta.

Para a secagem em camada de espuma (FMD) a espuma foi espalhada sobre bandejas de papel antiaderente com as bordas de polipropileno (comprimento 16 cm, largura 12 cm e espessuras de 5,10 e 15 mm). Utilizou-se um desidratador convectivo de bandejas (DAS Desidratadores, DS-600, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil) operando nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com uma velocidade de ar constante. A perda de umidade da espuma foi registrada pesando-se as bandejas em uma balança digital (precisão de 0,01 g) no tempo 0, e depois a cada 10 minutos até ser atingido o teor de umidade de equilíbrio (sem alteração de peso). O produto seco foi raspado das bandejas, pulverizado, embalado à vácuo em sacos de polietileno e armazenado em freezer a -18 °C. Triplicatas foram feitas para cada condição testada e calculado o valor médio. Na Fig. 2.3 é apresentado o fluxograma de obtenção do pó de bacaba.

A mesma espuma foi submetida à liofilização em camada de espuma (FMFD) utilizando-se um liofilizador (Liotop Freeze-Dryer L101, Liobras, São Carlos, Brasil) operando a -55 °C e faixa de pressão de 50-200 µHg.

Figura 2. 3-Fluxograma de etapas para obtenção do pó de bacaba por FMD.



4.2 Análises de qualidade dos pós de bacaba obtidos por FMD

As propriedades físico-químicas e atividade antioxidante dos pós de bacaba obtidos por FMD em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma foram analisados conforme descrito na sequência.

4.2.1 Cor

A cor dos pós foi determinada usando um colorímetro portátil (Konica Minolta CR 400, Singapura). O instrumento foi calibrado com um disco branco (padrão) e obtiveram-se os valores das coordenadas L^* , a^* e b^* . De acordo com o sistema CIELAB, o valor L^* representa a luminosidade (0 = preto, 100 = branco), a^* , varia do verde ao vermelho; e b^* , do azul ao amarelo. O ΔE ou variação de cor, H° (Ângulo Hue) ou tonalidade e C (Croma), foram calculados através das Eq. 5, 6 e 7.

$$\Delta E = (\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$C = (a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$H^\circ = \text{arc tg } b/a \quad (7)$$

4.2.2 Diâmetro médio de partícula

A distribuição de tamanho de partículas de cada um dos pós foi determinada usando peneiras da série Tyler com tamanhos de abertura de 841 μm , 420 μm , 177 μm , 149 μm e fundo.

4.2.3 Atividade de água (a_w)

A atividade de água (a_w) dos pós foi determinada usando um medidor portátil de atividade de água (HygroPalm, Rotronic, Suíça) a $20 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

4.2.4 Solubilidade

A solubilidade foi medida conforme descrito por Abbasi and Azizpour (2016) com algumas modificações. Pesou-se 1 g de amostra que foi diluída em 15 mL de água destilada, homogeneizada e centrifugada a 2500 g por 15 min, o sobrenadante foi transferido para uma placa de Petri que foi seca em estufa a 105°C por 5 h. A solubilidade foi calculada de acordo com a Eq. 8.

$$S = \left(\frac{m_2 - m_1}{V} \right) \times 100 \quad (8)$$

onde S é a solubilidade, V é o volume do sobrenadante, m_1 e m_2 são o peso da placa de Petri vazia e o peso da placa de Petri após 5 horas de secagem, respectivamente.

4.2.5 *Determinação da capacidade antioxidante in vitro*

Para a análise da capacidade antioxidante foi usado um método não competitivo, o conteúdo de fenólicos totais pelo reagente de Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965), e um método competitivo, o ensaio de Capacidade de Absorção de Radicais de Oxigênio - ORAC (OU; HAMPSCH-WOODIL; PRIOR, 2001).

O método de Folin-Ciocalteu é baseado em transferência de elétrons, onde o agente oxidante (sonda) é artificial e o seu consumo determina o final da reação. Já o método ORAC representa um mecanismo de reação de transferência de átomos de hidrogênio que utiliza um radical biológico como pró-oxidante, a reação ocorre em condições de pH e temperatura similares às fisiológicas e o decaimento da concentração de fluoresceína (sonda) é monitorado ao longo do tempo (HUANG; BOXIN; PRIOR, 2005).

Os extratos foram obtidos conforme Rodrigues; Mariutti; Mercadante (2013) através de extrações sucessivas de 0,10g de cada amostra de pó com 25 mL de uma mistura de metanol/água/ácido fórmico (80:20:0.5, v/v) por agitação em vórtex (Phoenix Lufenco, São Paulo, Brazil) durante 5 min em temperatura ambiente (25 ± 3 °C). Após cada extração os tubos foram centrifugados por 5 min à 5000 g e o sobrenadante reservado. Cinco extrações foram necessárias até que a ausência de compostos antioxidantes no extrato fosse verificada pelo teste do reagente de Folin-Ciocalteu. Os sobrenadantes foram combinados para a obtenção do extrato. Os extratos foram evaporados a vácuo (Laborota 4000, Heidolph, Germany) a 30 °C, liofilizados e armazenados a -40 °C. O extrato liofilizado foi suspenso em água Milli-Q (10 mg de extrato liofilizado mL de água⁻¹) antes da utilização.

A capacidade redutora das amostras foi determinada espectrofotometricamente (SINGLETON; ROSSI, 1965). Resumidamente, 1 mL de cada extrato foram adicionados a 9 mL de água destilada e 1 mL do reagente de Folin-Ciocalteu 1N. Após 4 minutos foram adicionados 10 mL de uma solução tampão de carbonato de sódio (70 g L⁻¹). Após 120 minutos de reação na ausência de luz e temperatura ambiente, as amostras foram lidas em espectrofotômetro (Ultrospec 3100 pro UV/visible, Amersham Biosciences, Cambridge, UK) a 765 nm. As medições foram

realizadas em triplicata para cada amostra e os valores calculados a partir de uma curva padrão de ácido gálico e expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 g de amostra (base seca, d.b.).

Para analisar a capacidade antioxidante (ORAC) dos extratos foi usada a metodologia de Huang *et al.*, (2002), com adaptações. Utilizou-se o antioxidante padrão Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) (Sigma Aldrich, St. Louis, Missouri, EUA), fluoresceína sódica (Sinty, São Paulo, Brasil), gerador de radical livre peroxila AAPH (2,2'-Azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride) (Sigma Aldrich, St. Louis, Missouri, EUA), fosfato de potássio monobásico anidro e fosfato de potássio dibásico anidro (Vetec, Rio de Janeiro, Brasil).

Este método verifica a capacidade sequestradora de um antioxidante frente a um radical peroxila induzido pelo AAPH a 37 °C. Em cada poço de microplaca foram adicionados 25 uL dos extratos previamente diluídos em tampão fosfato de potássio 75 mM e 150 uL da solução de trabalho de fluoresceína (81nM). A placa foi incubada por 10 min a 37 °C, sendo os últimos 3 min sob agitação constante. Após foram adicionados 25 uL da solução de AAPH (152 mM).

Para o monitoramento do decaimento da fluorescência foi utilizado um leitor de fluorescência (Enspire 2300, Multimode Plate Reader, Perkin Elmer, USA) a 37 °C por 90 min ou até atingir menos de 0,5% do valor inicial. Foram usados comprimentos de onda de excitação e emissão de 485 nm e 528 nm, respectivamente. Foi confeccionada uma curva padrão com Trolox (0 – 96 µM) e os resultados foram calculados a partir da área sob a curva de emissão de fluoresceína (OU; HAMPSCH-WOODIL; PRIOR, 2001) e expressos como µmol de Trolox equivalentes por g de amostra de polpa, espuma e pó de bacaba (µmol TE g⁻¹, base seca).

4.3 Formulação de sorvete com pó de bacaba

O pó de bacaba foi aplicado para a fabricação de sorvete em duas formulações, uma com o pó obtido por FMD e outra com o pó FMFD, cujos ingredientes e proporções são apresentados na Tabela 2.2, conforme Utpott *et al.* (2020), com adaptações. Após a pesagem, os ingredientes foram homogeneizados em um liquidificador (Philips Walita, 600W, Varginha, Brazil) em velocidade baixa por 5 minutos, em seguida utilizou-se uma sorveteira (Tramontina Express, Farroupilha, Brasil) para a incorporação de ar na massa em temperatura de congelamento (-30 °C). Os sorvetes

foram armazenados em potes de polietileno injetado de alta densidade (PEAD) a - 20 °C até a realização da análise sensorial para avaliação da sua aceitação.

Tabela 2. 2-Formulação de sorvete

Ingredientes	(%)
Água	56
Leite em pó integral	12
Açúcar	10
DPO 100 super frio Aromitalia®	9
Pó de bacaba	6
Glucosoft Aromitalia®	3
Creme de leite pasteurizado 48%	3
Glicose	1

O ingrediente DPO 100 super frio Aromitalia® é um pó à base de leite para gelato, já o Glucosoft Aromitalia® contém dextrose em pó e maltrodextrina.

4.4 Análise sensorial do sorvete elaborado com pó de bacaba

O painel sensorial foi realizado no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os sorvetes foram apresentados aos provadores em um recipiente codificado com três dígitos aleatórios, contendo aproximadamente 25 g do produto. As duas amostras foram avaliadas por 60 provadores não treinados (35 mulheres e 25 homens, com idades entre 18 e 59 anos). Os atributos (aparência, aroma, textura, sabor e aceitação global) foram pontuados numa escala hedônica de 9 pontos (de 1- desgostei muitíssimo para 9- gostei muitíssimo) de acordo com Meilgaard; Civille; Carr (2007). Antes da realização do teste o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS (Parecer nº. 3.510.113).

4.5 Extração de compostos bioativos dos pós de bacaba

Nessa etapa, os compostos bioativos do pó bacaba obtidos por FMD e FMFD e foram extraídos para avaliação dos efeitos da secagem, de acordo com as metodologias apresentadas a seguir.

4.5.1. Ácidos graxos

Para a quantificação de ácidos graxos (AG), primeiramente os lipídeos foram extraídos a frio (BLIGH; DYER, 1959) de 1 g de amostra, utilizando uma mistura a frio de três solventes: clorofórmio (5 mL), metanol (10 mL) e água destilada (4 mL). A homogeneização dos reagentes com a amostra foi realizada em agitador rotativo por 30 min. Em seguida adicionou-se clorofórmio (5 mL) e sulfato de sódio 1,5% (5 mL), homogeneizando-se por mais 2 minutos. Em funil de decantação foi recolhida a camada inferior contendo os lipídeos e o clorofórmio, sendo metade desse volume seco em estufa a 105 °C até a evaporação do solvente para o cálculo da concentração de lipídeos e a outra metade seca em nitrogênio para posterior esterificação dos ácidos graxos.

A esterificação foi realizada conforme Joseph; Ackman (1992), adicionando 1,5 mL de solução metanoica de NaOH 0,5M ao tubo de vidro com os lipídeos extraídos anteriormente. Após homogeneização em vórtex, o tubo foi aquecido em banho-maria a 100 °C por 5 minutos, resfriado, e adicionado 2 mL de trifluoreto de boro 13% (BF₃). O tubo contendo as amostras foi novamente aquecido em banho-maria a 100 °C por 30 minutos e resfriado. Na sequência foram adicionados isooctano (2 mL) e solução saturada de NaCl (5 mL), agitando-se em vórtex por 30 segundos após a adição de cada reagente. Após a separação das fases, a fase de isooctano contendo metil éster (fase superior) foi transferida para um vial para cromatografia gasosa e seco com nitrogênio gasoso comercial. Os vials foram mantidos sob congelamento (-18 °C) até injeção no cromatógrafo gasoso.

4.5.2. Carotenoides

O extrato de carotenoides foi obtido conforme Rodriguez-Amaya (2001), utilizando-se acetona (20 mL) para a extração dos carotenoides de 3 g de cada amostra, com homogeneização em T25 digital Ultra-Turrax® (IKA, São Paulo, Brazil). Após a homogeneização foi realizada a filtragem a vácuo e adicionado novamente o solvente. Esse procedimento foi repetido até a exaustão da cor na amostra (extração exaustiva). Posteriormente realizou-se o particionamento em funil de separação utilizando água destilada (até aproximadamente a metade do volume do funil) e uma mistura de éter de petróleo (50 mL) e éter etílico (50 mL). Por similaridade de polaridade os carotenoides e lipídios ficaram retidos nos éteres e foi realizada a lavagem das amostras com água destilada até que ficassem translúcidas. A fração etérea foi recolhida em béquer e acrescentado ao

mesmo volume obtido, KOH metanólico 10 % para a saponificação dos lipídeos e clorofila e desesterificação dos carotenoides. Após esse período o álcali foi removido por lavagem com água destilada e o extrato foi recolhido e concentrado ($T < 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) em evaporador rotativo (Heidolph, Laborota 4000, Schwabach, Alemanha), seco com N_2 e armazenado em frascos âmbar em freezer ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$).

4.5.3. *Compostos fenólicos*

Para a extração das antocianinas utilizou-se 0,5 gramas de amostra seguindo o protocolo de Zanatta *et al.* (2005). Foram feitas 5 diluições sucessivas em solução metanólica de HCl 1%, com homogeneização em T25 digital Ultra-Turrax® (IKA, São Paulo, Brazil) e filtração a vácuo, até as amostras não apresentarem mais cor. O extrato foi concentrado para um volume final de 2 mL em evaporador rotativo ($T \leq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$) e passado em filtro (Millex LCR 0,45 μm , 13 mm) para injeção imediata no cromatógrafo.

Os compostos fenólicos não-antociânicos foram extraídos da amostra (0,5 g) com uma mistura de metanol/água (80:20 v/v, acidificada com 0,1% de ácido fórmico) sob agitação em vórtex (Phoenix Lufenco, São Paulo, Brazil) durante 5 min ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Centrifugou-se (5 min/3000 g, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$) e os sobrenadantes foram recolhidos em balão. Repetiu-se esse procedimento cinco vezes para obter-se uma extração exaustiva dos compostos conforme teste prévio usando o reagente Folin-Ciocalteu. Os sobrenadantes foram combinados para obter o extrato final. O metanol nos extratos foi removido em rotaevaporador a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o extrato imediatamente injetado no HPLC (RODRIGUES; MARIUTTI; MERCADANTE, 2013).

4.6 Análises cromatográficas

4.6.1. *Cromatografia Gasosa (CG)*

A injeção dos ésteres metílicos dos AGs diluídos em hexano foi realizada em um cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama (GC/FID-2010, Shimadzu, Kyoto, Japão), equipado com uma coluna capilar de sílica fundida (Rtx-Wax, Restek, $30\text{ m} \times 0,25\text{ mm} \times 0,25\text{ }\mu\text{m}$). Foram seguidas as condições cromatográficas descritas por David; Vickers (2005), utilizando H_2 como gás de arraste. O tempo de retenção de cada ácido graxo foi observado para a

sua identificação comparando com uma mistura padrão (FAME-Mix 37, Sigma®) e a quantificação seguiu o método Ce 1b-89 da AOCS (1997).

4.6.2. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

Um cromatógrafo Agilent® (1100 Series, Santa Clara, USA), equipado com bomba quaternária (Agilent 1100 Series, modelo G1311A, Waldbronn, Alemanha) e detector UV-Vis (Agilent 1100 Series, modelo G1314B) foi empregado para obter a distribuição relativa dos carotenoides e antocianinas nas amostras.

Para a análise de carotenoides operou-se com uma coluna de fase reversa C30 polimérica (3 μm , 250 \times 4.6 mm i.d.; YMC, modelo CT99SO3-2546WT). Injetou-se 5 μL do extrato bruto resuspendido em MTBE, com exposição do frasco ao ultrassom (Unique, modelo USC 1400A) por 15 min e filtragem em filtro Millex LCR de 0,45 μm .

A corrida foi feita usando gradiente de eluição da fase móvel que consistia de água Milli-Q, metanol e MTBE, na proporção inicial de 5:90:5, atingindo aos 12 min 0:95:5, aos 25 min 0:89:11, aos 40 min 0:75:25, e aos 60 min 0:50:50 (v/v/v), numa taxa de fluxo de 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e temperatura da coluna de 22 °C.

A fim de obter-se a separação das antocianinas, empregou-se uma coluna de fase reversa C18 Shim-pak CLC-ODS (5 μm , 250 \times 4,6 mm i.d.; Shimadzu, Canby, USA). Foram injetados 5 μL do extrato, tendo como fase móvel ácido fosfórico aquoso 4 % /metanol com o gradiente linear deconcentração variando de 85:15 para 20:80 (v/v) durante os primeiros 25 min, tornando-se isocrática nos 15 min finais a uma taxa de 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e temperatura da coluna de 25 °C.

Para a avaliação dos PCs não-antociânicos foi seguido o protocolo de Rodrigues *et al.* (2013) usando um HPLC-PDA (Waters Alliance 2695, Milford, USA) equipado com um detector de matriz de fotodiodos (Waters 2998) e sistema de mistura de solventes quaternário. Utilizou-se uma coluna de fase reversa LiChrospher® RP-18, (5 μm , 250 \times 4,6 mm, Merck KGaA, Darmstadt, Germany) com uma taxa de fluxo de 0,7 mL / min e a uma temperatura de 29 °C. A fase móvel consistiu em solvente A [99,5:0,5 água/ácido fórmico, (v/v)] e solvente B [99,5:0,5 acetonitrila/ácido fórmico, (v/v)], a um gradiente linear de A/B de 99:1 (v/v) a 50:50 A/B em 50 minutos, e então para 1:99 (v/v) A/B após 5 min, retornando às condições iniciais aos 67 min.

Os cromatogramas obtidos foram processados nas faixas características para cada grupo, carotenoides monitorados a 450 nm, antocianinas a 520 nm, ácidos hidroxibenzóicos a 280 nm, ácidos hidroxicinâmicos a 320 nm e flavonóis a 360 nm. Para a quantificação dos compostos foi realizada a integração das áreas dos picos que foi correlacionada às suas concentrações através de curvas de calibração de padrões comerciais, construídas usando cinco diferentes concentrações. Os limites de identificação, quantificação e coeficiente de determinação dessas curvas são apresentados na Tabela S4.

4.6.3. Espectrometria de massas

Para obter-se os espectros de massas dos PCs presentes nas amostras foi utilizado um cromatógrafo (Shimadzu, Kyoto, Japão) com detector DAD (Shimadzu, SPD-M20A) acoplado a um espectrômetro de massa com analisador híbrido do tipo quadrupolo- tempo de voo e uma fonte de ionização por electrospray (ESI) (micrOTOF-Q II, Bruker Daltonics, Bremen, Alemanha) operando no modo de ionização negativo.

Antes da injeção no equipamento os extratos foram purificados e concentrados por extração em fase sólida (SPE) conforme Bochi; Godoy; Giusti (2015). Utilizou-se um cartucho Strata® C-18-E (Phenomenex, Torrance, USA), previamente ativado com metanol e condicionado com água acidificada (0,1% (v/v) de ácido fórmico). Foram realizadas duas lavagens com água acidificada com ácido fórmico (0,1% (v/v)), utilizando 2 mL de metanol acidificado (0,1% (v/v) de ácido fórmico) para a eluição do extrato purificado.

Esses extratos foram injetados no HPLC-DAD-MS/MS e os PCs não antociânicos separados em uma coluna de fase reversa 250 mm × 4.6 mm i.d., 4 µm, Synergi Hydro-RP (Phenomenex, Torrance, USA). As condições cromatográficas seguiram o descrito por Rodrigues *et al.* (2013) com o espectrômetro de massa operando na faixa de varredura de m/z 100 a 1500, no modo automático, com a energia de fragmentação variando de 35 a 50 eV.

4.7 Isotermas de equilíbrio dos pós obtidos por FMD e FMFD

O método estático gravimétrico foi usado para a construção das isotermas de adsorção, empregando-se oito soluções salinas saturadas (LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, Mg (NO₃), NaCl, KCl e K₂SO₄) para a obtenção de diferentes umidades relativas, que variaram na faixa de 11 a 97 % (GREENSPAN, 1977). As soluções (20 mL) foram distribuídas em potes herméticos de

vidro. Dentro dos potes, sobre uma plataforma de policloreto de vinila foram colocadas as amostras em triplicata (1,5 g de cada), acondicionadas em cápsulas de alumínio (Figura 2.4). Para prevenir o crescimento de fungos durante o armazenamento, timol cristalino foi colocado nos frascos com alta umidade relativa ($a_w > 0,5$). Os potes foram acondicionados em um equipamento termicamente isolado, com circulação de ar (BOD NL-41-01 A, New Lab, Piracicaba, SP, Brasil) mantido na temperatura de $25 \pm 0,3$ ° C (THAM *et al.*, 2016). As amostras foram pesadas duas vezes por semana em uma balança analítica até a massa tornar-se constante entre duas pesagens sucessivas (± 0.001 g). A umidade final (em base seca) da amostra foi determinada pelo método de estufa, metodologia nº. 934.06 (AOAC, 1990) obtendo-se os valores de umidade de equilíbrio, que eram correlacionados com a atividade de água (MASAVANG; ROUDAUT; CHAMPION, 2019).

Figura 2. 4 Aparato para determinação das isotermas de equilíbrio.



Fonte: O autor, 2019.

Para a construção das isotermas de sorção os dados experimentais foram ajustados ao modelo de Guggenheim, Anderson e de Boer (GAB) Eq. 9, que correlaciona o teor de umidade de equilíbrio dos pós para cada temperatura com a respectiva atividade de água, obtendo-se o valor de umidade de monocamada.

$$X_e = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} a_w}{[(1 - K_{GAB} a_w)(1 - K_{GAB} a_w + C_{GAB} K_{GAB} a_w)]} \quad (9)$$

Onde X_e é a umidade de equilíbrio (% peso seco), X_m é a umidade de monocamada, C_{GAB} e K_{GAB} são constantes do modelo e a_w é a atividade de água.

Os parâmetros dos modelos de sorção foram estimados a partir dos resultados experimentais usando a análise de regressão não linear.

4.8 Análises térmicas dos pós obtidos por FMD e FMFD

Para determinar a temperatura de transição vítrea (T_g) dos pós obtidos por FMD e FMFD foi utilizada a técnica da calorimetria de varredura diferencial (Differential Scanning Calorimetry - DSC), que registra mudanças no calor específico durante um evento térmico a que uma amostra foi submetida (BHANDARI; HOWES, 1999).

Foi usado um calorímetro (Perkin Elmer Corp, Shelton, CT, EUA) acoplado com um sistema de refrigeração de nitrogênio líquido (Cryofab INC, EUA) e calibrado com índio (temperatura de fusão 156,6°C, energia de transição 28,45 J/g). Nitrogênio seco foi usado como gás de purga (20 mL.min⁻¹). Aproximadamente 5 mg de pó de bacaba obtida após a estabilização de cada amostra utilizada para a construção das isotermas de equilíbrio foi colocada em uma “panela” de alumínio hermeticamente selada. Outra “panela” igual e vazia foi utilizada como referência. Ambas foram resfriadas a - 20 °C e posteriormente aquecidas até 120 °C, a uma taxa de 10°C.min⁻¹. O Software Perkin Elmer Pyris, versão 10.0 (Perkin Elmer Inc., Shelton, CT, EUA) foi usado para calcular a temperatura de transição vítrea (T_g). As análises foram realizadas em duplicata.

Para verificar o perfil de decomposição térmica dos pós de bacaba foi realizada a análise termogravimétrica (TGA). Os termogramas foram obtidos em um analisador termogravimétrico (TGA-1, Perkin Elmer Inc., Shelton, CT, EUA) com taxa de aquecimento de 25-600 °C, 10 °C min⁻¹, sob atmosfera dinâmica de nitrogênio (vazão de 20 ml min⁻¹).

4.9 Mudanças no perfil de ácidos graxos dos pós de bacaba durante quatro meses de armazenamento

Os pós de bacaba obtidos por FMD e FMFD foram acondicionados em diferentes embalagens (laminada e transparente) e atmosfera (com e sem vácuo), contendo alíquotas de 2 g de cada amostra. Os pacotes foram armazenados durante 4 meses em estufa a 25 ± 2 °C, expostos à luz fluorescente com uma intensidade de 900-1000 lux (MS6610 da Akso) durante 12 horas por

dia. As análises de ácidos graxos do pó foram realizadas no primeiro dia e, posteriormente, a cada 30 dias, conforme descrito anteriormente nas seções 4.4.1 e 4.5.1.

4.10 Morfologia das partículas

A aparência e a morfologia das partículas dos pós foram estudadas através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), no Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As amostras foram fixadas em stubs, com fita de carbono e metalizadas com uma liga de ouro, cuja espessura de recobrimento foi de 25 nm. As amostras foram então observadas em um microscópio eletrônico de varredura JSM-6060 (JEOL, EUA), operando com tensão de trabalho de 5 kV, em ampliações de 100, 300, 600 e 1000 x.

4.11 Análises Estatísticas

Para avaliação das espumas foi realizado um planejamento fatorial completo 2^2 com três pontos centrais e quatro axiais, gerando dezenove experimentos (Montgomery, 2000). A metodologia de superfície de resposta (RSM) foi aplicada para avaliar os efeitos do tipo e da concentração de aditivo nas respostas analíticas para densidade, estabilidade e capacidade de formação de espuma. As análises de qualidade do produto foram feitas em triplicata e os resultados expressos em média \pm desvio padrão. A comparação dos valores médios entre os tratamentos foi realizada por análise de variância (ANOVA) de um fator com teste de Tukey ($p < 0,05$) seguida da análise de componentes principais (PCA). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistica 12 (Statsoft Inc., Tulsa, USA).

Todas as análises de compostos bioativos foram feitas em triplicata e os resultados expressos em média \pm desvio padrão. A comparação dos valores médios entre os tratamentos foi realizada por análise de variância (ANOVA) de um fator com teste de Tukey ($p < 0,05$) seguida da análise de componentes principais (PCA), uma análise estatística multivariada que permite o reconhecimento de padrões existentes entre os tratamentos. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistica 12 (Statsoft Inc., Tulsa, USA).

CAPÍTULO 3: RESULTADOS E DISCUSSÃO

5 FOAM-MAT DRYING OF BACABA (*Oenocarpus bacaba*): PROCESS CHARACTERIZATION, PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, AND ANTIOXIDANT ACTIVITY

FOOD AND BIOPRODUCTS PROCESSING 126 (2021) 23-31



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Food and Bioproducts Processing

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fbp

IChemE
ADVANCING
CHEMICAL
ENGINEERING
WORLDWIDE

Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity



Carla Dettenborn de Cól^{a,b}, Bruna Tischer^a, Simone Hickmann Flôres^a,
Rosane Rech^{a,*}

^a Federal University of Rio Grande Do Sul, Food Science and Technology Institute, Porto Alegre, RS, Brazil

^b Federal Institute of Education Science and Technology of Tocantins, Paraíso do Tocantins, TO, Brazil

Please, cite it as:

Carla Dettenborn de Cól, Bruna Tischer, Simone Hickmann Flôres, Rosane Rech,
Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical
properties, and antioxidant activity, *Food and Bioproducts Processing*, Volume 126, 2021, Pages
23-31, ISSN 0960-3085, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.12.004>

Abstract

This work studied the foam-mat drying (FMD) of bacaba pulp, evaluating the parameters of foam-forming and the effects of thickness layer (5-15 mm) and temperature (50-70 °C) during the drying process. The results showed the need for an emulsifier, in addition to the foaming agent, to obtain a low density and stable foam. The powder showed high content of proteins (15.9 ± 0.6 %), fibers (49.6 ± 0.4 %), and lipids (35.6 ± 0.2 %). The combination of the lowest drying temperature

and thickness resulted in a final product with good solubility ($37.5 \pm 1.2 \%$) and a high antioxidant capacity ($525 \pm 13 \mu\text{mol TE g}^{-1}$), which suggests a great potential for use in the development of functional products.

Keywords: bacaba; foam-mat drying; powder; antioxidant capacity; diffusivity.

5.1 Introduction

The Brazilian flora is rich in fruits with high nutritional value but only consumed locally, and whose commercial use is minimal or nonexistent. Bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.) is a fruit produced by a palm tree native to the Amazon rainforest whose clusters are collected in the extractive system and occasionally traded in street markets. The fruits are purple-round with about 1.5 cm in diameter. Their processing with water produces an oleaginous and mucilaginous beverage with a yellowish-white color. This drink is also known as bacaba-wine or bacaba-milk and has a pleasant taste, similar to the worldwide known açai (*Euterpe oleracea*) (ABADIO FINCO *et al.*, 2012; PUERARI; MAGALHÃES-GUEDES; SCHWAN, 2015; SMITH, 2015).

Previous studies reported that bacaba has a high content of bioactive compounds (flavonoids, anthocyanins) and great antioxidant activity; thus, it has a high potential to be used as a functional ingredient for food and pharmaceutical applications (ABADIO FINCO *et al.*, 2012). The bacaba is seasonally available. As its pulp is highly perishable, the use of a drying process is an alternative to preserve its antioxidant properties, concentrate its compounds, increase its useful life, reduce transport and storage costs, and allow for several industrial applications (NAKNAEN; CHAROENTHAIKIJ; KERDSUP, 2016).

Spray-drying is a widely used technique for producing powdered foodstuffs but has limited applicability for pulps and fruit juices with high viscosity. A study on spray-drying of açai pulp reported clogging and losses due to product adhesion to the drying camera's inner walls, being necessary a pre-filtration step. However, the reduction in its total solids content resulted in a significant nutritional loss and low energy efficiency (TONON *et al.*, 2009a). Like the açai pulp, the bacaba pulp is rich in lipids and fibers (PUERARI; MAGALHÃES-GUEDES; SCHWAN, 2015; SANTOS *et al.*, 2013b) and will probably face the same problems during spray-drying.

Lyophilization is another drying process used for heat-sensitive foods; it consists of freezing the material and reducing the pressure to allow the water sublimation directly from the solid to the

gaseous phase. It is a slow and costly technology compared to other techniques due to the equipment's energy expenditure, being applied to products with high-added value (ABBASI; AZIZPOUR, 2016).

Many studies have recently reported using the foam-mat drying (FMD) technology to dry heat-sensitive liquid or semi-solid foods by transforming them into a stable foam using additives such as emulsifiers and foam stabilizers. Subsequently, the foam is spread on mats as thin layers and is dehydrated in mild temperatures, most often by hot air drying at atmospheric pressure. Still, the dehydration can also be carried out using microwave-drying (QADRI; SRIVASTAVA, 2015), vacuum-drying (SRAMEK *et al.*, 2015), or freeze-drying (SEERANGURAYAR *et al.*, 2017). The drying rate is high due to the large surface area for moisture evaporation and the foam porosity, facilitating water movement by diffusion and capillarity (THUWAPANICHAYANAN; PRACHAYAWARAKORN; SOPONRONNARIT, 2012). Afterward, the foam is disintegrated to obtain a powdered product similar to the ones obtained by spray-drying and freeze-drying.

The FMD technology has already been applied for several food products, including mango (CHAUX-GUTIÉRREZ *et al.*, 2017a), cantaloupe pulp (SALAH; MOHEBBI; TAGHIZADEH, 2017), banana (NAKNAEN; CHAROENTHAIKIJ; KERDSUP, 2016; THUWAPANICHAYANAN; PRACHAYAWARAKORN; SOPONRONNARIT, 2012), yogurt (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012), jambolan juice (CARVALHO *et al.*, 2017), and yacon (FRANCO *et al.*, 2015b).

Considering that the bacaba fruit has high nutritional value and functional potential, and studies about its processing are scarce, this study aims to develop a dehydration process of the bacaba pulp by foam-mat drying.

The foaming was evaluated by studying the emulsifier and foaming agent's effects on foam density and stability. The FMD process was performed using a combination of three foam thicknesses and three temperatures to evaluate the impact of these process parameters on the dehydration process and the bacaba powder characteristics. The moisture effective diffusivity was calculated for each drying condition. The powders were characterized by their physicochemical properties and antioxidant capacity.

5.2 Material and methods

5.2.1. Preparation and characterization of bacaba pulp

The bacaba fruits were acquired in a street market located in Palmas, Tocantins State, Brazil (10°11'52.4"S; 48°19'45.4"W), in September 2017. The raw fruits were manually selected by visual inspection (purple peel), washed in running tap water, and sanitized (immersion in sodium hypochlorite 100 ppm solution for 15 min). The pulp extraction methodology was adapted from Puerari *et al.* (2015). The fruits were immersed in water at 50 °C in a volume ratio of 1:1 for 15 min and then transferred to a vertical blade extractor (DES-20, Braesi, Caxias do Sul, Brazil) to separate the peels and seeds. The pulp was packed in polyethylene bags, sealed under vacuum, and stored in a freezer (-18 °C) protected from light.

The proximate composition of the bacaba pulp was determined according to the protocols of AOAC (1990) for moisture (method n°. 934.06), ash (method n°. 923.03), lipids (method n°. 960.39), and proteins (method n°. 960.52, using the correction factor of 6.25). The carbohydrate content was calculated by difference on a dry weight (d.w.). The total dietary fiber was measured by the enzymatic-gravimetric method in a dried and degreased sample (method n°. 985.29). The total soluble solids content was determined using a portable digital refractometer (Pocket Refractometer, Model Pal-1, Atago, Brazil), and the results were expressed as the percentage of total weight (method n°. 932.12). The pH was measured by a bench pH-meter (Model DM-22, Digimed, Brazil). The total solids content (%) was determined by subtracting the moisture content from 100 %.

5.2.2. Foam preparation and characterization

Based on a literature review, different foaming agents (albumin, Super Liga Neutra®, or carboxymethylcellulose), combined or not with an emulsifier (Emustab® or lecithin), were tested to evaluate bacaba foamability using different additives. According to our preliminary investigations (data not shown), powdered egg albumin (Albumina, Naturovos, Salvador do Sul, Brazil) was the most suitable foaming agent, and it was necessary the addition of an emulsifier in the formulation (Emustab Selecta®, Duas Rodas Industrial Ltda., Jaraguá do Sul, Brazil). There was no foaming using only one of the additives or other combination of additives. The

emulsifying/stabilizing agent used is composed of water, monoglycerides of distilled fatty acids (E 471), fatty acid salt (E 470), sorbitan monostearate (E 491), and polyoxyethylene sorbitan monostearate (E 435).

The foams were prepared by mixing the pulp (8.35 % solids, mass fraction) with the additives under whipping using a domestic planetary mixer (300 W, Arno SX80, São Paulo, Brazil) at maximum speed for 20 min (FRANCO *et al.*, 2015a). Both egg albumin powder (EA) and Emustab® (EMU) were simultaneously added to 100 g of frozen bacaba pulp at the quantities of 2.0, 2.88, 5.0, 7.12, or 8.0 g according to a 2^2 central composite design with two replicates at the factorial and axial points, and three replicates at the central point (Supplementary Table 1).

The treatments were identified according to the concentration of the additives. For example, EA(2.0)-EMU(5.0) is the code for foam formed using 2.0 g of EA and 5.0 g of EMU. The foams were immediately analyzed.

The densities of the pulp and the foams were determined by weighting a fixed volume of pulp or foam in a graduated cylinder (KARIM; WAI, 1999). The foam stability index (%) is the difference between the initial foam volume (v_{0foam}) and the final foam volume (v_{foam}) after 120 min, according to Eq. 5.1 (FRANCO *et al.*, 2015a).

$$\text{Stability index (\%)} = \frac{v_{foam}}{v_{0foam}} \times 100 \quad (5.1)$$

5.2.3. Foam-mat drying

The dehydration kinetics was evaluated at the temperatures of 50, 60, and 70 °C in a convective tray dehydrator (DS-600, DAS Dehydrators, São Paulo, Brazil), with constant air velocity of 1.25 m s^{-1} . The selected foam was spread over non-stick paper trays with polypropylene edges (length 16 cm, width 12 cm, and thicknesses of 5, 10, and 15 mm). Each treatment was identified by the thickness of the foam layer and the drying temperature. For example, BPL5T50 is the code for bacaba powder (BP) dried under the conditions 5-mm thickness layer (L) and temperature (T) of 50 °C.

During the drying process, the moisture loss was recorded by weighing the trays on a scale (0.01 g) at time 0, and then every 10 min until constant weight. The dried product was scraped from the

trays, crushed with mortar and pestle, vacuum packed in polyethylene bags, and stored (-18 °C) in the dark for further analysis.

Samples of raw bacaba pulp and bacaba foam were also lyophilized (Liotop Freeze-Dryer L101, Liobras, São Carlos, Brazil) to be used as a control for the bacaba powder analysis.

5.2.4. *Drying kinetics and water effective diffusivity*

The drying kinetics was obtained from the plots of the moisture ratio (MR , Eq. 5.2) as a function of the drying time (t) for each temperature and layer thickness (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2003).

$$MR = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (5.2)$$

In Eq. 2, MR is the moisture ratio, dimensionless; X is the moisture content at time t , X_0 is the initial moisture content, and X_{eq} is the equilibrium moisture content, obtained by linear regression of the experimental data of drying rate versus time at the end of the drying process. The moisture content was expressed in kilograms of water per kilogram of dry matter (kg kg^{-1}).

The effective diffusivity of the water in the foams was calculated using Fick's diffusion equation (Eq. 5.3) applied for an infinite flat plate (CRANK, 1975):

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4L^2} D_{eff} t\right) \quad (5.3)$$

where D_{eff} is the effective moisture diffusivity ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), and L is the layer thickness (m). The layer thickness was measured at the beginning (L_0) and the end (L_f) of the drying process using an analogic external micrometer (Mitutoyo, São Paulo, Brazil). To take into account the shrinkage, the layer thickness was considered to vary linearly with MR (Eq. 5.4).

$$L = MR(L_0 - L_f) + L_f \quad (5.4)$$

The effective diffusivity was estimated by fitting the experimental data to Equations 6.3 and 6.4 using EMSO Process Simulator (Environment for Modeling, Simulation, and Optimization; academic beta version 0.10.9) software (SOARES; SECCHI, 2003), free download for educational use at <https://www.enq.ufrgs.br/trac/alsoc>.

5.2.5. Physicochemical properties of bacaba powder

The centesimal composition was determined according to the methodologies specified above (item 6.2.1). The water activity (a_w) was determined by a portable water activity meter (HygroPalm, Rotronic, Bassersdorf, Switzerland) at 20 ± 1.5 °C. The particle size distribution of was determined using Tyler series screens with aperture sizes of 841 μm , 420 μm , 177 μm , and 149 μm .

The color was determined using a portable colorimeter (Konica Minolta, CR 400 model, Singapore) calibrated with a white disk. The color was expressed by the coordinates L^* , a^* and b^* , according to the CIELab system. The value L^* represents the luminosity (0 = black, 100 = white), a^* ranges from green (-) to red (+), and b^* from blue (-) to yellow (+). The values of ΔE (color variation compared to the freeze-dried foam), H° (Hue angle) or hue and C (Chroma) were calculated using Equations 5.5, 5.6 and 5.7 (MCGUIRE, 1992; ROBERTSON, 1990).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (5.5)$$

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (5.6)$$

$$H^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5.7)$$

Solubility was measured as described by Abbasi and Azizpour (2016) with some modifications. A sample of 1 g was added to 15 mL of distilled water, homogenized and centrifuged (2500 $g/15$ min), the supernatant was transferred to a petri dish and dried at 105 °C for 5 h. The solubility was calculated according to Equation 5.8.

$$S = \left(\frac{m_2 - m_1}{V}\right) \times 100 \quad (5.8)$$

where S is the solubility, V is the volume of the supernatant, m_1 and m_2 are the weight of the empty petri dish and the petri dish after drying, respectively.

5.2.6. In vitro antioxidant capacity

The antioxidant compounds were extracted according to Rodrigues *et al.* (2013). The extracts were obtained by successive extractions of 0.10 g of powder sample with 25 mL of a mixture of methanol:water:formic acid (80:20:0.35, v:v:v) by vortex (Phoenix Lufarco, SP, Brazil) for 5 min at room temperature 25 ± 3 °C. After each extraction, the tubes were centrifuged for 5 min at

5000 g, and the supernatant was reserved. Five extractions were required until the absence of antioxidant compounds in the extract was verified through the Folin-Ciocalteu reagent. The supernatants were combined to obtain the final extract. The extracts were evaporated in a vacuum rota evaporator (Heidolph, Laborota 4000, Schwabach, Germany), at 30 °C, lyophilized, and stored at -40 °C for ORAC (Oxygen Radical Absorption Capacity Assay) analysis.

5.2.7. Total phenolic content (TPC)

The reducing capacity of the samples was determined spectrophotometrically (SINGLETON; ROSSI; JR, 1965). Briefly, 1 mL of each methanolic extract described above was added to 9 mL of distilled water and 1 mL of the Folin-Ciocalteu reagent (1 N). After 4 min, 10 mL of a sodium carbonate buffer solution (70 g L⁻¹) was added. After 120 min of reaction in the absence of light and room temperature, the samples were read in a spectrophotometer (Ultrospec 3100 pro UV/visible, Amersham Biosciences, Cambridge, UK) at 765 nm. The measurements were performed in triplicate for each sample and the TFC was determined using a standard curve of gallic acid and expressed as milligrams of gallic acid equivalents per gram of dry sample (mg GAE g⁻¹).

5.2.8. Antioxidant Capacity (ORAC)

The ORAC assay procedure was adapted from the methodology of Huang *et al.* (2002). The lyophilized extract was suspended in Milli-Q water (1:1) and diluted to 150 µg g⁻¹ before use. The ORAC method verifies the sequestering ability of an antioxidant against a peroxy free radical generator (AAPH) at 37 °C. In each well of microplate were added 25 µL of the extracts previously diluted in 75 mM potassium phosphate buffer, prepared using anhydrous monobasic potassium phosphate and anhydrous dibasic potassium phosphate (Vetec, Rio de Janeiro, Brazil) and 150 µL of the working fluorescein solution (81 nM), prepared with sodium fluorescein (Sinty, São Paulo, Brazil). The plate was incubated for 10 min at 37 °C, the last 3 min under constant stirring. Afterward, 25 µL of the AAPH solution (152 mM) [(2,2'-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride, Sigma Aldrich, USA] was added.

A fluorescence reader (Enspire 2300, Multimode Plate Reader, Perkin Elmer, Santa Clara, USA) was used to monitor fluorescence decay at 37 °C for 90 min. Excitation and emission wavelengths

of 485 nm and 528 nm, respectively, were used. A standard curve with Trolox [(6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid), Sigma Aldrich, St. Louis, USA] was made with concentrations of 0 to 96 μM , and the results were calculated from the area under the fluorescein emission curve and expressed as micromols of Trolox equivalent per gram of powders ($\mu\text{mol TE g}^{-1}$, dry weight).

5.2.9. Statistical analysis

The effects of additive type and concentration on the foam density and stability were evaluated using a 2^2 central composite design, and analyzed by a second-order regression model using RStudio (RStudio Inc., Boston, USA) with rsm package (LENTH, 2009). The analyzes for the characterization of the bacaba pulp and product quality were performed in triplicate. Comparison of means among treatments was performed by Tukey's test ($\alpha = 0.05$) using Statistica 10.0 (Statsoft Inc., Tulsa, USA).

5.3 Results and discussion

The bacaba pulp showed a low soluble solids content ($2.8 \% \pm 0.7$) and low acidity (pH of 5.4 ± 0.1) (Table 3.2); it also presented a high content of fibers ($49.6 \pm 0.4 \%$, d.w.) and lipids ($35.6 \pm 0.2 \%$, d.w.), indicating that the pulp is an oil-in-water emulsion, where the oil is the dispersed phase. The moisture content of $91.6 \pm 0.9 \%$ depends on the amount of water used during the extraction process.

5.3.1. Evaluation of bacaba foams

The bacaba foam density (Fig 3.1a) was affected by both the egg albumin and the emulsifier ($R^2=0.959$, p -value < 0.001). The density ranged from 0.57 g cm^{-3} to 0.99 g cm^{-3} . The lowest density was achieved at high emulsifier concentrations (5.0 and 7.12 g per 100 g of bacaba pulp). The foam stability (Fig. 3.1b) was also affected by both the egg albumin and the emulsifier ($R^2=0.943$, p -value < 0.001), with the lowest stabilities (94 %) observed with low egg albumin at the treatments EA(2.88)-EMU(2.88) and EA(2.0)-EMU(5.0). All remaining formulations presented stability above 97 % after the tested period; thus, the foam proved to be mechanically stable, an essential aspect for efficient drying (KARIM; WAI, 1999).

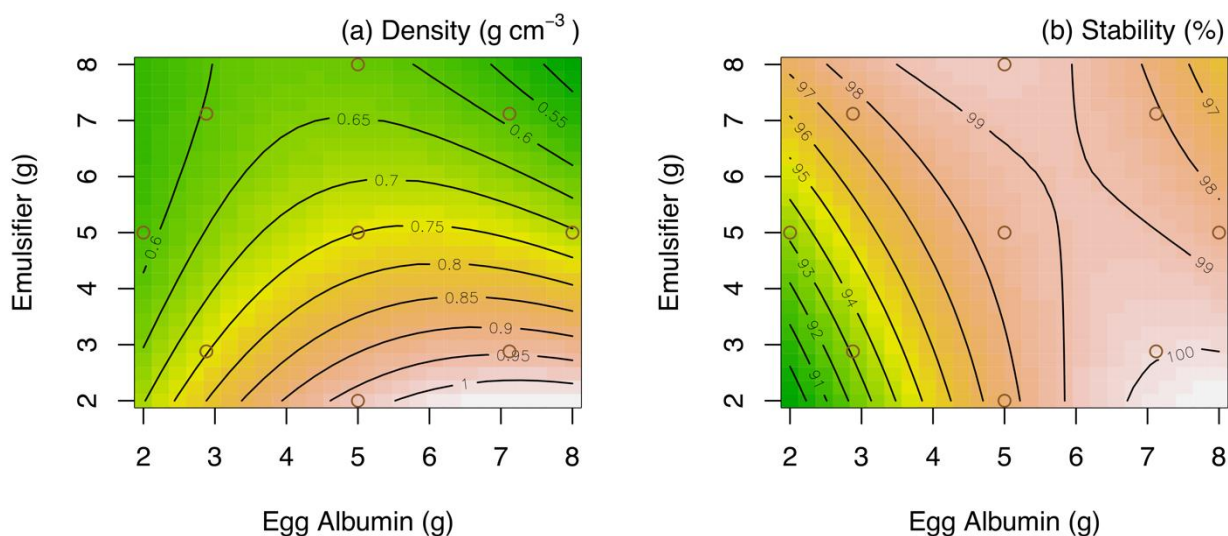


Figure 3. 1-Contour plots for the effect of Egg Albumin and Emulsifier on the (a) density (g cm⁻³) and (b) stability (%) of bacaba foam.

The egg albumin (EA) proteins have high water solubility; during foam formation, they diffuse into the air/water interface where they are adsorbed through hydrophobic interactions, trapping the gas in a lamellar film formed between the aqueous and the gas phases (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007).

The presence of a low molecular weight surfactant, such as monoglycerides (EMU), helps to reduce the interfacial tension between the air, oil, and aqueous phases, as well as to improve the stability by increasing the resistance of the films to the strain caused by the liquid (AZIZPOUR *et al.*, 2014; FRANCO *et al.*, 2015a).

Foam density and stability are critical variables for foam drying processes. Mechanically and thermodynamically stable foams allow rapid and efficient water removal (ABBASI; AZIZPOUR, 2016). This variable is influenced by the physical and chemical properties of the interface and the continuous phase. The use of soluble proteins, such as albumin, results in the formation of a viscoelastic film that prevents the rupture and coalescence of the gaseous bubbles dispersed in the liquid phase. The low density of the foam, achieved by incorporating air during whipping, facilitates water removal (KUDRA; RATTI, 2006).

5.3.2. *Drying characteristics of bacaba foam mats*

The foam-mat drying (FMD) of the bacaba pulp was performed using the formulation EA(2.88)-EMU(7.12), which presented the lowest density and highest stability ($p < 0.05$).

As expected, higher air temperatures increased the drying rates in all thickness layers (Fig. 2a).

The bacaba foam dehydration curves (Fig. 2b, 2c and 2d) show only falling-rate period, suggesting diffusion as the most likely physical mechanism to explain the internal moisture movement in the product (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2003). Similar behavior was observed for the FMD of yacon (FRANCO *et al.*, 2017).

The shortest time required to reach the equilibrium moisture was 4 h, at 70 °C and thickness of 5 mm. On the other hand, the binomial highest thickness (15 mm) and the lowest temperature (50 °C) was the least efficient condition, taking 9.8 h for weight stabilization. In the tested conditions, the thickness had a stronger influence than the temperature in the drying time, a result also reported by Thuwapanichayanan *et al.* (2012).

Karim and Wai (KARIM; WAI, 1999) monitored the foam's temperature during drying of starfruit purée and verified that it increased during the first 10 min. After this period, a slow variation of the foam temperature was observed, indicating that the thermal energy was mainly being used to evaporate the continuous layer of water on the foam surface. According to Franco *et al.* (2017), this mechanism would limit the drying rate, although diffusion is the mechanism that governs the internal movement of moisture.

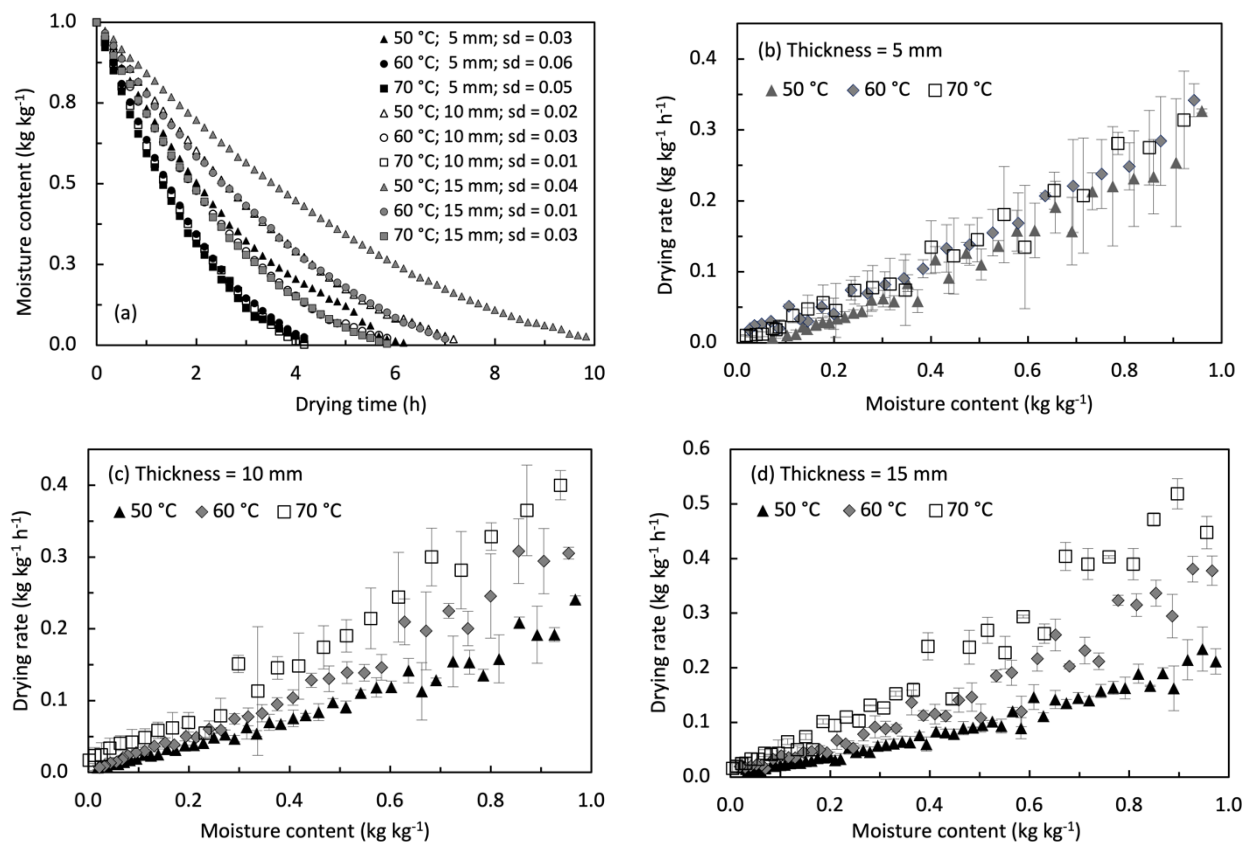


Figure 3.2-Effect of foam thickness and incoming air temperature on the moisture content (a) and drying rate of dried bacaba pulp in the foam layer of 5 mm (b), 10 mm (c) e 15 mm (d). The code "sd" in plot (a) legend stands for the data's average standard deviation.

FMD drying is faster than traditional tray drying due to the foam's high porosity; the water movement from the inside to the surface occurs by capillarity through the liquid lamellae separating the air bubbles. As a result, studies on FMD have reported high values of effective diffusivity (RATTI; KUDRA, 2006; TEOH; LASEKAN; AZEEZ, 2016).

The effective diffusivity (D_{eff}) of water in the bacaba foam during the drying process ranged between 0.49 and $6.23 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Table 3.1), decreasing with the decrease in foam thickness due to shrinkage during the FMD process. The 5-mm thickness foams ended the drying process as a compact solid layer, hampering the moisture movement, while the 10-mm and 15-mm foams formed a light porous layer. The shrinkage was non-uniform through the layer surface, causing inaccuracies in the final thickness measures.

The experimental results suggest that shrinkage tended to be higher at the lower thickness and higher temperatures. Additionally, cracks appeared in the foam layer during the FMD process, increasing the heat transfer and mass transfer areas (KUDRA; RATTI, 2006) and, thus, affecting the effective diffusivities during the FMD process and hindering the visualization of the expected increase in the effective moisture diffusivity with the temperature. The cracks also altered the shrinkage pattern through the samples; the shrinkage was lower where cracks occurred. Nevertheless, calculating the effective diffusivities considering shrinkage showed very high determination coefficients (R^2 , Table 3.1).

Table 3. 1 - Effective moisture diffusivity of foam-dried bacaba powder

Thickness	Drying temperature								
	50 °C			60 °C			70 °C		
	Shrinkage (%)	$D_{eff} \times 10^{-9} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$	R ²	Shrinkage (%)	$D_{eff} \times 10^{-9} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$	R ²	Shrinkage (%)	$D_{eff} \times 10^{-9} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$	R ²
5 mm	46 ± 1.8 ^{B,a}	0.50 ± 0.01 ^{A,B,c}	0.970	45 ± 2.5 ^{B,a}	0.58 ± 0.05 ^{A,b}	0.993	55 ± 2.0 ^{A,a}	0.50 ± 0.02 ^{B,c}	0.986
10 mm	19 ± 2.4 ^{B,b}	2.6 ± 0.2 ^{B,b}	0.993	14 ± 1.3 ^{B,b}	4.0 ± 0.3 ^{A,a}	0.992	38 ± 0.25 ^{A,b}	3.4 ± 0.1 ^{A,B,b}	0.996
15 mm	28 ± 2.8 ^{B,b}	4.2 ± 0.2 ^{A,B,a}	0.996	48 ± 0.8 ^{A,a}	3.1 ± 0.2 ^{B,a}	0.991	33 ± 6.27 ^{A,B,b}	6.2 ± 0.6 ^{A,a}	0.997

Results are expressed as mean ± standard deviation; means followed by the same uppercase letter in the row and lowercase letter in the column do not differ statistically from each other (Tukey's test, $\alpha = 0.05$).

5.3.3. Properties of foam-dried bacaba powder

The FMD bacaba powders presented high lipid content (39.0 ± 0.4 %) and fiber content (39.8 ± 0.1 %). The average concentration of proteins of 15.9 ± 0.6 % and ash 2.78 ± 0.1 % 6117.15 was significantly higher ($p < 0.05$) than the pulp (Table 3.2), caused by the addition of egg albumin as a foaming agent in the product formulation. The commercial egg albumin comprises 90 % protein, 4.98 % ash, and 0.06 % lipids. (CHAUX-GUTIÉRREZ; PÉREZ-MONTERROZA; MAURO, 2019). Teoh *et al.* (2016) also reported an increase in cornflour protein content after the addition of egg albumin powder.

In the yacon powder obtained by FMD, mineral residue content ranged from 4.37 to 5.08 g 100 g⁻¹; the researchers also pointed out that the egg albumin, used as a foaming agent, can interfere with both the mineral residue and the protein contents of the powders (FRANCO *et al.*, 2017).

Table 3. 2 - Composition of pulp and foam-mat dried bacaba powder

Parameter	Pulp	Bacaba powder
pH	5.4 ± 0.1	-
Soluble solids (% , f.w.)	2.8 ± 0.7	-
Moisture (% , f.w.)	91.6 ± 0.9	-
Lipids (% , d.w.)	35.6 ± 0.2^a	39.0 ± 0.4^a
Total Dietary Fiber (% , d.w.)	49.6 ± 0.4^a	39.8 ± 0.1^b
Proteins (% , d.w.)	8.08 ± 0.1^b	15.9 ± 0.6^a
Ash (% , d.w.)	1.91 ± 0.1^b	2.78 ± 0.1^a
Carbohydrates (% , d.w.)**	4.87	2.20

*Carbohydrates were calculated by difference. Results are expressed as mean \pm standard deviation; different letters indicate a significant difference between means (Tukey's test, $\alpha = 0.05$, $n = 3$).

5.3.4. Moisture content and water activity

The analysis of the physical properties and antioxidant capacity of bacaba powders is presented in Table 3.3. The moisture content of the powders ranged from 5.25 % (BP L15/T70) to 13.1 % (BP L15/T50). The high moisture content of sample BP L15/T50 can be attributed to the lowest drying temperature (50 °C) combined with the highest foam thickness (15 mm). These conditions were

inefficient to evaporate the water and guarantee the product's stability since this sample also presented the highest water activity (0.789).

The BP L15/T70 sample showed the lowest moisture content (5.25 %) and a_w (0.110) among the treatments. This sample also presented the highest effective diffusivity (D_{eff}), which contributed to the quicker water loss (IZADI *et al.*, 2020).

The water activity (a_w) is the quantity that indicates the amount of water available for the growth of microorganisms and for the chemical and enzymatic reactions that can alter foodstuffs. Microbial proliferation generally does not occur at a_w below 0.60, and the range between 0.35 and 0.5 is suitable to avoid the loss of desirable properties of dehydrated materials. However, severe dehydration of samples subject to oxidation will also result in less stability; the highest stability of dehydrated foods occurs at water activity adjacent to the BET monolayer's value; after that level, the lipid oxidation rate will increase again (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007).

The remaining dried samples presented a_w between 0.23 and 0.42, which is reported as the range of higher stability with minimum rates of oxidative and enzymatic activities (RAO *et al.*, 2014). Other studies reported similar results for final a_w of FMD products, between 0.32-0.35 for yogurt powder (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012), 0.22-0.31 for cornflour (TEOH; LASEKAN; AZEEZ, 2016), and 0.39-0.46 for beetroot powder (NG; SULAIMAN, 2018b).

5.3.5. Solubility

The powders' solubility increased significantly ($p < 0.05$) after the foaming process, and the lyophilized pulp powder sample (control) was the one with the lowest solubility, followed by the lyophilized foam. This behavior can be attributed to the addition of an emulsifier, which increases the pulp solubility by lipids emulsification (FRANCO *et al.*, 2017). The samples obtained by FMD showed an average solubility of 38 %, with BP L5/T70, BP L10/T70, and BP L15/T60 being those with the higher solubilities ($p < 0.05$).

The higher solubility observed in foamed products can also be related to the presence of bubbles, which improve the porosity of the powder, expanding the surface area available for interaction with rehydration water (SHAARI *et al.*, 2018). Abbasi and Azizpour (ABBASI; AZIZPOUR, 2016) obtained solubilities in the range from 42.2 to 48.4 % for acidic cherry powder; they also attributed

the results to an increase in the powder porosity due to the presence of bubbles, reduction of the bulk density, and the foam stability during FMD.

5.3.6. *Particle size distribution*

Particle size is essential for the characterization of food powders because it is directly related to their physical properties. The average particle size of the bacaba FMD powder, excluding the BP L15/T50 sample (0.602 mm), was 0.411 ± 0.04 mm. Significantly larger particle size for this sample ($p < 0.05$) is due to the higher moisture content of the powder, which increases the particles' tendency to adhere to each other, forming agglomerates (DEHGHANNYA *et al.*, 2018). In general, the highest amount of particles was retained between the 35 and 80-mesh sieves. All samples showed a diameter below 1 mm, being characterized as fine particles.

The particle size directly influences the extraction efficiency of phenolic compounds. In general, the extraction rate increases with the decrease in particle diameter by reducing the diffusion distance of the solute within the solid (CACACE; MAZZA, 2003).

Table 3. 3 - Results of the analyses of the physical properties and antioxidant capacity performed on bacaba powders.

Samples	Moisture (%)	a_w	Solubility (%)	Average particle diameter (mm)	Total phenolic (mg GAE g ⁻¹)	ORAC (μ mol TE g ⁻¹)
Freeze-dried Pulp	6.77 \pm 0.00 ^c	0.546 \pm 0.001 ^b	3.09 \pm 0.2 ^f	0.198 \pm 0.001 ^b	9.53 \pm 0.9 ^b	662 \pm 49 ^a
Freeze-dried Foam	7.34 \pm 0.00 ^b	0.533 \pm 0.001 ^b	19.0 \pm 1.4 ^e	0.265 \pm 0.001 ^b	15.9 \pm 0.1 ^a	666 \pm 19 ^a
BP L5/T50	7.60 \pm 0.02 ^b	0.415 \pm 0.002 ^c	37.5 \pm 1.2 ^{bc}	0.371 \pm 0.026 ^{ab}	5.90 \pm 0.2 ^c	525 \pm 13 ^b
BP L5/T60	7.59 \pm 0.2 ^b	0.284 \pm 0.003 ^f	38.4 \pm 0.9 ^{bc}	0.380 \pm 0.051 ^{ab}	5.24 \pm 0.3 ^c	499 \pm 14 ^b
BP L5/T70	6.74 \pm 0.04 ^{cd}	0.326 \pm 0.006 ^e	45.7 \pm 0.9 ^a	0.389 \pm 0.095 ^{ab}	5.57 \pm 0.1 ^c	261 \pm 26 ^{cd}
BP L10/T50	5.82 \pm 0.1 ^e	0.225 \pm 0.001 ^g	31.4 \pm 1.7 ^d	0.329 \pm 0.020 ^{ab}	5.55 \pm 0.2 ^c	310 \pm 33 ^c
BP L10/T60	6.41 \pm 0.03 ^d	0.244 \pm 0.001 ^g	36.5 \pm 2.1 ^{bcd}	0.326 \pm 0.073 ^{ab}	5.54 \pm 0.03 ^c	230 \pm 20 ^{cd}
BP L10/T70	5.69 \pm 0.01 ^e	0.376 \pm 0.001 ^d	39.9 \pm 1.5 ^{ab}	0.359 \pm 0.024 ^{ab}	5.34 \pm 0.8 ^c	166 \pm 4.0 ^d
BP L15/T50	13.1 \pm 0.01 ^a	0.789 \pm 0.003 ^a	33.9 \pm 2.1 ^{cd}	0.602 \pm 0.115 ^a	5.69 \pm 0.1 ^c	182 \pm 10 ^d
BP L15/T60	6.50 \pm 0.10 ^{cd}	0.246 \pm 0.005 ^g	44.9 \pm 2.3 ^a	0.375 \pm 0.078 ^{ab}	5.47 \pm 0.2 ^c	180 \pm 18 ^d
BP L15/T70	5.25 \pm 0.02 ^f	0.110 \pm 0.002 ^h	37.9 \pm 0.4 ^{bc}	0.406 \pm 0.104 ^{ab}	6.11 \pm 0.2 ^c	214 \pm 21 ^{cd}

Results are expressed as mean \pm standard deviation; different letters indicate a significant difference between means in the same column (Tukey's test, $\alpha = 0.05$); GAE, gallic acid equivalent; TE, Trolox equivalent.

5.3.7. Effects of drying on the *in vitro* antioxidant capacity of bacaba powders

The total phenolics compounds (TPC) and antioxidant capacity were determined to obtain information on how the drying process affects the bioactive profile of bacaba powders.

Bacaba is considered a natural source of phenolic compounds. Abadio Finco *et al.* (2012) reported an antioxidant activity (ORAC) of 6117.15 $\mu\text{mol TE } 100 \text{ g}^{-1}$ and TPC of 1001.02 mg GAE 100 g^{-1} (dry weight). Another study stated that bacaba has the highest content of polyphenols (545.78 mg GAE 100 g^{-1} , d.w.) and the highest antioxidant capacity (113.1 $\mu\text{mol TE } \text{g}^{-1}$, d.w.) among several palm fruits native to the Amazon (buriti, inajá, pupunha, and tucumã) (DOS SANTOS *et al.*, 2015).

This study showed a significant increase in the TPC of bacaba foam ($15.9 \pm 0.1 \text{ mg GAE } \text{g}^{-1}$, dry weight) compared to the raw bacaba pulp ($9.53 \pm 0.9 \text{ mg GAE } \text{g}^{-1}$, dry weight). This increase in foam TPC can be explained by the addition of albumin to the foam since the Folin-Ciocalteu method suffers interference from numerous organic compounds, including some amino acids from albumin, such as tryptophan and histidine (HUANG; BOXIN; PRIOR, 2005).

The TPC of the FMD bacaba powders were significantly lower than the control samples, ranging from 5.24 to 6.11 mg GAE g^{-1} , and showed no significant difference among themselves, indicating that the drying process using hot air had a negative effect on the total phenolics content of the dried samples, regardless of the temperature or thickness used.

The antioxidant capacity (ORAC) of the dried bacaba foam was affected by the foam layer's thickness and temperature. The samples BP L5/T50 and BP L5/T60 stood out with the highest ability to inactivate radicals among the FMD samples, with values of $525 \pm 13 \mu\text{mol TE } \text{g}^{-1}$ and $499 \pm 14 \mu\text{mol TE } \text{g}^{-1}$, respectively, and showing decay fluorescence kinetics similar to the one of lyophilized bacaba pulp (control) (Fig. 3).

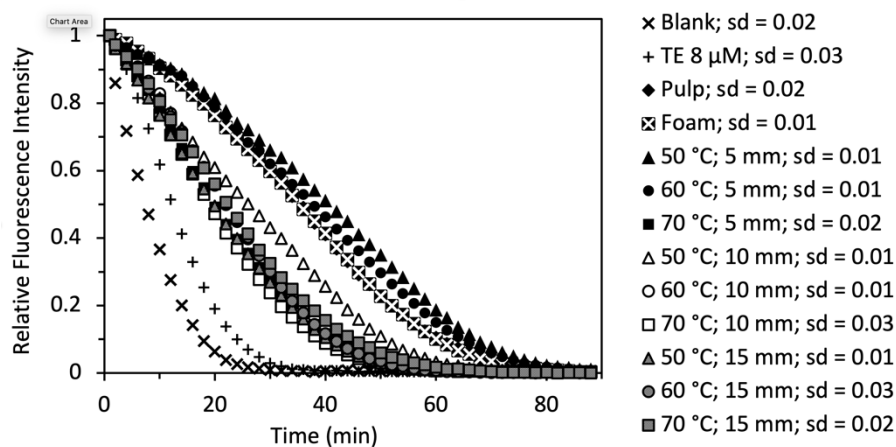


Figure 3.3-Decay of fluorescein fluorescence induced by peroxy radicals at 37 °C in the presence of freeze-dried pulp and foam samples and bacaba powder obtained by FMD under different process conditions. “sd” stands for the average standard deviation of the data.

The high antioxidant capacity of the BP L5/T50 and BP L5/T60 samples can be explained by exposure to the combination of low temperatures and short processing time, decreasing the degradation of the bioactive compounds (LOBO *et al.*, 2017). Besides that, in some cases, drying with hot air "at moderate temperature" can improve the functionality of foodstuffs by promoting the release of bioactive compounds by damaging the cell wall (NAKNAEN; CHAROENTHAIKIJ; KERDSUP, 2016). In the drying of the juice of jambolan using the method of drying in a layer of foam, the elevation of the temperature of the process negatively affected anthocyanins; besides, the flavonols and hydrolyzable tannins were more affected by oxidation and heating time, respectively, than by the drying temperature (TAVARES *et al.*, 2018).

5.3.8. Color characteristics

Table 4 shows the values of the color attributes of bacaba powders. The L^* value ranged from 17.8 to 25.3 with higher L^* value observed for lyophilized foam and lower values for BP L15/T50 and pulp. There was no significant difference ($p > 0.05$) in the luminosity of the FMD powders relative to lyophilized foam (control), except for BP L15/T50 and BP L15/T70 samples. The sample BP L15/T50 showed the lowest luminosity; as the foam thickness increases, the drying process takes longer, resulting in decreased brightness and increased redness in the powder (DEGHANNYA *et al.*, 2018).

The total color difference of the bacaba FMD powders compared to the lyophilized (standard) foam was low ($\Delta E = 3.53$ to 4.34) and no significant difference except for the BP L15/T50 ($\Delta E = 12.3$) and BP L15/T70 ($\Delta E = 7.26$) samples. FMD powders also showed a neutral color related to the low C values. The Hue angle values ranged from 63.0 to 73.1 , indicating the predominance of the yellow chromaticity (b^*) over the red one (a^*).

By visual inspection, the color of the pulp and powder of the bacaba was slightly brown, which was attested by the low values of L^* , an indication that the samples are dark. These results can be explained by the non-enzymatic browning reactions like Maillard that occur during drying in hot air (SHAARI *et al.*, 2018).

Table 3. 4-Color values of bacaba powders.

Samples	Lightness (L^*)	Redness (a^*)	Yellowness (b^*)	Total color difference ΔE	Croma (C)	Hue (H°)
Pulp*	17.8 ± 0.2^c	9.47 ± 0.1^a	14.0 ± 0.04^{bcd}	-	16.9 ± 0.03^b	56.0 ± 0.2^f
Foam*	26.8 ± 0.2^a	3.76 ± 0.3^e	12.4 ± 0.1^e	-	12.3 ± 0.01^f	73.1 ± 0.2^a
BP L5/T50	25.3 ± 0.4^{ab}	6.67 ± 0.2^{bcd}	14.6 ± 0.3^b	3.61 ± 0.2^c	16.0 ± 0.4^{bc}	65.4 ± 0.2^{cd}
BP L5/T60	23.5 ± 0.4^{ab}	6.27 ± 0.1^d	13.4 ± 0.3^d	4.34 ± 0.4^c	14.8 ± 0.3^{de}	65.0 ± 0.2^{cd}
BP L5/T70	25.1 ± 1.4^{ab}	6.59 ± 0.2^{cd}	13.5 ± 0.3^{cd}	3.78 ± 0.4^c	15.0 ± 0.3^{cde}	64.0 ± 0.1^{de}
BP L10/T50	24.2 ± 0.7^{ab}	6.36 ± 0.2^d	14.0 ± 0.2^{bcd}	4.06 ± 0.4^c	15.3 ± 0.2^{cde}	65.5 ± 0.3^{cd}
BP L10/T60	25.0 ± 1.0^{ab}	6.34 ± 0.1^d	13.9 ± 0.2^{bcd}	3.89 ± 0.5^c	15.3 ± 0.2^{cde}	65.5 ± 0.3^{cd}
BP L10/T70	25.2 ± 2.0^{ab}	6.02 ± 0.3^d	13.5 ± 0.5^d	3.53 ± 0.3^c	14.7 ± 0.5^e	65.9 ± 0.4^{cd}
BP L15/T50	15.2 ± 0.2^c	7.29 ± 0.2^b	14.3 ± 0.2^{bcd}	12.32 ± 0.3^a	16.0 ± 0.2^{bc}	63.0 ± 0.5^e
BP L15/T60	25.0 ± 0.2^{ab}	6.55 ± 0.1^{cd}	14.4 ± 0.03^{bc}	3.96 ± 0.2^c	15.8 ± 0.1^{cd}	65.5 ± 0.3^{cd}
BP L15/T70	22.5 ± 1.0^b	7.20 ± 0.2^{bc}	17.1 ± 0.3^a	7.26 ± 0.22^b	18.5 ± 0.4^a	67.1 ± 0.3^b

Results expressed as mean \pm standard deviation; different letters indicate a significant difference between means in the same column (Tukey's test, $\alpha = 0.05$); *freeze-dried samples.

5.4 Conclusion

This study demonstrated that the addition of an emulsifier and a foaming agent makes it possible to transform the bacaba pulp into a stable low-density foam, a necessary step for an efficient FMD process. We found that FMD is a viable alternative for obtaining bacaba powder with acceptable commercial quality (low final moisture and water activity, and good solubility). The combination of the lowest drying temperature (50 °C) and the smallest thickness (5 mm) resulted in a product with a high antioxidant capacity, which suggests a great potential for use for the development of functional products.

Further studies should be performed to characterize and identify (chromatographic methods) the compounds responsible for the antioxidant capacity detected in bacaba powders and verify the stability of these powders to storage.

Authors' contributions: All authors have participated in (a) conception and design, or analysis and interpretation of the data; (b) drafting the article or revising it critically for important intellectual content; (c) approval of the final version.

Acknowledgments: This work was supported by the Federal Institute of Tocantins - Brazil (IFTO). We thank Prof. Dr. João Antonio Pêgas Henriques, coordinator of the Laboratory of Molecular Radiobiology of the Federal University of Rio Grande do Sul, to use the fluorescence reader in his laboratory.

Supplementary Data

Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): process characterization, physicochemical properties and antioxidant activity

Carla Dettenborn de C  L ^{a,b}, Bruna TISCHER ^a, Simone HICKMANN FLÔRES ^a, Rosane RECH ^{a*}

Table S 1- Results of experimental design for evaluating the effects of additive concentrations on density and stability of the foams.

Assay	x_A	x_E	Albumin (g/100 g)	Emulsifier (g/100 g)	Foam density (g cm ⁻³)	Foam stability (%)
EA(2.88)-EMU(2.88)	-1	-1	2.88	2.88	0.78	94.23
EA(2.88)-EMU(2.88)	-1	-1	2.88	2.88	0.76	92.17
EA(2.88)-EMU(7.12)	-1	1	2.88	7.12	0.58	97.40
EA(2.88)-EMU(7.12)	-1	1	2.88	7.12	0.56	96.88
EA(7.12)-EMU(2.88)	1	-1	7.12	2.88	0.99	100.00
EA(7.12)-EMU(2.88)	1	-1	7.12	2.88	0.98	100.00
EA(7.12)-EMU(7.12)	1	1	7.12	7.12	0.57	96.97
EA(7.12)-EMU(7.12)	1	1	7.12	7.12	0.57	98.45
EA(2.0)-EMU(5.0)	-1.41	0	2.00	5.00	0.59	94.12
EA(2.0)-EMU(5.0)	-1.41	0	2.00	5.00	0.59	92.61
EA(8.0)-EMU(5.0)	1.41	0	8.00	5.00	0.69	98.59
EA(8.0)-EMU(5.0)	1.41	0	8.00	5.00	0.69	98.62
EA(5.0)-EMU(2.0)	0	-1.41	5.00	2.00	0.93	97.37
EA(5.0)-EMU(2.0)	0	-1.41	5.00	2.00	0.93	97.67
EA(5.0)-EMU(8.0)	0	1.41	5.00	8.00	0.65	100.00
EA(5.0)-EMU(8.0)	0	1.41	5.00	8.00	0.66	100.00
EA(5.0)-EMU(5.0)	0	0	5.00	5.00	0.74	98.31
EA(5.0)-EMU(5.0)	0	0	5.00	5.00	0.76	98.46
EGG(5.0)-EMU(5.0)	0	0	5.00	5.00	0.75	98.44

Table S 2- Statistical analysis output for foam density using *rsm* package in R Studio.

Foam Density:

Call:

rsm(formula = Density ~ S0(xA, xE), data = bacabafoam)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	0.7500124	0.0196736	38.1228	9.963e-15	***
xA	0.0445359	0.0085163	5.2295	0.0001625	***
xE	-0.1254407	0.0085163	-14.7295	1.728e-09	***
xA:xE	-0.0537500	0.0120476	-4.4615	0.0006410	***
xA^2	-0.0530756	0.0122865	-4.3198	0.0008321	***
xE^2	0.0230795	0.0122865	1.8784	0.0829289	.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared: 0.9593, Adjusted R-squared: 0.9436

F-statistic: 61.25 on 5 and 13 DF, p-value: 1.414e-08

Analysis of Variance Table

Response: Density

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
F0(xA, xE)	2	0.283678	0.141839	122.154	3.738e-09
TWI(xA, xE)	1	0.023113	0.023113	19.905	0.000641
PQ(xA, xE)	2	0.048788	0.024394	21.009	8.460e-05
Residuals	13	0.015095	0.001161		
Lack of fit	3	0.014395	0.004798	68.547	5.692e-07
Pure error	10	0.000700	0.000070		

Stationary point of response surface:

	xA	xE
	-0.6017152	2.0169058

Stationary point in original units:

	EggAlbumin	Emulsifyer
	3.724364	9.275840

Table S 3- Statistical analysis output for foam stability using *rsm* package in R Studio.

Foam Stability

```

Call:
rsm(formula = Stability ~ F0(xA, xE) + TWI(xA, xE) + PQ(xA),
     data = bacabafoam)

              Estimate Std. Error  t value  Pr(>|t|)
(Intercept) 98.51574    0.22662 434.7198 < 2.2e-16 ***
xA           1.84699    0.16354 11.2937 2.029e-08 ***
xE           0.64453    0.16354  3.9411 0.001477 **
xA:xE       -1.55750    0.23135 -6.7321 9.593e-06 ***
xA^2        -1.34348    0.20147 -6.6684 1.064e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

```

Multiple R-squared:  0.9433,    Adjusted R-squared:  0.9271
F-statistic: 58.22 on 4 and 14 DF,  p-value: 1.434e-08

```

Analysis of Variance Table

Response: Stability

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
F0(xA, xE)	2	61.267	30.6333	71.5404	4.467e-08
TWI(xA, xE)	1	19.406	19.4064	45.3215	9.593e-06
PQ(xA)	1	19.041	19.0409	44.4679	1.064e-05
Residuals	14	5.995	0.4282		
Lack of fit	4	1.444	0.3609	0.7931	0.5558
Pure error	10	4.551	0.4551		

Stationary point of response surface:

	xA	xE
	0.4138220	0.4719528

Stationary point in original units:

	EggAlbumin	Emulsifyer
	5.877303	6.000540

03/06/2021

Rightslink® by Copyright Clearance Center



RightsLink®



Home



Help



Live Chat



Sign in



Create Account



Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity

Author: Carla Dettenborn de Cól, Bruna Tischer, Simone Hickmann Flôres, Rosane Rech

Publication: Food and Bioproducts Processing

Publisher: Elsevier

Date: March 2021

© 2020 Institution of Chemical Engineers. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

Journal Author Rights

Please note that, as the author of this Elsevier article, you retain the right to include it in a thesis or dissertation, provided it is not published commercially. Permission is not required, but please ensure that you reference the journal as the original source. For more information on this and on your other retained rights, please visit: <https://www.elsevier.com/about/our-business/policies/copyright#Author-rights>

BACK

CLOSE WINDOW

© 2021 Copyright - All Rights Reserved | Copyright Clearance Center, Inc. | [Privacy statement](#) | [Terms and Conditions](#)
 Comments? We would like to hear from you. E-mail us at customer-care@copyright.com

8 DISCUSSÃO GERAL

Considerando o interesse dos consumidores por alimentos que auxiliem na manutenção da saúde, a pesquisa para o desenvolvimento de novos produtos utilizando tecnologias simples e matérias-primas com potencial funcional tornaram-se uma tendência. Neste trabalho avaliou-se a aplicação da secagem em camada de espuma (ar quente e liofilização) para a obtenção de pó de bacaba, um fruto amazônico com alta concentração de compostos bioativos.

Essa tecnologia tem despontado como uma alternativa interessante para a secagem de alimentos líquidos ou semi-sólidos por permitir a utilização de equipamentos simples (batedeira, secador de bandejas) e acelerar a eliminação da umidade, reduzindo custos e o consumo energético. Para executá-la o primeiro passo foi transformar a polpa de bacaba em uma espuma estável e de baixa densidade onde revelou-se a necessidade da adição de um emulsificante (Emustab®) e de um agente espumante (albumina de ovos). Outros aditivos foram testados (carboximetilcelulose, Liga neutra® e lecitina) mas quando formaram espuma apresentaram volume e estabilidade menores.

A secagem da espuma por ar quente (FMD) demonstrou ser uma alternativa viável para a obtenção de pó de bacaba, utilizando baixas temperaturas de secagem (50 e 60 °C). Como esperado, usando-se a menor espessura (5 mm) obteve-se o pó em menor tempo e o produto apresentou umidade e atividade de água adequadas, boa solubilidade e alta capacidade antioxidante.

Para caracterizar e identificar os prováveis compostos bioativos (ácidos graxos, compostos fenólicos e carotenoides) envolvidos na capacidade antioxidante dos pós de bacaba FMD obtidos a 50 e 60 °C (5 mm de camada de espuma) e a influência do processo comparando-os com os pós obtidos por liofilização da polpa (controle) ou espuma (Foam-mat Freeze-drying - FMFD) foi utilizada a cromatografia líquida de alta eficiência com espectrometria de massas (HPLC-DAD-MS/MS) e a cromatografia gasosa. A aceitação de um sorvete com adição dos pós (FMDT60 e FMFD) também foi avaliada.

Os resultados das análises cromatográficas apontaram uma degradação menor dos compostos de interesse nos pós obtidos por FMFD, além de um aumento significativo no teor de compostos fenólicos não antociânicos, o que pode indicar que houve a extração desses compostos da matriz alimentar, aumentando a sua bioacessibilidade. O pó obtido através da secagem em camada de espuma realizada a 60 °C (FMDT60) apresentou performance similar

na manutenção dos compostos analisados, além de uma alta aceitação sensorial, revelando-se uma alternativa interessante, ao ser considerado o seu menor custo de processo.

Para finalizar a pesquisa investigou-se as condições ideais de armazenamento dos pós de bacaba e verificou-se através do perfil de sorção de água do produto que a umidade limite é de 6 % a 25 °C. Além disso os pós podem ser estocados em temperatura ambiente sem que ocorra mudança de estado, o que aconteceria apenas se a temperatura ultrapassar 53 °C. Os diferentes processos de secagem (FMFD e FMD) não afetaram a estabilidade térmica dos pós, cujas partículas apresentaram-se irregulares e porosas. Em relação à estabilidade dos ácidos graxos observou-se a necessidade da utilização de uma embalagem impermeável ao vapor d'água e oxigênio, com barreira à luz e que possibilite o uso do vácuo para uma maior vida útil do produto. Para garantir a qualidade nutricional dos pós e determinar o seu prazo de validade, sugere-se que o grau de oxidação do produto também seja avaliado com base na formação de produtos primários (peróxidos) e secundários (compostos carbonílicos, hidrocarbonetos) dessa reação.

A partir dos resultados encontrados, concluiu-se que o pó de bacaba obtido por secagem em camada de espuma é um produto promissor devido às suas propriedades funcionais e às novas alternativas de uso do fruto, com potencial para estimular o seu consumo.

Este trabalho trouxe informações importantes sobre uma tecnologia simples e economicamente viável para produção em pequena escala e aproveitamento de frutos nativos. Trabalhos futuros podem ser realizados utilizando a secagem em camada de espuma para a obtenção de pós de outras matérias-primas regionais pouco conhecidas a nível nacional e com potencial como alimento funcional, que muitas vezes são desperdiçadas durante os períodos de safra e cujo processamento pode trazer um impacto positivo nas comunidades, contribuindo para o desenvolvimento regional sustentável. Outras sugestões seriam avaliar o efeito da adição de um emulsificante diferente, que não provoque um aumento na concentração de ácidos graxos saturados e de um antioxidante na formulação do pó de bacaba.

9 REFERÊNCIAS

ABADIO FINCO, Fernanda D. B. *et al.* Antioxidant activity and characterization of phenolic compounds from bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.) Fruit by HPLC-DAD-MSn. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 60, n. 31, p. 7665–7673, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf3007689>

ABADIO FINCO, Fernanda D. B.; BÖSER, Sabrina; GRAEVE, Lutz. Antiproliferative activity of Bacaba (*Oenocarpus bacaba*) and Jenipapo (*Genipa americana* L.) phenolic extracts. **Nutrition & Food Science**, [S. l.], v. 43, n. 2, p. 98–106, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/00346651311313247>

ABADIO FINCO, Fernanda D. B.; KLOSS, Loreen; GRAEVE, Lutz. Bacaba (*Oenocarpus bacaba*) phenolic extract induces apoptosis in the MCF-7 breast cancer cell line via the mitochondria-dependent pathway. **NFS Journal**, [S. l.], v. 5, p. 5–15, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.11.001>

ABBASI, Elnaz; AZIZPOUR, Mehran. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT - Food Science and Technology**, [S. l.], v. 68, p. 105–110, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.004>. Acesso em: 24 maio. 2017.

ABDELWAHED, W. *et al.* Freeze-drying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations☆. **Advanced Drug Delivery Reviews**, [S. l.], v. 58, n. 15, p. 1688–1713, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2006.09.017>

AGUILERA, Jose M.; STANLEY, David W.; BAKER, Kenneth W. New dimensions in microstructure of food products. **Trends in Food Science and Technology**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 3–9, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)00034-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)00034-0)

AGUILERA, José Miguel. Why food micro structure? **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 67, n. 1–2, p. 3–11, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.050>

AGUILERA, Jose Miguel; STANLEY, David W. **Microstructural principles of food processing and engineering**. [S. l.]: Springer Science & Business Media, 1999. *E-book*.

AMBEKAR, S. A.; GOKHALE, S. V.; LELE, S. S. Process optimization for foam mat-tray drying of *Passiflora edulis* flavicarpa pulp and characterization of the dried powder. **International Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 433–443, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2012-0185>

ANDERSSON, K.; LINGNERT, H. Influence of Oxygen Concentration and Light on the

Oxidative Stability of Cream Powder. **LWT-Food Science and Technology**, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 169–176, 1998.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington, MA, Washington: [s. n.], 1990.

AOCS. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. 5 th ed. Champaign, Illinois: AOCS Official Method Ce 1b-89, 1997. *E-book*.

ARAÚJO, Júlio Maria de Andrade. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5ª ed. [S. l.]: UFV, 2011. *E-book*.

AYDEMIR, Sezgin *et al.* Antioxidant components of *Viburnum opulus* L . determined by on-line HPLC – UV – ABTS radical scavenging and LC – UV – ESI-MS methods. [S. l.], v. 175, p. 106–114, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.085>

AZEVEDO-MELEIRO, Cristiane H.; RODRIGUEZ-AMAYA, Delia B. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, [S. l.], v. 17, n. 3–4, p. 385–396, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.02.004>

AZIZPOUR, Mehran *et al.* Optimization of Foaming Parameters and Investigating the Effects of Drying Temperature on the Foam-Mat Drying of Shrimp (*Penaeus indicus*). **Drying Technology**, [S. l.], v. 32, n. 4, p. 374–384, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.794829>

BARBOSA-CANOVAS, Gustavo v.; IBARZ, Albert. **Unit Operations in Food Engineering**. 1st Editio ed. Boca Raton: CRC pres, 2002. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781420012620>

BARROS, Romy Gleyse Chagas *et al.* Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidant activity in some Brazilian exotic fruit residues. **Food Research International**, [S. l.], v. 102, n. September, p. 84–92, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.082>

BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 71–79, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00039-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00039-4)

BIESALSKI, Hans Konrad *et al.* Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. **Nutrition**, [S. l.], v. 25, n. 11–12, p. 1202–1205, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.023>

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, [S. l.], v. 37, n. 8, 1959.

BOCHI, Vivian Caetano; GODOY, Helena Teixeira; GIUSTI, M. Monica. Anthocyanin and other phenolic compounds in Ceylon gooseberry (*Dovyalis hebecarpa*) fruits. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 176, p. 234–243, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.041>

BRABO DE SOUSA, Sérgio Henrique *et al.* Phenolic compounds are highly correlated to the antioxidant capacity of genotypes of *Oenocarpus distichus* Mart. fruits. **Food Research International**, [S. l.], v. 108, p. 405–412, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.056>

BRASIL. **Portaria SVS/MS nº 540, de 27 de outubro de 1997**[S. l.: s. n.] Disponível em: www.anvisa.gov.br

BRUNAUER, S. *et al.* On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases. **Journal of the American Chemical Society**, [S. l.], v. 62, n. 7, p. 1723–1732, 1940. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja01864a025?casa_token=2pHUJymMNc4AAAAA:B3TSuRnZXrPwkSBFdVkJHRv6NHgSZuYKLCn4I7BDQAI0W605jQ9f5u9oXU720MBfJntA3OCrRXZRSOwoy9g

BRUNAUER, Stephen; EMMETT, P. H.; TELLER, Edward. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. **Journal of the American Chemical Society**, [S. l.], v. 60, n. 2, p. 309–319, 1938. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>

CACACE, J. E.; MAZZA, G. Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 59, n. 4, p. 379–389, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00497-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00497-1)

CALDER, Philip C. Functional Roles of Fatty Acids and Their Effects on Human Health. **Journal of Parenteral and Enteral Nutrition**, [S. l.], v. 39, p. 18S–32S, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0148607115595980>

CARVALHO, Tavares Iasnaia Maria de *et al.* Dehydration of jambolan [(*Syzygium cumini* (L.)) juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, [S. l.], v. 102, n. June, p. 32–42, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.068>

CHAUX-GUTIÉRREZ, Ana María *et al.* Foam mat drying of mango: Effect of processing parameters on the drying kinetic and product quality. **Drying Technology**, [S. l.], v. 35, n. 5, p. 631–641, 2017 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1201486>

CHAUX-GUTIÉRREZ, Ana María *et al.* The Physical and Morphological Characteristics of Mango Powder (*Mangifera indica* L. cv Tommy Atkins) Produced by Foam Mat Drying. **Food Biophysics**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 69–77, 2017 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11483-016-9464-1>

CHAUX-GUTIÉRREZ, Ana María; PÉREZ-MONTERROZA, Ezequiel José; MAURO, Maria Aparecida. Rheological and structural characterization of gels from albumin and low methoxyl amidated pectin mixtures. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 92, n. December 2018, p. 60–68, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.025>

CHEFTEL, Jean-Claude; CUQ, Jean-Lois; LORLENT, Denis. **Proteínas alimentarias: bioquímica, propiedades funcionales, valor nutricional, modificaciones químicas**. [S. l.: s. n.]. *E-book*.

CRANK, John. **The Mathematics of Diffusion**. Oxford, England; New York: Oxford University Press, 1975. *E-book*.

CROZIER, Alan; JAGANATH, Indu B.; CLIFFORD, Michael N. Dietary phenolics: Chemistry, bioavailability and effects on health. **Natural Product Reports**, [S. l.], v. 26, n. 8, p. 1001–1043, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/b802662a>

CUNHA, Vânia Maria Borges *et al.* Bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus* Mart.) oil extraction using supercritical CO₂ and bioactive compounds determination in the residual pulp. **Journal of Supercritical Fluids**, [S. l.], v. 144, p. 81–90, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.10.010>

CYMERYS, Margaret; FERNANDES, Nivia Maria de Paula; RIGAMONTE-AZEVEDO, Onofra Cleuza. **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em:

<http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=IB1mEKVAOt4C&oi=fnd&pg=PA4&dq=Frutíferas+e+Plantas+úteis+na+Vida+Amazônica&ots=kq8uDX00H6&sig=6Fxxkh8vGkmSu8IFZUWn0MrfoYE%5Cnhttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=IB1mEKVAOt4C&oi=fnd&pg=PA4&dq=Frutíferas+e+p>

DAMODARAN, Srinivasan. Protein stabilization of emulsions and foams. **Journal of Food Science**, [S. l.], v. 70, n. 3, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07150.x>

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L.; FENNEMA, Owen R. (org.). **Fennema's food chemistry**. [S. l.]: CRC press, 2007. *E-book*.

DANTAS, Aline Macedo *et al.* Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 274, p. 202–214, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.099>

DANTAS, Suziani Cristina de Medeiros. Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat. [S. l.], p. 100, 2010.

DARNIADI, Sandi; HO, Peter; MURRAY, Brent S. Comparison of blueberry powder produced via foam-mat freeze-drying versus spray-drying: evaluation of foam and powder properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S. l.], v. 98, n. 5, p. 2002–2010, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8685>

DAVID, Frank; VICKERS, Allen K. Column Selection for the Analysis of Fatty Acid Methyl Esters Application. **Agilent Application Note**, [S. l.], p. 1–12, 2005.

DE AMICIS, Francesca *et al.* Bergapten drives autophagy through the up-regulation of PTEN expression in breast cancer cells. **Molecular Cancer**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 1–12, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12943-015-0403-4>

DE CÓL, Carla Dettenborn *et al.* Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. **Food and Bioprocess Processing**, [S. l.], v. 126, p. 23–31, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.12.004>

DE ROSSO, Veridiana V.; MERCADANTE, Adriana Z. Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 55, n. 13, p. 5062–5072, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf0705421>

DEHGHANNYA, Jalal *et al.* Influence of foam thickness on production of lime juice powder during foam-mat drying: Experimental and numerical investigation. **Powder Technology**, [S. l.], v. 328, p. 470–484, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.01.034>

DEHNAD, Danial; JAFARI, Seid Mahdi; AFRASIABI, Maryam. Influence of drying on functional properties of food biopolymers : From traditional to novel dehydration techniques. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 57, p. 116–131, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.002>

DELGADO, Graciela E. *et al.* Individual omega-9 monounsaturated fatty acids and mortality—The Ludwigshafen Risk and Cardiovascular Health Study. **Journal of Clinical Lipidology**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 126–135.e5, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2016.10.015>

- DIPPONG, Thomas *et al.* Thermal behavior of different cocoa powder varieties and their physicochemical, phytochemical and microbiological characteristics. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, [S. l.], n. 0123456789, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10559-y>
- DOS SANTOS, Mary *et al.* Amazonian Native Palm Fruits as Sources of Antioxidant Bioactive Compounds. **Antioxidants**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 591–602, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antiox4030591>
- ESTRUCH, Ramón *et al.* Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. **New England Journal of Medicine**, [S. l.], v. 368, n. 14, p. 1279–1290, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1200303>
- FANG, Zhongxiang; BHANDARI, Bhesh. Encapsulation of polyphenols - A review. **Trends in Food Science and Technology**, [S. l.], v. 21, n. 10, p. 510–523, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003>
- FELLOWS, Peter. John. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. Third ed. [S. l.]: Elsevier, 2009. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100522-4.00014-6>
- FONGIN, Suwalee *et al.* Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 247, n. December 2018, p. 95–103, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>
- FRANCO, Talita Szlapak *et al.* 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**, [S. l.], n. 8, p. 2012–2026, 2015 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1553-5>
- FRANCO, Talita Szlapak *et al.* Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer simulation. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 158, p. 48–57, 2015 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.02.030>
- FRANCO, Talita Szlapak *et al.* Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. **LWT - Food Science and Technology**, [S. l.], v. 66, p. 503–513, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.009>
- FRANCO, Talita Szlapak *et al.* Effect of Process Parameters on Foam Mat Drying Kinetics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and Thin-Layer Drying Modeling of Experimental Data.

- Journal of Food Process Engineering**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. e12264, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12264>
- GOULA, Athanasia M. *et al.* Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 85, n. 1, p. 73–83, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.015>
- GREENSPAN, Lewis. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of research of the national bureau of standards**, [S. l.], v. 81, n. 1, p. 89–96, 1977.
- HELENO, Sandrina A. *et al.* Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 173, p. 501–513, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules201219753>
- HUANG, Dejian *et al.* High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 50, n. 16, p. 4437–4444, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf0201529>
- HUANG, Dejian; BOXIN, O. U.; PRIOR, Ronald L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 53, n. 6, p. 1841–1856, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- IBARZ, Albert.; BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V. **Unit Operations in Food Engineering**. Boca Ratón: CRC Press, 2003. *E-book*.
- IZADI, Zeinab *et al.* Cheese powder production and characterization: A foam-mat drying approach. **Food and Bioproducts Processing**, [S. l.], v. 123, p. 225–237, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.019>
- JOSEPH, Jeanne D.; ACKMAN, Robert G. Capillary column gas chromatographic method for analysis of encapsulated fish oils and fish oil ethyl esters: collaborative study. **Journal of AOAC International**, [S. l.], v. 75, n. 3, p. 488–506, 1992.
- KADAM, Dattatreya M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 35, n. 4, p. 488–495, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00492.x>
- KANDASAMY, Palani *et al.* Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, [S. l.], v. 51, n. 10, p. 2526–2534, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0812-y>
- KARIM, A. Ab.; WAI, C. Che. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 64, n. 3, p. 337–343, 1999.

Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00119-8)

KARIM, Md Azharul *et al.* **Food Microstructure as affected by processing and its effect on quality and stability.** [S. l.]: Elsevier Ltd, 2017. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100764-8.00003-4>

KAUR, Ramandeep; KAUR, Kamaljit; AHLUWALIA, Preeti. Effect of drying temperatures and storage on chemical and bioactive attributes of dried tomato and sweet pepper. **LWT - Food Science and Technology**, [S. l.], v. 117, n. April 2019, p. 108604, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108604>

KAUSHAL, Manisha; SHARMA, P. C.; SHARMA, Rakesh. Formulation and acceptability of foam mat dried seabuckthorn (*Hippophae salicifolia*) leather. **Journal of Food Science and Technology**, [S. l.], v. 50, n. 1, p. 78–85, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0236-0>

KAYMAK-ERTEKIN, Figen; GEDIK, Atil. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **LWT - Food Science and Technology**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 429–438, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.012>

KRASAEKOOPT, Wunwisa; BHATIA, Sumit. Production of yogurt powder using foam-mat drying. **Au J.T.**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 166–171, 2012.

KUDRA, T.; RATTI, C. Foam-mat drying: Energy and cost analyses. **Canadian Biosystems Engineering / Le Genie des biosystems au Canada**, [S. l.], v. 48, p. 27–32, 2006.

LAUVAI, Judith *et al.* Bacaba phenolic extract attenuates adipogenesis by down-regulating PPAR γ and C/EBP α in 3T3-L1 cells. **NFS Journal**, [S. l.], v. 9, n. September, p. 8–14, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2017.09.001>

LENTH, Russell V. Response-surface methods in R, using RSM. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], v. 32, n. 7, p. 1–17, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v032.i07>

LIN, Ching Pin *et al.* Bergapten induces G1 arrest and pro-apoptotic cascade in colorectal cancer cells associating with p53/p21/PTEN axis. **Environmental Toxicology**, [S. l.], v. 34, n. 3, p. 303–311, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/tox.22685>

LOBO, Francine Albernaz *et al.* Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 221, p. 258–266, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.080>

- MAO, Lei *et al.* Plant-sourced and animal-sourced monounsaturated fatty acid intakes in relation to mortality: a prospective nationwide cohort study. **European Journal of Nutrition**, [S. l.], n. 0123456789, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00394-019-02048-8>
- MARGOT, Skinner; HUNTER, Denise (org.). **Bioactives in fruit: health benefits and functional foods**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2013. *E-book*.
- MARHUENDA-MUÑOZ, María *et al.* A review of factors that affect carotenoid concentrations in human plasma: differences between Mediterranean and Northern diets. **European Journal of Clinical Nutrition**, [S. l.], v. 72, p. 18–25, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0305-9>
- MAROULIS, Z. B. *et al.* Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 63–78, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(88\)90069-6](https://doi.org/10.1016/0260-8774(88)90069-6)
- MARTINS, Luiza Helena da Silva *et al.* Study of preparation, composition and moisture sorption isotherm of Amazon River shrimp meal. **LWT - Food Science and Technology**, [S. l.], v. 79, p. 376–383, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.054>
- MASAVANG, Supuksorn; ROUDAUT, Gaëlle; CHAMPION, Dominique. Identification of complex glass transition phenomena by DSC in expanded cereal-based food extrudates: Impact of plasticization by water and sucrose. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 245, n. September 2018, p. 43–52, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.008>
- MCGUIRE, Raymond G. Reporting of Objective Color Measurements. **HortScience**, [S. l.], v. 27, n. 12, p. 1254–1255, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- MCMINN, W. A. M. ..; MAGEE, T. R. A. Principles, methods and applications of the convective drying of foodstuffs. **Food and Bioproducts Processing**, [S. l.], v. 77, n. 3, p. 175–193, 1999. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1205/096030899532466>
- MEILGAARD, Morten C.; CIVILLE, Gail Vance; CARR, Thomas B. **Sensory evaluation techniques**. 4 th ed. [S. l.]: CRC press, 2007. *E-book*.
- MESTDAGH, Frédéric *et al.* Interaction between whey proteins and lipids during light-induced oxidation. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 126, n. 3, p. 1190–1197, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.170>
- MUZAFFAR, Khalid; KUMAR, Pradyuman. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, [S. l.], v. 291, p. 322–327, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.12.046>

- NAKNAEN, Phisut; CHAROENTHAIKIJ, Phantipha; KERDSUP, Paramaporn. Physicochemical properties and nutritional compositions of foamed banana powders (Pisang Awak, *Musa sapientum* L.) dehydrated by various drying methods. **Walailak Journal of Science and Technology**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 177–191, 2016.
- NG, Mei Ling; SULAIMAN, Rabiha. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT - Food Science and Technology**, [S. l.], v. 88, p. 80–86, 2018 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.032>
- NG, Mei Ling; SULAIMAN, Rabiha. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT**, [S. l.], v. 88, p. 80–86, 2018 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.032>
- NÓBREGA, Erly M. *et al.* The impact of hot air drying on the physical-chemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata*) residue. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 39, n. 2, p. 131–141, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12213>
- NORA, Cleice Dalla *et al.* Effect of processing on the stability of bioactive compounds from red guava (*Psidium cattleianum* Sabine) and guabiju (*Myrcianthes pungens*). **Journal of Food Composition and Analysis**, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 18–25, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.01.006>
- OLIVEIRA, Maria do Socorro Padilha de; RIOS, Sara de Almeida. Potencial Econômico De Algumas Palmeiras Nativas Da Amazônia. In: (Embrapa Amazônia Ocidental, Org.) 2014, Belém-PA. **Encontro Amazônico De Agrárias: Atuação das ciências agrárias nos sistemas de produção e alterações ambientais**. Belém-PA: UFRA, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/985080/1/POTENCIAL20ECONC394MI CO20DE20ALGUMAS20PALMEIRAS20NATIVAS20DA20AMAZC394NIA1.pdf>
- OLIVEIRA, V. *et al.* Diets containing α -linolenic (ω 3) or oleic (ω 9) fatty acids rescues obese mice from insulin resistance. **Endocrinology**, [S. l.], v. 156, n. 11, p. 4033–4046, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1210/en.2014-1880>
- OLSON, J. A. Provitamin A function of carotenoids: The conversion of β -carotene into vitamin A. **Journal of Nutrition**, [S. l.], v. 119, n. 1, p. 105–108, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jn/119.1.105>
- OU, Boxin; HAMPSCH-WOODIL, Maureen; PRIOR, Ronald L. Development and Validation of an Improved Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay Using Fluorescein as the

- Fluorescent Probe. **J. Agric. Food Chem.**, [S. l.], v. 49, p. 4619–4626, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/jp2:1995126>
- PARADA, J.; AGUILERA, J. M. Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. **Journal of Food Science**, [S. l.], v. 72, n. 2, p. 21–32, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>
- PEREIRA, David M. *et al.* Phenolics: From Chemistry to Biology. **Molecules**, [S. l.], v. 14, p. 2202–2211, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules14062202>
- PRABAKARAN, Mayakrishnan *et al.* Changes in soybean (*Glycine max* L.) flour fatty-acid content based on storage temperature and duration. **Molecules**, [S. l.], v. 23, n. 10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules23102713>
- PUERARI, Cláudia; MAGALHÃES-GUEDES, Karina Teixeira; SCHWAN, Rosane Freitas. Bacaba beverage produced by umutina Brazilian amerindians: Microbiological and chemical characterization. **Brazilian Journal of Microbiology**, [S. l.], v. 46, n. 4, p. 1207–1216, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-838246420140964>
- QADRI, Ovais S.; SRIVASTAVA, Abhaya K. Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: drying kinetics and effect on quality attributes. **Journal of Food Process Engineering**, [S. l.], n. 2001, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12295>
- RAHARITSIFA, Narindra; RATTI, Cristina. Foam-mat freeze-drying of apple juice part 2: stability of dry products during storage. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 3723, n. 2010, p. 341–364, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00517.x>
- RAHMAN, Mohammad Shafiur. Food stability determination by macro-micro region concept in the state diagram and by defining a critical temperature. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 99, n. 4, p. 402–416, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.011>
- RAHMAN, Mohammad Shafiur. **Water Activity and Glass Transition of Foods**. [S. l.]: Elsevier, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21184-0>
- RAJKUMAR, P. *et al.* Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 79, n. 4, p. 1452–1459, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.027>
- RAO, M. A. *et al.* (org.). **Engineering properties of foods**. Fourth ed. [S. l.]: CRC Press, 2014. *E-book*. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=3smSAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=related:D65XxUU9YukJ:scholar.goo>

gle.com/&ots=AdwvgU7BAi&sig=-

U3XtttdGRZqIDu3gXIYZHPn_vCc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

RATTI, C.; KUDRA, T. Drying of Foamed Biological Materials: Opportunities and Challenges. **Drying Technology**, [S. l.], v. 24, n. 9, p. 1101–1108, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373930600778213>

REID, David S.; FENNEMA, Owen R. Water and ice. In: DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L.; OWEN R. FENNEMA (org.). **Fennema's Food Chemistry**. 4th Ed. ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 17–77. *E-book*.

ROBERTSON, A. R. Historical development of CIE recommended color difference equations. **Color Research & Application**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 167–170, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/col.5080150308>

ROCHA, Carolina Tatagiba. **Obtenção de suco misto de açaí, morango e acerola em pó por diferentes processos de secagem**. 2013. [s. l.], 2013.

ROCIO YANELI AGUIRRE-LOREDO, ADRIANA INÉS RODRIGUEZ-HERNANDEZ, Gonzalo Velazquez. Modelling the effect of temperature on the water sorption isotherms of chitosan films. **Food Science and Technology (Campinas)**, [S. l.], v. 37, n. 1, p. 112–118, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-457x.09416>

RODRIGUES, Eliseu; MARIUTTI, Lilian R. B.; MERCADANTE, Adriana Z. Carotenoids and phenolic compounds from *Solanum sessiliflorum*, an unexploited amazonian fruit, and their scavenging capacities against reactive oxygen and nitrogen species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 61, n. 12, p. 3022–3029, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf3054214>

RODRIGUEZ-AMAYA, Delia B. **A Guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI press, 2001. *E-book*.

ROOS, Yrjö H. Water Activity and Glass Transition. In: EDITION, Second (org.). **Water Activity in Foods**. [S. l.]: Wiley, 2020. p. 27–43. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch3>

ROOS, Yrjö; KAREL, Marcus. Plasticizing Effect of Water on Thermal Behavior and Crystallization of Amorphous Food Models. **Journal of Food Science**, [S. l.], v. 56, n. 1, p. 38–43, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb07970.x>

ROSA, Antonella *et al.* Antioxidant profile of strawberry tree honey and its marker homogentisic acid in several models of oxidative stress. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 129, n. 3,

- p. 1045–1053, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.072>
- RUSTAN, Arild C.; DREVON, Christian A. Fatty Acids: Structures and Properties. **Encyclopedia of Life Sciences**, [S. l.], p. 1–7, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/npg.els.0003894>
- SAHA, Supradip *et al.* Anthocyanin Profiling Using UV-Vis Spectroscopy and Liquid Chromatography Mass Spectrometry. **Journal of AOAC INTERNATIONAL**, [S. l.], v. 103, n. 1, p. 23–39, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0201>
- SALAH, Mohammad Reza; MOHEBBI, Mohebbat; TAGHIZADEH, Masoud. Foam-Mat Drying of Cantaloupe (*Cucumis melo*): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 39, n. 6, p. 1798–1808, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12414>
- SALAH, Mohammad Reza; MOHEBBI, Mohebbat; TAGHIZADEH, Masoud. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) pulp powder using foam-mat drying method: Effects of drying conditions on microstructural of mat and physicochemical properties of powder. **Drying Technology**, [S. l.], v. 35, n. 15, p. 1897–1908, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1291518>
- SANG, Shengmin. Bioavailability and metabolism of bioactive food components. **Journal of Functional Foods**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 1–2, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.02.010>
- SANGAMITHRA, A. *et al.* Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 39, n. 6, p. 3165–3174, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12421>
- SANTOS, Carla S. P. *et al.* Effect of cooking on olive oil quality attributes. **Food Research International**, [S. l.], v. 54, n. 2, p. 2016–2024, 2013 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.04.014>
- SANTOS, M. F. G. *et al.* Major components in oils obtained from Amazonian palm fruits. **Grasas y Aceites**, [S. l.], v. 64, n. 3, p. 328–334, 2013 b. Disponível em: <https://doi.org/10.3989/gya.023513>
- SANTOS, M. F. G. *et al.* Minor components in oils obtained from Amazonian palm fruits. **Grasas y Aceites**, [S. l.], v. 64, n. 3, p. 328–334, 2013 c. Disponível em: <https://doi.org/10.3989/gya.023513>
- SANTOS, M. F. G.; ALVES, R. E.; ROCA, María. Carotenoid composition in oils obtained from palm fruits from the Brazilian Amazon. **Grasas Y Aceites**, [S. l.], v. 66, n. 3, p. 1–8, 2015.

Disponível em: <https://doi.org/10.3989/gya.1062142>

SEERANGURAYAR, T. *et al.* Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 215, p. 33–43, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.016>

SEIXAS, Fernanda Rosan Fortunato *et al.* Características físico-química e perfil lipídico da bacaba proveniente da Amazônia ocidental. **Brazilian Journal of Food Research**, [S. l.], v. 7, p. 105–116, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14685/rebrapa.v7n3.3806>

SHAARI, Nur Atiqah *et al.* Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: Effect of whipping time and egg albumen concentration. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 42, n. 2, p. e13467, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13467>

SINGLETON, V. L.; ROSSI, Joseph A.; JR, J. Colorimetry Of Total Phenolics With Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965. Disponível em: <https://doi.org/10.12691/ijebb-2-1-5>

SINGLETON, Vernon L.; ROSSI, Joseph A. Colorimetry Of Total Phenolics With Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965. Disponível em: <https://doi.org/10.12691/ijebb-2-1-5>

SLADE, Louise; LEVINE, Harry. Glass Transitions and Water-Food Structure Interactions. **Advances in Food and Nutrition Research**, [S. l.], v. 38, n. C, p. 103–269, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(08\)60084-4](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(08)60084-4)

SLADE, Louise; LEVINE, Harry; REID, David S. Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [S. l.], v. 30, n. 2–3, p. 115–360, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/2013.17789>

SMITH, Nigel. **Oenocarpus bacaba**. In **Palms and People in the Amazon**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-05509-1>

SOARES, R. de P.; SECCHI, A. R. EMSO: A new environment for modelling, simulation and optimisation. **Computer Aided Chemical Engineering**, [S. l.], v. 14, p. 947–952, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(03\)80239-0](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(03)80239-0)

SOUZA, Vinícius Carvalho. Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a

- qualidade do pó de polpa de cupuaçu. [S. l.], p. 78, 2011.
- SRAMEK, Martin *et al.* Preparation of High-Grade Powders from Tomato Paste Using a Vacuum Foam Drying Method. **Journal of Food Science**, [S. l.], v. 80, n. 8, p. E1755–E1762, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12965>
- TAPIERO, H.; TOWNSEND, D. M.; TEW, K. D. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, [S. l.], v. 58, n. 2, p. 100–110, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2003.12.006>
- TAVARES, Iasnaia Maria de Carvalho *et al.* Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, [S. l.], v. 105, n. June, p. 1060, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.077>
- TEOH, L. I. Shing; LASEKAN, O. L. A.; AZEEZ, Shakirah. Quality Characteristics and Volatile Compounds of Foam Mat Dried Corn Flour. [S. l.], v. 39, p. 456–464, 2016. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfq.12219>
- THAM, Tammie Wei Yi *et al.* Moisture sorption isotherm and caking properties of infant formulas. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 175, p. 117–126, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.014>
- THUWAPANICHAYANAN, Ratiya; PRACHAYAWARAKORN, Somkiat; SOPONRONNARIT, Somchart. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **LWT - Food Science and Technology**, [S. l.], v. 47, n. 2, p. 348–357, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.030>
- THYS, Roberta Cruz Silveira *et al.* Adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch and thermodynamic analysis. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 100, n. 3, p. 468–473, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.033>
- TOCI, Aline T. *et al.* Changes in triacylglycerols and free fatty acids composition during storage of roasted coffee. **LWT - Food Science and Technology**, [S. l.], v. 50, n. 2, p. 581–590, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.007>
- TONON, Renata V. *et al.* Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science and Technology**, [S. l.], v. 44, n. 10, p. 1950–1958, 2009 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02012.x>
- TONON, Renata V. *et al.* Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 94, n. 3–4, p. 215–221,

2009 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.009>

TONON, Renata V.; BRABET, Catherine; HUBINGER, Míriam D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, [S. l.], v. 43, n. 3, p. 907–914, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.013>

TURAN, Ali. Effect of drying methods on fatty acid profile and oil oxidation of hazelnut oil during storage. **European Food Research and Technology**, [S. l.], v. 244, n. 12, p. 2181–2190, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3128-y>

URIBE, Elsa *et al.* Influence of process temperature on drying kinetics, physicochemical properties and antioxidant capacity of the olive-waste cake. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 147, p. 170–176, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.121>

UTPOTT, Michele *et al.* Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder as a fat replacer in ice cream. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 44, n. 5, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14420>

VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. Water activity and its estimation in food systems. *In*: ROCKLAND, L. B.; STEWART, G. F. (org.). **Water activity: influences on food quality**. New York: Academic Press, 1981. p. 147–177. *E-book*.

WALSTRA, Pieter; VLIET, Ton van. Dispersed Systems: Basic Considerations. *In*: DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. (org.). **Fennema's Food Chemistry**. Fifth Edit ed. Boca Raton: CRC Press, 2017. p. 467–539. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781315372914>

YANG, Yi *et al.* Anti-inflammatory and proresolution activities of bergapten isolated from the roots of *Ficus hirta* in an in vivo zebrafish model. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, [S. l.], v. 496, n. 2, p. 763–769, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.01.071>

ZANATTA, Cinthia Fernanda *et al.* Determination of anthocyanins from Camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 53, n. 24, p. 9531–9535, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf051357v>

ZHANG, Yu-jie *et al.* Antioxidant Phytochemicals for the Prevention and Treatment of Chronic Diseases. [S. l.], p. 21138–21156, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules201219753>

10 APÊNDICE

Neste tópico é apresentado como material complementar os resultados obtidos durante o desenvolvimento da tese que não constam nos artigos 1, 2 e 3.

Apêndice A – Testes preliminares de avaliação da formação de espuma de polpa de bacaba.

Para a avaliação dos aditivos que poderiam ser usados para obter-se a espuma da polpa de bacaba foram realizados testes preliminares. Os aditivos foram adicionados a 100 g de polpa conforme as formulações apresentadas na Tabela 1 e homogeneizados durante 20 minutos em batedeira doméstica.

Tabela 1. Resultados de formação de espuma da polpa de bacaba usando diferentes aditivos

Formulação	Característica da espuma	Incorporação de ar	Massa (g)	Volume inicial (mL)	Volume final (mL)	Densidade (g*cm ⁻³)
5 % Albumina + 5 % Emulsificante	Creмоса	x	102,9	180	175	0,572
10 % Albumina	Líquida	-	-	-	-	-
5 % Albumina + 5 % Lecitina	Líquida	-	-	-	-	-
10 % Liga Neutra	Creмоса	x	98,9	90	90	1,099
10 % CMC	Muito consistente	-	-	-	-	-
5 % CMC + 5 % Lecitina	Muito consistente	-	-	-	-	-
5 % Albumina + 5 % Liga Neutra	Creмоса	x	103,9	160	150	0,649
5% Emulsificante + 5 % Liga Neutra	Creмоса	x	101,2	130	120	0,778

Composição dos aditivos:

- Emulsificante Arcolor: água, monodiglicerídios de ácidos graxos, monoleato de sorbitana e sorbato de potássio.
- Albumina Naturovos: clara de ovo pasteurizada desidratada.
- Liga Neutra Du Porto: açúcar, goma guar e carboximetilcelulose.
- CMC Arcolor: carboximetilcelulose.
- Lecitina granulada Nature: lecitina de soja em emulsão, cacau em pó, manitol, stévia e corante caramelo.