



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS

JÉSSICA LISANA OURIQUES BRASILEIRO

POTENCIAL NUTRICIONAL, ANTIOXIDANTE E TECNOLÓGICO DA MACAÍBA

CAMPINA GRANDE, PB.

AGOSTO - 2018

JÉSSICA LISANA OURIQUES BRASILEIRO

POTENCIAL NUTRICIONAL, ANTIOXIDANTE E TECNOLÓGICO DA MACAÍBA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutora em Engenharia de Processos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

CAMPINA GRANDE, PB.

AGOSTO – 2018

B823p

Brasileiro, Jéssica Lisana Ouriques.

Potencial nutricional, antioxidante e tecnológico da macaíba / Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro. - Campina Grande-PB, 2018.

214 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação: Profa. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz".

Referências.

1. *Acrocomia intumescens*. 2. Cinética de Secagem. 3. Potencial Nutricional da Macaíba. I. Figueirêdo, Rossana Maria Feitosa de. II. Queiroz, Alexandre José de Melo. III. Título.

CDU 634.1(043)

POTENCIAL NUTRICIONAL, ANTIOXIDANTE E TECNOLÓGICO DA MACAÍBA

JÉSSICA LISANA OURIQUES BRASILEIRO

Tese aprovada em 28 de Agosto de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Rossana M^a F. de Figueirêdo

Prof. Dr. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Orientadora

Alexandre J M Queiroz

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Orientador

Josivanda P. Gomes

Prof. Dr. Josivanda Palmeira Gomes
Examinadora Interna

Maria Elicidy G. de Oliveira

Prof. Dr. Maria Elicidy Gomes de Oliveira
Examinadora Externa

Flávia Carolina Alonso Buriti

Prof. Dr. Flávia Carolina Alonso Buriti
Examinadora Externa

Pablicia Oliveira Galdino

Prof. Dr. Pablicia Oliveira Galdino
Examinadora Externa

A DEUS, pois tem feito coisas maravilhosas; tem cumprido fielmente os planos que prometeu.

Aos meus pais, José Valdemar e Lúcia de Fátima, que incansavelmente dedicam suas vidas à minha.

Ao meu esposo e melhor amigo, Gabriel de Sá, pelo apoio incondicional. Essa vitória é nossa.

A todos os pesquisadores, pelo trabalho exaustivo e por todas as renúncias em nome da ciência.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que através do seu infinito amor e misericórdia tem derramado bênçãos em minha vida. “E tudo o que vocês fizerem ou disserem façam em nome do Senhor Jesus e por meio Dele agradeçam a Deus, o Pai” Cl 3,17. E a Nossa Senhora, que tem intercedido por mim como uma mãe.

Aos meus pais, Lúcia de Fátima e José Valdemar Brasileiro, que investiram sempre na minha educação, abraçando todos os meus sonhos e lutando junto comigo para alcançá-los, com tanto amor, dedicação, perseverança e renúncias me fizeram chegar até aqui. A minha irmã Islanny, Brasileiro, pelo companheirismo, por entender as dificuldades da pesquisa científica, por tirar minhas dúvidas e revisar meus textos. Você me motiva a ser uma pessoa melhor.

Ao meu esposo, Gabriel de Sá, pelo amor, apoio e compreensão nos momentos de cansaço, nas horas extras e finais de semanas dedicados ao doutorado, por sua ajuda com a macaíba, na execução de análises e processamento dos dados. Sua presença e seu incentivo foram fundamentais para superar todos os desafios e alcançar essa realização. Te amo muito!

Aos meus pais de coração, Lúcia e Inácio Ouriques, meu porto seguro em Campina Grande, onde me recebem sempre com tanto amor e hospitalidade, que juntos com minha tia, Neuma Ouriques, ajudaram na coleta das macaíbas. E a todos os meus familiares que de forma direta ou indireta apoiaram meu estudo.

Aos meus irmãos de coração Luzianny, Ivson e Vinícius, pela torcida, alegrias compartilhadas e amizade.

Aos meus amigos, que compreendem a difícil jornada do doutorado, pela troca de experiências, pelos desabafos e suporte. Em especial, Thaisa e Rennan Gusmão, que não me deixaram desistir da pós-graduação e me motivaram a ingressar no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos. A Bruno Meireles, pelas análises cromatográficas, apoio e amizade. A Sonnalle Costa, pelas conversas, pelo harmonioso convívio e amizade. A Katharina Sassi, por ser integrante fundamental desse trabalho, participando desde a concepção da ideia até a impressão, toda forma de gratidão jamais será suficiente para retribuir toda a ajuda.

A minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, pela confiança, paciência, dedicação que tem a todos os seus orientandos, pelas valiosas conversas,

orientações, conselhos e ensinamentos, pelo exemplo de trabalho, esforço e inteligência. É imensurável o aprendizado adquirido ao longo desses 4 anos. Tens minha eterna gratidão e admiração.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, por acreditar no potencial científico da macaíba, que, por meio de suas palavras em Seminários I, fui motivada a valorizar mais a fruta e o estudo que eu estava desenvolvendo. Pelos seus ensinamentos sobre reologia e suas correções minuciosas que lapidaram e deram brilho a esse trabalho.

Às professoras, Dr^a. Josivanda Gomes, Dr^a. Elieidy Oliveira, Dr^a. Flávia Buriti, Dr^a. Pablícia Galdino, pela honra e presteza de participar do Exame de Qualificação e Defesa de Tese e pela certeza das suas valiosas contribuições para melhoria deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, aos docentes e técnicos administrativos.

Às minhas colegas de doutorado, Thayze, Alessandra, Jacinete e Ruth pelos momentos de descontração, estudo, pesquisa e desabafos.

Aos meus colegas de laboratório, do LARBIM, LACOM, Bioengenharia, LEA, LABEME, Tecnologia de Carnes, LASA e do LAPPA, em especial, Jordana, Viviane, Maristela, Débora, Joyce, Regilane, Daniela, Ana Raquel, Fran e Adelino, pelo suporte no laboratório e nas análises, pela troca de experiências, e por toda ajuda concedida para alcançar essa vitória.

Aos meus colegas do Departamento de Engenharia de Alimentos, em especial a Lincoln Pontes, Katharina Sassi, e ao o prof. Dr. Ricardo Targino, pela compreensão, conselhos e flexibilidade para o desempenho das atividades do doutorado.

A minha psicóloga, Elayne Cabral, que tem acompanhado meu crescimento acadêmico, profissional e emocional, ajudando a superar meus medos, angústias, cobranças e ansiedades.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro concedido.

A todos, que de alguma forma contribuíram para esta conquista, que torceram e me inspiraram, meu carinho e respeito.

MUITO OBRIGADA!

“Mas nenhuma arma poderá derrotar você, e, se alguém for ao tribunal para acusá-la, você não será condenada. O que eu faço pelos meus servos é isto: eu lhes dou a vitória. O Senhor falou.”

Isaías 54:17

RESUMO

A macaíba é uma fruta nativa de países tropicais como o Brasil e tem sido explorada de forma artesanal. A polpa de macaíba é comestível, de coloração amarela, fibrosa, de sabor e odor agradável e sua amêndoa também pode ser incluída na alimentação. Este trabalho objetivou estudar o potencial nutricional, antioxidante e tecnológico desse fruto visando contribuir para o desenvolvimento de novos produtos. Para isso, a polpa e a amêndoa da macaíba foram caracterizadas quanto à sua composição nutricional através de análises físico-químicas, e sua capacidade antioxidante através dos ensaios de DPPH, ABTS, FRAP e sistema β -caroteno/ácido linoleico nos extratos metanólicos, etanólicos, hexânicos e aquosos, onde verificou-se que ambas têm alto valor nutricional, sendo ricas em lipídeos (8,45 g/100 g e 22,66 g/100 g, respectivamente), carboidratos e fibra bruta (10,83 g/100 g e 39,83 g/100 g, respectivamente), proteínas (1,99 g/100 g e 8,96 g/100 g, respectivamente) e minerais (K, P, Ca e Mg), além de serem fontes de compostos fenólicos (12,41 g/100 g e 13,49 g/100 g, respectivamente, extrato aquoso), com interessante capacidade antioxidante (41,85 $\mu\text{mol Tx/g}$ e 31,02 $\mu\text{mol Tx/g DPPH}$). O comportamento reológico da polpa de macaíba foi avaliado (10-50 °C e 2,5-200 rpm) em viscosímetro, e os resultados apontaram o comportamento de fluido não-newtoniano com características pseudoplásticas, sendo o modelo de Mizrahi-Berk ($R^2 > 0,97$ e $P < 4,11\%$) o que melhor descreveu os reogramas. A polpa de macaíba foi submetida a secagem convectiva em camada fina (espessura 0,5 cm) em diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C), tendo o modelo de Page ($R^2 > 0,99$ e $DQM < 0,018$) melhor descrito a cinética de secagem, sendo a secagem a 70 °C a melhor condição de secagem para obtenção da macaíba em pó, por ter preservado uma maior quantidade de carotenoides (2,53 g/100 g). A macaíba em pó (70 °C) foi caracterizada quanto aos aspectos físicos e químicos, além de sua higroscopicidade (20, 30 e 40 °C) e armazenabilidade (25 °C e 35 °C durante 90 dias), sendo observadas boa molhabilidade (0,23 g/min), coesividade intermediária (Fator de Hausner, 1,37), razoável fluidez (Índice de Carr, 26,95%) e solubilidade (53,81%), além de boa estabilidade ao armazenamento, observando perdas consideráveis apenas para o teor de carotenoides, acidez, lipídeos, índice de peróxido, cor e solubilidade. As isotermas de adsorção foram consideradas sigmoidais do tipo II e os modelos de GAB ($R^2 > 0,99$ e $P < 5,63\%$) e Iglesias e Chirife ($R^2 > 0,98$ e $P < 6,60\%$) tiveram melhores ajustes. A polpa de macaíba foi utilizada na elaboração de sorvete tanto na forma *in natura* quanto em pó, e a amêndoa na elaboração de extrato hidrossolúvel, obtendo boa aceitação sensorial (índice de aceitabilidade $> 70\%$) para os parâmetros de aparência, cor, aroma, textura, doçura, sabor, impressão global, com notas entre 6 e 8 (escala hedônica de 9 pontos) para os sorvetes e notas entre 7,5 e 8 para o extrato vegetal. Os sorvetes apresentaram boa qualidade tecnológica, possuindo *overrun* de 62,2% para a formulação com a polpa *in natura* e 86% para a formulação com macaíba em pó, além de derretimento iniciando após 20 min e tendo fusão completa em 75 min e 60 min, respectivamente. O extrato hidrossolúvel de amêndoa de macaíba com sabor goiaba apresentou alto teor de água (81,64 g/100 g), lipídeos (5,43 g/100 g), carboidratos (11,31 g/100 g) e proteínas (0,97 g/100 g). Pode-se concluir que a macaíba tem elevada qualidade nutricional, antioxidante e tecnológica podendo ser uma matéria-prima em potencial para o desenvolvimento de novos produtos, em especial sorvetes e extratos vegetais.

Palavras-chave: *Acrocomia intumescens*. Cinética de secagem. Estabilidade. Aceitabilidade.

ABSTRACT

Macaíba is a native fruit from tropical countries like Brazil and has been exploited artisanally. The macaíba pulp is edible, yellow in color, fibrous, with pleasant taste and odor and its almond can also be included in the food. This work aimed to study the nutritional, antioxidant and technological potential of this fruit in order to contribute to the development of new products. For this purpose, macaíba pulp and almond were characterized in terms of their nutritional composition through physicochemical analyzes and their antioxidant capacity through the DPPH, ABTS, FRAP and β -carotene/linoleic acid assays in methanolic, ethanolic, hexane and aqueous extracts, where it was verified that both had high nutritional quality, being rich in lipids (8.45 g/100 g and 22.66 g/100 g, respectively), carbohydrates and crude fiber (10.83 g/100 g and 39.83 g/100 g, respectively), proteins (1.99 g/100 g and 8.96 g/100 g, respectively) and minerals (K, P, Ca and Mg), besides being sources of phenolic compounds (12.41 g/100 g and 13.49 g/100 g, respectively, aqueous extract), With an interesting antioxidant capacity (41.85 $\mu\text{mol Tx/g}$ and 31.02 $\mu\text{mol Tx/g}$, DPPH), respectively. The macaíba pulp rheological behavior was evaluated (10-50 °C and 2.5-200 rpm) in viscometer, and the results showed non-Newtonian fluid behavior with pseudoplastic characteristics, being the Mizrahi-Berk model ($R^2 > 0.97$ and $P < 4.11\%$) which best described the rheograms. The macaíba pulp was subjected to thin layer convective drying (0.5 cm thickness) at different temperatures (50, 60, 70 and 80 °C). The Page model ($R^2 > 0.99$ and $DQM < 0.018$) the drying kinetics were better described, and the drying condition at 70 °C was the best drying condition to obtain powdered macaíba because it had preserved a greater amount of carotenoids (2.53 g/100 g). Macaíba powder (70 °C) was characterized in terms of physicochemical aspects, hygroscopicity (20, 30 and 40 °C) and storability (25 °C and 35 °C for 90 days), was observed good wettability (Hausner Factor, 1.37), reasonable flowability (Carr Index, 26.95%) and solubility (53.81%), as well as good storage stability, observing considerable losses only for the carotenoid content, acidity, lipids, peroxide index, color and solubility. The adsorption isotherms were considered as type II sigmoids and the GAB ($R^2 > 0.99$ and $P < 5.63\%$) and Iglesias and Chirife ($R^2 > 0.98$ and $P < 6.60\%$) models had better adjustments. The macaíba pulp was used in the elaboration of ice cream in both the in natura and powder forms, and the almond in the elaboration of water soluble extract, obtaining good sensory acceptance (acceptability index $> 70\%$) for parameters of appearance, color, aroma, texture, sweetness, flavor, overall impression, with notes between 6 and 8 (hedonic scale of 9 points) for ice creams and notes between 7.5 and 8 for the vegetable extract. The ice cream presented a good technological quality, having a 62.2% overrun for the formulation with the in natura pulp and 86% for the formulation with macaíba powder, besides melting starting after 20 min and having complete melting in 75 min and 60 min, respectively. The macaíba almond water-soluble extract flavored with guava presented high water content (81.64 g/100 g), lipids (5.43 g/100 g), carbohydrates (11.31 g/100 g) and proteins (0.97 g/100 g). It can be concluded that macaíba has high nutritional, antioxidant and technological quality, being a potential raw material for the development of new products, especially ice cream and vegetable extracts.

Key words: *Acrocomia intumescens*. Drying kinetics. Stability. Acceptability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Partes constituintes da macaíba	20
Figura 2 - Curva de secagem	32
Figura 3 - Isoterma de sorção para produtos alimentícios.....	35
Figura 4 - Fluxograma de processamento das macaíbas	433
Figura 5 - Delineamento experimental da macaíba	444
ARTIGO 1	
Figura 1 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação da polpa de macaíba em diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	855
Figura 2 - Relação entre viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa de macaíba em diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	88
Figura 3 - Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de macaíba nas velocidades de rotação de 2,5 a 200 rpm com ajustes pela equação de Arrhenius	89
ARTIGO 2	
Figura 1 - a) Curvas de cinética de secagem da polpa de macaíba com ajustes com o modelo de Page; b) Taxas de secagem da polpa de macaíba em função do tempo nas diferentes temperaturas de secagem (50, 60, 70 e 80 °C)	102
Figura 2 - Efeito da temperatura de secagem da polpa de macaíba na difusividade efetiva ..	104
ARTIGO 3	
Figura 1 - Percentual de inibição da auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico no extrato aquoso da amêndoa.....	122
ARTIGO 5	
Figura 1 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de macaíba em pó.....	161
Figura 2 - Isotermas de adsorção de água da macaíba em pó em diferentes temperaturas com ajustes com o modelo de GAB	163
Figura 3 - Estabilidade dos carotenoides da macaíba em pó em diferentes condições de armazenamento, 25 e 35 °C, UR 84%	168
ARTIGO 6	
Figura 1 - Comportamento do derretimento das formulações de sorvetes de macaíba.....	180
Figura 2 - Aceitação sensorial e intenção de compra dos sorvetes elaborados com polpa de macaíba <i>in natura</i> (F1) e polpa em pó (F2).....	182

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de macaíba relacionando a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação.....	81
Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de macaíba relacionando a viscosidade aparente e a taxa de deformação.....	82
Tabela 3 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados ao comportamento reológico da polpa de macaíba em função da tensão de cisalhamento e taxa de deformação	83
Tabela 4 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados as curvas da viscosidade aparente da polpa de macaíba em função da taxa de deformação.....	86
Tabela 5 - Valores de energia de ativação (E_a) da polpa de macaíba nas velocidades de rotação de 100 e 200 rpm	90

ARTIGO 2

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem da polpa de macaíba.....	97
Tabela 2 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados às curvas de secagem da polpa de macaíba, em diferentes temperaturas, com seus respectivos parâmetros estatísticos	99
Tabela 3 - Valores de difusividade efetiva e propriedades termodinâmicas nas temperaturas de secagem da polpa de macaíba.....	105

ARTIGO 3

Tabela 1 - Teor de fenólicos extraíveis totais em polpa e amêndoa de macaíba.....	116
Tabela 2 - Capacidade antioxidante, pelos ensaios DPPH e ABTS, da polpa e da amêndoa de macaíba para os diferentes extratos	119
Tabela 3 - Capacidade antioxidante pelo ensaio FRAP da polpa e amêndoa de macaíba para os diferentes extratos.....	121
Tabela 4 - Identificação e quantificação dos compostos fenólicos por HPLC na polpa e na amêndoa de macaíba no extrato metanólico.....	123

ARTIGO 4

Tabela 1 - Propriedades físicas e físico-químicas da polpa de macaíba in natura.....	137
Tabela 2 - Composição mineral (%) da polpa de macaíba in natura.....	140
Tabela 3 - Rendimento e propriedades físicas, físico-químicas da polpa de macaíba em pó	141
Tabela 4 - Capacidade antioxidante da macaíba em pó em diferentes metodologias e temperaturas de secagem	143

Tabela 5 - Identificação e quantificação dos compostos fenólicos por HPLC na polpa de macaíba submetida a secagem a 70 °C.....	145
ARTIGO 5	
Tabela 1 - Propriedades físico da macaíba em pó	159
Tabela 2 - Valores dos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados as isotermas de adsorção de água da macaíba em pó.....	162
Tabela 3 - Parâmetros de qualidade avaliados durante o armazenamento do pó de macaíba temperaturas de 25 °C e 35 °C com umidade relativa de 84%.....	165
ARTIGO 6	
Tabela 1 - Composição e quantidade relativa (%) de ácidos graxos identificados na polpa de macaíba <i>in natura</i> e em pó	179
Tabela 2 - Índice de aceitabilidade do sorvete de macaíba	183
ARTIGO 7	
Tabela 1 - Propriedades físicas e físico-químicas da amêndoa de macaíba	192
Tabela 2 - Composição mineral (%) da amêndoa de macaíba	194
Tabela 3 - Composição e quantidade relativa (%) de ácidos graxos identificados na amêndoa de macaíba	195
Tabela 4 - Propriedades físicas e físico-químicas do extrato hidrossolúvel de amêndoa de macaíba sabor goiaba.....	196
Tabela 5 - Aceitação sensorial do extrato hidrossolúvel de amêndoa de macaíba sabor goiaba	197

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Modelos matemáticos utilizados para descrever o comportamento reológico de alimentos.....	28
Quadro 2 - Equações empíricas e semiempíricas para curvas de cinética de secagem de materiais alimentícios	33
Quadro 3 - Modelos matemáticos utilizados para descrever isothermas de sorção de alimentos	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIS	Associação Brasileira das Indústrias e dos Setor de Sorvetes
ABTS	2,2 - azinobis (3 - etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
AG	Ácidos graxos
AGS	Ácidos graxos saturados
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CUPRAC	Cupric ion reducing antioxidante capacity
DCFI	2,6-diclorofenolindofenol-sódio
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
EAG	Equivalente de ácido gálico
EtOH	Etanol
FH	Fator de Hausner
FRAP	Poder antioxidante de redução do ferro
FRX	Fluorescência de raios-X
GCMS	Cromatografia gasosa com espectrometria de massa
HDL	High density lipoprotein
HPLC	Cromatografia líquida de alto desempenho
IC	Índice de compressibilidade
LDL	Low density lipoprotein
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MUFA	Ácidos graxos monoinsaturados
ORAC	Cupric ion reducing antioxidante capacity
PUFA	Ácidos graxos polinsaturados
SF	Sulfato ferroso
TPTZ	2,4,6-Tri(2-piridil)-1,3,5 - triazina
TRAP	Total radical trapping antioxidante paramenter
Tx	Trolox
UR	Umidade relativa
UV-Vis	Ultravioleta-Visível
ω - 3	Ômega 3
ω - 6	Ômega-6
ω - 9	Ômega-9

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVO GERAL	18
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	MACAÍBA	20
2.2	QUALIDADE NUTRICIONAL DA MACAÍBA	22
2.3	COMPOSTOS BIOATIVOS	23
2.3.1	Carotenoides	23
2.3.2	Ácidos graxos	24
2.3.3	Compostos fenólicos	25
2.4	CAPACIDADE ANTIOXIDANTE	26
2.5	REOLOGIA	27
2.6	SECAGEM DE POLPA DE FRUTAS	29
2.6.1	Cinética de secagem	32
2.6.2	Atividade de água e isotermas de sorção	34
2.7	SORVETE	37
2.8	EXTRATO HIDROSSOLÚVEL	39
2.9	ANÁLISE SENSORIAL	40
3	MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1	LOCAL DE EXECUÇÃO	42
3.2	MATÉRIA-PRIMA	42
3.3	PROCESSAMENTO DA POLPA E AMÊNDOA DA MACAÍBA	42
3.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	43
3.5	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E QUÍMICA DA POLPA E DAS AMÊNDOAS DA MACAÍBA	45
3.5.1	Acidez, pH, cor e atividade de água	45
3.5.2	Composição centesimal	45
3.5.3	Perfil de minerais	45
3.5.4	Perfil de ácidos graxos	46
3.5.5	Ácido ascórbico	46
3.5.6	Carotenoides	46
3.5.7	Flavonoides	47

3.6	OBTENÇÃO DOS EXTRATOS	47
3.6.1	Compostos fenólicos totais	48
3.6.2	Determinação da capacidade antioxidante	48
3.6.2.1	<i>Atividade sequestrante do radical livre DPPH.....</i>	49
3.6.2.2	<i>Atividade sequestrante do radical livre ABTS</i>	49
3.6.2.3	<i>Poder antioxidante de redução do ferro</i>	50
3.6.2.4	<i>Auto-oxidação do sistema β-caroteno/ácido linoleico.....</i>	50
3.6.3	Identificação e quantificação dos compostos fenólicos.....	51
3.7	MEDIDAS REOLÓGICAS DA POLPA DE MACAÍBA NO REGIME ESTACIONÁRIO.....	52
3.8	CINÉTICA DE SECAGEM	52
3.8.1	Difusividade efetiva	53
3.8.2	Propriedades termodinâmicas.....	54
3.8.3	Rendimento do pó.....	54
3.9	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE MACAÍBA EM PÓ	55
3.9.1	Índice de peróxido	55
3.9.2	Densidade aparente	56
3.9.3	Densidade compactada.....	56
3.9.4	Densidade absoluta.....	56
3.9.5	Fator de Hausner	56
3.9.6	Índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC).....	57
3.9.7	Molhabilidade	57
3.9.8	Solubilidade.....	57
3.9.9	Porosidade	58
3.9.10	Morfologia	58
3.9.11	Potencial antioxidante	58
3.10	CARACTERIZAÇÃO DO PÓ SELECIONADO.....	59
3.10.1	Isotermas de adsorção de água.....	59
3.10.2	Perfil de fenólicos.....	59
3.10.3	Perfil de ácidos graxos.....	60
3.10.4	Estudo da estabilidade durante o armazenamento	60
3.11	ELABORAÇÃO DE SORVETE DE MACAÍBA	60

3.12 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DOS SORVETES DE MACAÍBA.....	61
3.13 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO SORVETE.....	61
3.13.1 Overrun	61
3.13.2 Derretimento	62
3.14 ANÁLISE SENSORIAL DO SORVETE DE MACAÍBA	62
3.15 ELABORAÇÃO DO EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DA AMÊNDOA DA MACAÍBA COM ADIÇÃO DE POLPA DE GOIABA.....	63
3.16 CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DA AMÊNDOA DA MACAÍBA SABOR GOIABA	63
3.17 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DA AMÊNDOA DE MACAÍBA SABOR GOIABA.....	63
3.18 ANÁLISE SENSORIAL DO EXTRATO ELABORADO	64
3.19 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	64
REFERÊNCIAS	66
4 RESULTADOS	77
ARTIGO 1 - MODELAGEM MATEMÁTICA DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE MACAÍBA EM DIFERENTES TEMPERATURAS.....	78
ARTIGO 2 - MODELAGEM MATEMÁTICA E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DA SECAGEM DA POLPA DE MACAÍBA.....	94
ARTIGO 3 - PERFIL DE COMPOSTOS FENÓLICOS E EFEITO DO SOLVENTE DE EXTRAÇÃO NOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE MACAÍBA.....	109
ARTIGO 4 - EFEITO DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E NO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA POLPA DE MACAÍBA	129
ARTIGO 5 - PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DA MACAÍBA EM PÓ: PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E ESTABILIDADE AO LONGO DO ARMAZENAMENTO.....	151
ARTIGO 6 - POLPA DE MACAÍBA APLICADA NA ELABORAÇÃO DE SORVETES	173
ARTIGO 7 - ELABORAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E ACEITAÇÃO SENSORIAL DO EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DA AMÊNDOA DE MACAÍBA	187
5 CONCLUSÕES GERAIS	202
APÊNDICES	203
ANEXOS	207

1 INTRODUÇÃO

A palmeira macaibeira ou macaíba do gênero *Acrocomia* é nativa das Américas tropicais tendo sua ocorrência bastante comum no Nordeste do Brasil (SILVA, 2007). O fruto possui grande potencial produtivo, uma vez que podem ser aproveitados a casca, a polpa, o endocarpo e a amêndoa. Sua polpa é usada na alimentação humana, sendo rica em lipídeos, carboidratos totais, fibra bruta, sais inorgânicos, proteínas, potássio, cálcio, fósforo, corantes e ácido oleico. Possui também atividade antioxidante pela presença de carotenoides (principalmente o β -caroteno, precursor da vitamina A), compostos fenólicos, flavonoides e tocoferóis (RAMOS et al., 2008). A amêndoa é rica em proteínas, fibras, vitaminas e minerais (cobre, ferro, manganês, zinco), ácido láurico, oleico, palmítico, e seu óleo extraído é utilizado nas indústrias de cosméticos, farmacêutica e combustível (biodiesel) (HIANE et al., 2005; 2006a; MARTIN et al., 2006; RAMOS et al., 2008; RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004; RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008; TAPIERO; TOWNSEND; TEW, 2004).

O alto valor nutricional da macaíba revela que sua utilização na alimentação pode trazer benefícios à saúde humana. Seu elevado teor de fibras indica que tem potencial para melhorar as características tecnológicas e sensoriais (COIMBRA; JORGE, 2011a), além de possuir excelente conteúdo de proteínas, conferindo uma grande variedade de aminoácidos essenciais de alta digestibilidade, e compostos bioativos que despertam o interesse para a incorporação dessa fruta no desenvolvimento de novos produtos (HIANE et al., 2006b; TAPIERO; TOWNSEND; TEW, 2004). Apesar de sua abundante frutificação, fácil adaptação, ter o potencial de melhorar as propriedades tecnológicas, nutricionais, sensoriais e funcionais dos alimentos aos quais a fruta é incorporada, esta tem sido explorada de forma extrativista, bem aquém de seus potenciais econômicos e alimentares.

As frutas *in natura* possuem alta quantidade de água que está relacionado com as reações químicas e enzimáticas e com o crescimento de micro-organismos, o que facilita sua deterioração. Diante disso, diversas operações unitárias reduzem a disponibilidade de água através da remoção de água reduzindo a velocidade das reações de deterioração, como secagem e liofilização, sendo o processo de secagem um dos procedimentos de preparação para o armazenamento mais praticados e consiste na redução da atividade de água através da remoção da maior parte do seu teor de água. Além de prolongar o tempo de conservação do alimento, promove a redução do peso, do volume e, conseqüentemente, reduz os custos de

transporte e armazenamento. Após o processo, pode-se fragmentar o material a fim de se obter pó reconstituível (FELLOWS, 2006).

A busca por produtos saudáveis com apelo funcional vem de encontro a incorporação de frutas no desenvolvimento de novos produtos, e o sorvete é um alimento amplamente difundido no mundo, enquanto o extrato vegetal vem atendendo novas tendências de mercado de “leites vegetais”, ambos com elevada aceitação sensorial, sendo matrizes alimentícias em potencial para agregar novos sabores e valor nutricional. Para isso é importante caracterizar a matéria-prima quanto ao seu aspecto nutricional, tecnológico (propriedades termodinâmicas, reológicas e armazenabilidade), funcional e sensorial tendo em vista a verificação de suas qualidades e viabilidade para o processamento industrial de matérias-primas nativas como a macaíba, além de comercialização em embalagens que preservem suas qualidades.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar as características nutricionais, antioxidantes e tecnológicas da polpa e da amêndoa da macaíba e sua incorporação em alimentos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os parâmetros físicos e físico-químicos da polpa e da amêndoa da macaíba;
- Quantificar os compostos bioativos da polpa e da amêndoa de macaíba;
- Otimizar o processo de extração de antioxidantes utilizando diferentes solventes na quantificação da capacidade antioxidante da polpa e amêndoa de macaíba;
- Determinar o perfil de minerais, compostos fenólicos e ácidos graxos da polpa e amêndoa de macaíba;
- Avaliar o comportamento reológico da polpa de macaíba em diferentes temperaturas e velocidades de rotação;
- Determinar a cinética de secagem da polpa de macaíba em diferentes temperaturas;
- Caracterizar quanto aos parâmetros físicos e físico-químicos os pós da polpa de macaíba obtidos nas diferentes temperaturas;
- Verificar a capacidade antioxidante dos pós da polpa de macaíba desidratada em diferentes temperaturas;

- Selecionar o melhor pó da polpa de macaíba de acordo com os parâmetros físicos e físico-químicos e avaliá-lo quanto à qualidade microbiológica;
- Analisar o perfil de ácidos graxos e compostos fenólicos do pó selecionado;
- Determinar as isotermas de adsorção de água do pó de macaíba selecionado;
- Analisar a estabilidade por meio dos parâmetros físicos e físico-químicos, do pó selecionado durante o armazenamento;
- Elaborar sorvetes com adição de polpa *in natura* e pó de macaíba, caracterizando-os quanto aos parâmetros tecnológicos e sensoriais;
- Extrair e realizar a análise sensorial e a caracterização físico-química do extrato hidrossolúvel da amêndoa da macaíba.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

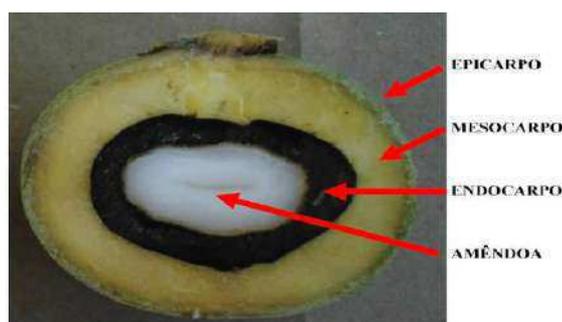
2.1 MACAÍBA

A macaíbeira é uma palmeira arborescente, perene, frutífera e nativa de florestas tropicais. Enquadra-se no gênero *Acrocomia*, pertencente à família Arecaceae. O termo *Acrocomia* tem origem grega e descreve a disposição das folhas na planta, “Akron” (cima) e “Kome” (cabeleira), sugerindo o formato de coroa. No Brasil é considerada a palmeira de maior dispersão, com povoamentos naturais espalhados por todo o território nacional, principalmente nos estados do Ceará, Pernambuco, Minas Gerais, Mato Grosso, São Paulo e por toda a Região Sul. Devido à sua ampla dispersão geográfica é conhecida, em função da região de sua ocorrência, por diversas denominações como macaúba, mocajá, bocaiúva, imbocaiá, coco de espinheiro, carnaíba (AMARAL et al., 2011).

Entre as espécies identificadas do gênero *Acrocomia*, três são exploradas extrativamente no Brasil, *A. aculeata*, popularmente conhecida como macaúba, difundida em vários estados; *A. intumescens*, denominada como macaíba, endêmica da Zona da Mata da Região Nordeste; e a *A. totai*, designada de bocaiúva, distribuída na maior parte do estado do Mato Grosso do Sul, nas áreas do Cerrado e Pantanal (LORENZI et al., 2010; VIANNA et al., 2017).

A espécie de macaíbeira *Acrocomia intumescens* é nativa e endêmica no Brasil, apresenta ocorrência natural na Região Nordeste, contém características singulares e é a única do gênero existente nessa parte do território brasileiro. O caule é bojudo na sua parte mediana, dando-lhe um aspecto de “barriga”, o que a torna distinta de outras espécies. Seus frutos (Figura 1) são esféricos com diâmetros variando de 2,5 a 5 cm, sendo dispostos em cachos localizados na parte superior da palmeira (COSTA, 2012).

Figura 1 - Partes constituintes da macaíba



Fonte: Almeida (2014).

A frutificação ocorre durante todo o ano e o amadurecimento dos frutos acontece, geralmente, entre os meses de setembro e janeiro. Cerca de 20% da massa dos frutos é formada pela casca, enquanto que a polpa e a amêndoa representam 33% e 7% da massa total do fruto, respectivamente. O epicarpo (casca) apresenta coloração marrom-amarelada rompendo-se com facilidade quando maduro. O mesocarpo (polpa) é comestível, fibroso, de sabor suave nos frutos recém colhidos e mais acentuado e adocicado, conforme, o fruto vai amadurecendo, rico em triglicerídeos e de coloração amarelada. O endocarpo é fortemente aderido à polpa, rígido e negro. Apresenta, ainda, amêndoa comestível no interior do endocarpo, podendo conter uma ou duas amêndoas (COSTA, 2012).

A palmeira *A. intumescens* se desenvolve bem em áreas onde o solo tem baixa fertilidade, tem grande resistência a queimadas, podendo assim ser cultivada em locais que sofrem com secas prolongadas, características ideais para a produção de biomassa, sendo uma alternativa de cultivo para áreas semiáridas (SILVA et al., 2015).

A escassez de pesquisas sobre as propriedades físicas e químicas, o potencial nutricional, terapêutico e tecnológico da macaíba (*A. intumescens*), possibilitam novos estudos científicos sobre alternativas de utilização industrial, caracterização e conservação para aplicação em alimentos de consumo cotidiano. No entanto, sobre os frutos da espécie *A. aculeata* existem mais dados científicos e por apresentarem semelhanças nas características fenotípicas essas pesquisas serão usadas como referencial teórico, embora Vianna et al. (2017) tenha revelado a existência de variação dentro de uma população e entre espécies, *A. aculeata*, *A. intumescens* e *A. totai*.

Segundo a “Rede Macaúba de Pesquisas” o fruto da macaíba é explorado comercialmente em algumas regiões do Brasil e no Paraguai. Nesses países, a sua utilização varia desde a produção artesanal de alimentos (farinhas, sorvetes, óleos, doces e licores) até a farmacoquímica (cosméticos e sabões). Entretanto, embora esta espécie apresente ampla utilização, apenas nos últimos anos o seu fruto tem despertado interesse socioeconômico devido ao seu rendimento de, aproximadamente, 6.000 Kg de óleo por hectare. No entanto, a extração do óleo em muitos casos é realizada de forma rudimentar (REMAPE, 2011; SOUZA, 2016).

Todo o fruto da macaíba pode ser aproveitado, por exemplo, a polpa pode ser utilizada na elaboração de alimentos, o óleo da amêndoa é matéria-prima para sabões, sabonetes, margarina e cosméticos. As tortas resultantes da extração do óleo da amêndoa podem ser direcionadas para alimentação animal. As folhas aproveitadas para confecção de

redes e linhas de pesca. Do broto terminal pode-se retirar o palmito, já o endocarpo é matéria-prima para o carvão vegetal e carvão ativado (AMARAL et al., 2011).

As alternativas para o melhor aproveitamento deste fruto vêm sendo apontadas em experimentos realizados no Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) do Distrito Federal, que desenvolveram várias receitas apreciáveis e nutritivas utilizando a polpa e a amêndoa da macaíba, tais como: doces, paçocas, geleias e cocadas (AMARAL et al., 2011). No entanto, esses esforços ainda estão aquém do potencial do fruto.

Diversas pesquisas vêm sendo publicadas sobre ao óleo da macaíba, tanto da polpa como da amêndoa, na área de biocombustíveis e alimentícia: por Bora e Rocha (2004) estudaram o perfil de ácidos graxos e aminoácidos do óleo da macaíba; Coimbra e Jorge (2011b) caracterizaram o óleo da macaíba e sua estabilidade; Ferrari e Azevedo Filho (2012) avaliaram diferentes condições de extração do óleo para a produção de biodiesel; Hiane et al. (2005) abordaram a caracterização físico-química e perfil de ácidos graxos da macaíba; Michelin et al. (2015) investigaram a produção de biodiesel a partir do óleo da amêndoa da macaíba; Nascimento et al. (2016) observaram diferentes condições de extração supercrítica dos óleos da polpa e amêndoa; Ríó et al. (2016) determinaram as características térmicas dos óleos da polpa e amêndoa; Trentini et al. (2016) verificaram diferentes condições de extração do óleo em baixas pressões. A cadeia produtiva da macaíba embora esteja emergindo no setor de biocombustíveis, na área alimentícia seu processamento é realizado de forma artesanal. Um dos gargalos para a utilização desse fruto em vários segmentos industriais é seu processamento inadequado, refletindo a necessidade de adotar novas tecnologias em todas as fases do processamento (SOUZA, 2016).

2.2 QUALIDADE NUTRICIONAL DA MACAÍBA

As características físico-químicas são indicadoras das características sensoriais, nutricionais e tecnológicas importantes tanto na industrialização como no consumo dos frutos *in natura* (MOOZ; CASTELUCCI; SPOTO, 2012).

As sementes comestíveis, como o amendoim e amêndoas, contêm teores elevados de lipídeos (cerca de 40 a 60%), com exceção da castanha, que possui apenas 2 a 3% de lipídeos. Além disso, são fontes de outros nutrientes e substâncias com propriedades de alegação de saúde, também denominados funcionais ou compostos biologicamente ativos. Destacando-se o conteúdo considerável de fitoesteróis, com 100 a 200 mg de β -sitosterol por 100 gramas de

óleo; os altos teores de vitamina E e de selênio e, em alguns casos, de fibra alimentar, especialmente de fibras insolúveis (FREITAS; NAVES, 2010).

Os resultados de Lira et al. (2013) mostraram que a polpa e amêndoa da macaíba (*A. aculeata*) é rica em lipídeos, carboidratos, fibra bruta, cinzas e matéria seca. Silva et al. (2015) estudaram a composição centesimal da macaíba (*A. intumescens*) encontrando valores de 62,2 g/100 g de teor de água; 2 g/100 g de resíduo mineral fixo; 2,5 g/100 g de proteínas; 3,5 g/100 g de carboidratos; 29,6 g/100 g de lipídeos para a polpa da macaíba.

A macaíba, tanto a polpa quanto a amêndoa, possui algumas substâncias consideradas funcionais, como o zinco, fibras, carotenoides, tocoferóis, proteínas, ácidos graxos, que têm funções imunomoduladora, regulação hormonal, anti-inflamatória, anticancerígenas, entre outras funcionalidades. Dessa forma, o valor nutricional oferecido por este fruto revela que a sua utilização na alimentação e na indústria pode trazer benefícios à saúde humana (BRESSAN et al., 2009; COIMBRA; JORGE, 2012; DESSIMONI-PINTO et al., 2010; LIRA et al., 2013).

2.3 COMPOSTOS BIOATIVOS

2.3.1 Carotenoides

Os carotenoides são triterpenoides encontrados em tecidos vegetais e animais como o principal pigmento responsável pela cor vermelha, laranja ou amarela de frutos e são importantes precursores de vitamina A, pertencendo a esse grupo cerca de 700 moléculas (PIERSON et al., 2012). Os seres humanos e os animais são incapazes de sintetizar carotenoides, de modo que estes precisam ser introduzidos em sua dieta; entretanto, sua absorção fica comprometida pelas tecnologias de transformação da indústria de alimentos, pois o processamento de alimentos geralmente resulta em degradação, isomerização e oxidação de carotenoides, sendo um desafio para a indústria preservar essas moléculas (FERNANDEZ-OROZCO; GALLARDO-GUERRERO; HORNERO-MÉNDEZ, 2013; SHEN et al., 2015).

Alguns estudos epidemiológicos demonstraram que o consumo de dietas ricas em carotenoides está associado a uma menor incidência de câncer, doenças cardiovasculares, degeneração macular e formação da catarata (MEYERS et al., 2014; SHARONI et al., 2012).

A biodisponibilidade dos carotenoides refere-se à porção do composto que é absorvida, entra na circulação sistêmica e torna-se disponível para utilização em funções

fisiológicas ou para armazenamento no corpo humano. No entanto, a bioacessibilidade diz respeito à proporção de carotenoides ingerida que é liberada a partir da matriz alimentar e incorporada em micelas no trato gastrointestinal e, portanto, disponível para absorção no intestino (RODRIGUEZ-AMAYA, 2015).

De forma geral, as hortaliças possuem maior quantidade de carotenoides do que as frutas, porém, nestas são mais biodisponíveis, o que garante maior absorção. Fatores pré e pós-colheita estão relacionados com a bioacessibilidade dos carotenoides e juntamente com a biodisponibilidade, a função antioxidante e mecanismo de ação devem ser mais estudados. Os fatores que influenciam a bioacessibilidade são: o processamento térmico, as barreiras estruturais nos alimentos (matriz, integridade da parede celular, bio-encapsulamento), além dos lipídeos que são os fatores mais cruciais para determinar a biodisponibilidade dos carotenoides (SAINI; NILE; PARK, 2015).

Silva et al. (2015) encontraram alta concentração de carotenoides na polpa da macaíba (*A. intumescens*) de 138 $\mu\text{g/g}$, enquanto que, na amêndoa apresentou concentração de 1,9 $\mu\text{g/g}$. Aoki (2012) encontrou uma quantidade de 256,09 $\mu\text{g/g}$ de carotenoides totais no óleo da polpa da macaíba (*A. aculeata*) apresentando-se como uma rica fonte desse composto.

2.3.2 Ácidos graxos

Os ácidos graxos (AG) são ácidos carboxílicos, geralmente monocarboxílicos, que podem ser representados pela forma RCO_2H . Os AG essenciais compõem uma classe de moléculas que não podem ser geradas pelo organismo, mas que são necessárias ao seu funcionamento. A ausência de tais nutrientes na dieta está associada a síndromes que podem até levar à morte. Há duas subclasses de AG essenciais – os ômega 3 e os ômega 6, tendo eles papel importante para saúde da pele, do sistema nervoso e funcionamento de diversos órgãos e sistemas (CURI, 2002).

As nozes verdadeiras e as sementes comestíveis são fontes de lipídeos, destacando-se no perfil de ácidos graxos, os ácidos oleico (C18:1) e linoleico (C18:2) e a relação ω -6: ω -3 da macadâmia, noz, castanha e amêndoas. O consumo elevado desses fitoquímicos está associado com a redução do risco de doenças cardiovasculares e de alguns tipos de câncer, como de próstata, esôfago, estômago, cólon e reto (FREITAS; NAVES, 2010).

Ainda apresenta em sua composição o ácido oleico (ω -9) auxiliando na redução do desenvolvimento de doenças relacionadas com a aterosclerose ou trombolismo, por atuar diretamente na diminuição do colesterol total e no aumento da lipoproteína de alta densidade

(HDL), o bom colesterol. Também atua na inibição da agregação plaquetária. Costa (2012) evidenciaram o efeito positivo deste ácido graxo na prevenção do câncer de mama.

Aoqui (2012) chegou à conclusão que a proporção de ácido oleico encontrado no óleo da polpa de macaíba (*A. aculeata*) foi similar ao percentual do azeite, 60%; e em experimentos *in vivo* utilizando rações hipercolesterolêmica contendo óleo da polpa de macaíba mostrou uma tendência de redução das taxas de colesterol total, da lipoproteína de baixa densidade (LDL) e da glicose, além de promover menor ganho de peso, enquanto, a ração foi administrada. Silva et al. (2015) identificaram os ácidos láurico, palmítico e oleico na macaíba (*A. intumescens*), sendo o láurico predominante na amêndoa (45,44%) e o oleico predominante na polpa (74,14%).

2.3.3 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos compõem o grupo de metabólitos secundários mais amplamente distribuídos em plantas. Por isso, podem ser encontrados em quantidades variáveis em frutas e legumes (ARESTA; ZAMBONIN, 2016). Representam um grande grupo que pode ser dividido em dois subgrupos principais: flavonoides e não flavonoides. A classe dos não flavonoides apresenta estrutura heterogênea, enquanto, que a classe dos flavonoides caracterizam-se por apresentar uma estrutura comum composta por dois anéis aromáticos ligados por três carbonos e um átomo de oxigênio formando um heterociclo oxigenado denominado núcleo flavano (CHEYNIER, 2005). Todos os polifenóis contêm um ou mais anéis aromáticos com um ou mais grupos hidroxila como substituintes. Dependendo do número destes anéis fenólicos e os elementos estruturais ligados a eles, os polifenóis são classificados em diferentes grupos. Os principais grupos são: flavonoides, ácidos fenólicos, álcoois fenólicos, estilbenos e lignanas (D'ARCHIVIO et al., 2007).

Esses compostos são considerados de alta atividade antioxidante, devido aos seus extensivos sistemas de elétrons π conjugados que facilitam a doação de elétrons, a partir, das hidroxilas para as espécies radicais oxidantes (BITTENCOURT et al., 2015). São muito sensíveis ao calor e à luz e apresentam baixa solubilidade em água (PARISI et al., 2013).

As evidências sugerem fortemente uma contribuição dos polifenóis para a prevenção de diversas doenças crônicas degenerativas, como câncer, aterosclerose, doenças cardiovasculares e distúrbios do sistema nervoso central, bem como o envelhecimento (GIOVANNINI; MASELLA, 2012). Os compostos fenólicos também estão entre os componentes mais importantes que incidem sobre a qualidade do fruto. Contribuem para

características sensoriais como cor e sabor (ZIELINSKI et al., 2014). Além disso, são utilizados na conservação dos alimentos contra alterações por micro-organismos ou por oxidações lipídicas sendo, portanto, envolvidos na formulação de muitos suplementos, aditivos alimentares e medicamentos. Assim suas fontes naturais são de grande interesse (MAQSOOD; BENJAKUL; SHAHIDI, 2013; PASSO TSAMO et al., 2015).

Coimbra e Jorge (2012) encontraram valores para compostos fenólicos do óleo da amêndoa da macaíba (*A. aculeata*) de 4,38 mg EAG/g (miligrama de equivalente grama de ácido gálico por grama de extrato) e para o óleo da polpa de 2,21 mg EAG/g, mostrando que a macaíba é fonte de compostos fenólicos.

2.4 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

O antioxidante é uma molécula natural (compostos fenólicos, compostos nitrogenados, carotenoides e ácido ascórbico) ou sintética (estruturas fenólicas) que retarda ou inibe a oxidação de outras moléculas como proteínas, ácidos nucleicos ou lipídeos. A proteção fornecida por qualquer composto antioxidante depende da sua concentração, mas principalmente de sua reatividade frente a determinadas espécies reativas de oxigênio que estão sendo consideradas (BITTENCOURT et al., 2015). A capacidade antioxidante dos alimentos vegetais tem sido tomada como um indicador dos seus efeitos benéficos sobre a saúde humana (PRIOR; WU, 2013).

Compostos antioxidantes são usualmente empregados na indústria de alimentos para prevenir alterações indesejáveis, como sabor e ranço, resultantes das reações de oxidação (rancidez oxidativa), que comprometem a qualidade e segurança dos produtos devido à formação de compostos potencialmente tóxicos (PASSOS et al., 2010). Também atuam na defesa do organismo contra os radicais livres, apresentam-se como substâncias altamente reativas em contato com o oxigênio e ainda, são associadas à prevenção de várias doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, além de apresentarem papel importante na regulação da diabetes tipo 2 (KALIORA; DEDOUSSIS, 2007; WOOTTON-BEARD; RYAN, 2011).

Os compostos antioxidantes naturais têm sido isolados de diferentes partes de plantas tais como sementes, frutos, folhas e raízes. Esses compostos incluem os flavonoides, ácidos fenólicos, terpenos, tocoferóis, fosfolipídeos. A quantificação espectrométrica de compostos fenólicos é realizada por meio de uma variedade de técnicas; todavia, a que utiliza o reagente Folin-Ciocalteu, desenvolvido por Singleton e Rossi (1965) figura entre as mais extensivamente utilizadas (LEE et al., 2008; SOUSA et al., 2007).

Estudos evidenciam o crescente papel de alimentos na prevenção de certas doenças e têm conduzido ao desenvolvimento de grande variedade de métodos para determinar a capacidade antioxidante destes compostos (SAURA-CALIXTO, 2011). Devido às múltiplas características e mecanismos de reação, um único ensaio antioxidante não reflete com precisão todos os antioxidantes em um sistema tão complexo como uma matriz alimentícia. Esses métodos podem se basear em captura do radical peroxila (ORAC, TRAP), redução do metal (FRAP, CUPRAC), captura do radical hidroxila (método de desoxirribose), captura do radical orgânico (DPPH, ABTS), dentre outros.

O método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila) é baseado na captura do radical DPPH por antioxidantes, produzindo um decréscimo na absorbância a 515 nm e foi modificado por Sánchez-moreno et al. (2002) para avaliar parâmetros cinéticos. O DPPH é um radical livre e pode ser diretamente obtido por dissolução do reagente em meio orgânico (SANCHEZ-MORENO, 2002).

O ensaio do FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) está baseado na capacidade de um antioxidante em reduzir o Fe^{3+} a Fe^{2+} . Quando isso ocorre na presença de 2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ) e em condições ácidas, a redução é acompanhada pela formação de um complexo corado (azul intenso) com o Fe^{2+} , com absorção máxima a 593 nm (CORDEIRO, 2013).

Resultados encontrados por Nascimento et al. (2016) para atividade antioxidante de extratos do óleo da polpa de macaíba (*A. intumescens*) no valor de 21,30 mg/mL para o ensaio de DPPH e 19,34 mg/mL para o extrato do óleo de sua amêndoa, revelando considerável potencial antioxidante do fruto.

2.5 REOLOGIA

A reologia é a ciência que estuda a deformação e o fluxo dos materiais sob influência de tensões. Dentro deste contexto, a matéria pode estar no estado líquido, sólido ou gasoso (BRETAS; D'AVILA, 2005; DAK; VERMA; JAAFFREY, 2007). Muitas das propriedades texturais que os humanos percebem quando consomem alimentos são basicamente de natureza reológica, isto é, cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza (HAMINIUK et al., 2009).

De acordo com Toneli, Murr e Park (2005) a caracterização reológica de produtos alimentícios desempenha importante papel para o cálculo, desenho e otimização de processos (bombas, tubulações e equipamentos), determinação da funcionalidade de ingredientes no

desenvolvimento de produtos, estabilidade e controle de qualidade do produto, avaliação da textura e correlação com testes sensoriais.

A reologia considera dois materiais como ideais: o sólido elástico e o líquido viscoso. No sólido elástico a propriedade de maior interesse é a elasticidade, ou seja, um material com forma definida quando deformado por uma força externa, dentro de certos limites, retornará à sua forma e dimensões originais, após a remoção dessa força. E no líquido viscoso a propriedade de maior interesse é a viscosidade, que tem como característica não possuir forma definida, escoando irreversivelmente com a aplicação de uma força externa (BRETAS; D'AVILA, 2005). Dessa maneira, os fluidos são classificados de acordo com seu comportamento reológico por meio de análise da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para condições de temperatura e pressão pré-definidas, sendo divididos em newtonianos (constante) e não-newtonianos (variável) (BRETAS; D'AVILA, 2005).

A descrição do comportamento reológico dos materiais é feita através de modelos que relacionam como a tensão de cisalhamento varia com a taxa de deformação, e, em alguns casos, com a viscosidade. As polpas de frutas geralmente são caracterizadas como fluidos não-newtonianos, como resultado de interações complexas entre os seus constituintes. Esses tipos de fluidos podem ser descritos por modelos reológicos empíricos que representam o ajuste dos dados reológicos experimentais. Dentre os modelos matemáticos existentes, alguns dos mais aplicados para sistemas de alimentos são: Ostwald-de-Waele - Lei da potência (Equação 1), Mizrahi-Berk (Equação 2), Herschel-Bulkley (Equação 3), Casson (Equação 4) e Plásticos de Bingham (Equação 5) (Quadro 1).

Quadro 1 - Modelos matemáticos utilizados para descrever o comportamento reológico de alimentos

Modelo	Equação
Ostwald-de-Waele	$\tau = K\dot{\gamma}^n$ (1)
Mizrahi-Berk	$\tau^{0,5} = K_{0M} + K\dot{\gamma}^n$ (2)
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_{0H} + K_H\dot{\gamma}^{n_H}$ (3)
Casson	$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C\dot{\gamma}^{0,5}$ (4)
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_p\dot{\gamma}$ (5)

τ - tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1}); K - índice de consistência (Pa sⁿ); n - índice de comportamento do fluido (adimensional); K_{0M} - raiz quadrada da tensão inicial; τ_0 - tensão de cisalhamento inicial (Pa); η_p - viscosidade aparente de Bingham (Pa s); τ_{0H} - tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_H - índice de consistência (Pa); K_{0C} = τ_{0C} - tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s).

Os modelos reológicos são importantes para relacionar as propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH, índice de maturação etc; tal conhecimento é indispensável no controle de qualidade, controle intermediário em linhas de produção e no projeto e dimensionamento de equipamentos e processos, enquanto esses modelos podem ser isotérmicos ou não-isotérmicos. No primeiro caso descrevem o comportamento do fluido numa temperatura fixa; no último, incluem relações específicas, como funções da temperatura e, dependendo do modelo utilizado, possuem ou não tensão inicial (VIDAL et al., 2006).

Sousa et al. (2014) estudaram o comportamento reológico da polpa de pequi (*Caryocar coriaceum*) com diferentes teores de sólidos solúveis totais (6-12 °Brix) e diferentes temperaturas (25-50 °C). A polpa apresentou comportamento pseudoplástico e os modelos reológicos de Ostwald-de-Waele ($R^2 > 0,82$ e $P < 3,45\%$), Herschel-Bulkley ($R^2 > 0,93$ e $P < 1,83\%$) e Mizrahi-Berk ($R^2 > 0,94$ e $P < 0,72\%$) se ajustaram bem aos valores experimentais, com melhores resultados para o de Mizrahi-Berk.

Quintana et al. (2015) investigaram os parâmetros e comportamentos reológicos da polpa de manga (*Mangifera indica* L., variedade Tommy Atkins) em diferentes temperaturas (15-60 °C) e diferentes concentrações (15-30 °Brix). Os resultados obtidos estabelecem que a polpa de manga possui comportamento não-newtoniano, pseudoplástico, e os dados experimentais foram ajustados adequadamente ao modelo de Ostwald-de-Waele ($R^2 > 0,96$ e $SQE < 28,87$).

Rodrigues et al. (2016) estudaram o comportamento reológico do suco de buriti (*Mauritia flexuosa*), observando o efeito da temperatura (10-60 °C). Observaram como resultados que o suco de buriti é um fluido não-newtoniano com características pseudoplásticas e os modelos matemáticos de Mizrahi-Berk ($R^2 > 0,97$ e $SQR < 0,22$) e Lei da Potência ($R^2 > 0,97$ e $SQR < 0,171$) descreveram bem o comportamento reológico.

2.6 SECAGEM DE POLPA DE FRUTAS

As frutas são matérias-primas que além de saborosas, são ricas em nutrientes, como as vitaminas e sais minerais. Além disso, são fontes de compostos bioativos, como antioxidantes, sendo por isso, muitas vezes, consideradas alimentos funcionais. No entanto, são bastante perecíveis e sujeitas a sazonalidade, sendo a polpa de fruta uma boa opção de substituição que atende à demanda de praticidade e alimentos saudáveis dos consumidores, e

serve de matéria prima para as indústrias de doces, sorvetes, lácteos, biscoitos, entre outras (BALDASSO, 2008).

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas, ficando atrás da China e Índia, sendo responsável pela produção de 43,6 milhões de toneladas de frutas em 2013, e 53% dessa produção destinada à indústria de processamento (REETZ, 2014). A produção de polpas de frutas é uma atividade agroindustrial que agrega valor econômico às frutas, evitando as perdas por deterioração, suprindo a demanda durante todo o ano, aumentando sua vida útil e mantendo as características nutricionais e de cor, sabor, aromas (COSTA; CARDOSO; SILVA, 2013). Existem vários métodos de preservar e prolongar a vida útil das polpas, sendo os métodos de conservação mais aplicados em polpas de frutas: a secagem e o congelamento.

Secagem é a operação unitária por meio da qual a água ou qualquer outro líquido é removido por evaporação ou sublimação, mediante a aplicação de calor em condições controladas. O princípio desse método é reduzir a disponibilidade de água livre no alimento, conseqüentemente desfavorecendo o desenvolvimento microbológico (CELESTINO, 2010; FELLOWS, 2006). As vantagens da secagem são o aumento da vida útil do produto; a concentração de nutrientes, embora algumas vitaminas e pigmentos possam ser perdidos; facilidade no transporte e armazenamento, pois o produto seco é leve, compacto e suas características permanecem inalteradas por longos períodos; e a redução das perdas pós-colheita (CELESTINO, 2010).

A secagem convectiva caracteriza-se pelo contato direto do ar quente com a superfície do alimento, que por sua vez difunde energia pelo interior do mesmo, criando um gradiente de pressão de vapor d'água entre o interior e exterior do alimento, sendo este responsável pela remoção de água do interior para a superfície do produto, na qual um sorvedor, como o ar em movimento, entra em atividade levando para fora o vapor de água formado. Neste tipo de processo há transferência simultânea de calor e massa, sendo os mecanismos de massa mais importantes: a difusão líquida que ocorre devido à existência do gradiente de concentração; a difusão de vapor que ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor causado pelo gradiente de temperatura; e o escoamento de líquido e de vapor que ocorrem devido à diferença de pressão externa, de concentração, capilaridade e temperatura (PARK et al., 2007).

Estudos direcionados para secagem de polpas de frutas têm sido desenvolvidos, como por exemplo o de Perez et al. (2013) que investigaram o efeito da pré-desidratação osmótica da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) na secagem por convecção a 65 °C,

e observaram que utilizando a solução binária de sacarose para a pré-desidratação da polpa resultou em menor tempo de secagem (330 min) em estufa.

Nunes et al. (2014) observaram que quanto maior a temperatura, menor é o tempo de secagem (50 °C 1070 min, 60 °C 550 min e 70 °C 430 min), e conseqüentemente, maior o pico de taxa de secagem para polpa de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) em secagem convectiva.

Vangdal et al. (2017) realizaram a secagem de ameixas (*Prunus domestica* L.) utilizando três métodos (secagem solar, secagem convectiva e liofilização), sendo que os parâmetros da secagem convectiva (2,5 kg de amostra, temperatura de 55 °C e umidade relativa entre 15-17%) não resultaram em diferença significativa em matéria seca comparada aos outros métodos, e que a qualidade fitoquímica das ameixas depende do tipo de secagem escolhida.

Alean, Chejne e Rojano (2016) a partir da análise experimental da degradação de água e fenol em cacau (*Theobroma cacao*) a diferentes temperaturas (40-80 °C), verificaram que a 40 °C o tempo de secagem foi maior, no entanto, apresentou maior quantidade de polifenóis.

Mendonça et al. (2017) estudaram a secagem de pequi, *Caryocar brasiliense* Camb., (40 e 60 °C) utilizando a desidratação osmótica (40% e 60% de sacarose) como pré-tratamento e observaram maior rendimento e menor mudança na coloração para os tratamentos utilizando baixas temperaturas (40 °C e 60 °C) e vácuo.

Poucos trabalhos com secagem de macaíba foram encontrados. Costa e Silva (2013) desidrataram a polpa de macaíba (*A. aculeata*), a 60 °C por 18 h, a fim de aplicar a farinha juntamente com as amêndoas trituradas da macaíba na elaboração de sorvete, que foi bem aceito sensorialmente para os parâmetros aparência, sabor, textura e cor. Munhoz et al. (2014) analisaram a secagem da amêndoa e das polpas de macaíba (*A. aculeata*) frescas e pré-desidratadas osmoticamente (60% sacarose) em temperaturas de 60 e 70 °C onde o modelo exponencial de dois termos se ajustou melhor aos dados experimentais ($R^2 > 0,99$ e $P < 9,15\%$). Amaro et al. (2015) obtiveram a farinha da polpa de macaíba (*A. aculeata*) à 35 °C durante 24 h de pedaços da polpa de macaíba de, aproximadamente, 2 cm² em estufa de circulação de ar, apresentando como características físico-químicas altas quantidades de lipídeos e fibras. Os autores também aplicaram a farinha na elaboração de sorvete de abacaxi usando a farinha da macaíba em substituição à gordura láctea, e alcançaram como resultado boa aceitação sensorial nos parâmetros aparência, aroma, sabor e textura (nota 6 - 7, numa escala de 9 pontos).

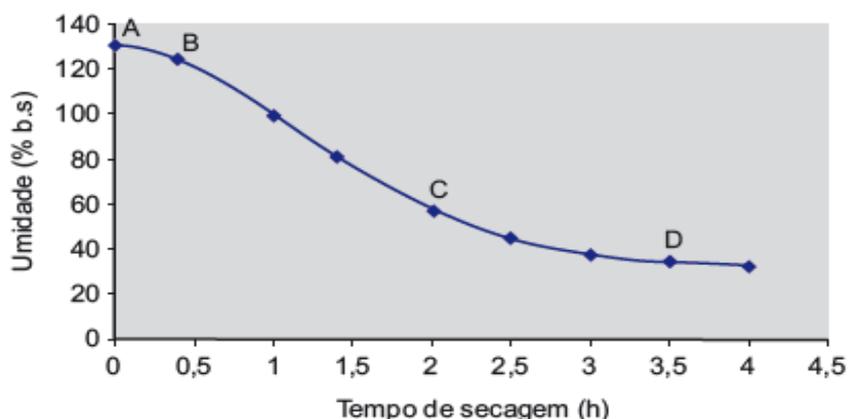
Todos os trabalhos citados não apresentaram um estudo do efeito de diferentes temperaturas na secagem, nem houve padronização de parâmetros para obtenção da cinética de secagem. Também não foram usados modelos matemáticos para determinar a cinética de secagem da polpa de macaíba (*A. intumescens*) e obter as propriedades termodinâmicas envolvidas no processo, objetivos deste estudo.

2.6.1 Cinética de secagem

O estudo da cinética de secagem possibilita a determinação do mecanismo predominante na transferência de massa do material para o fluido e as respectivas equações correspondentes, conseguindo prever e otimizar os parâmetros de secagem do alimento, além de padronização do processo (FERREIRA, 2004).

O estudo das curvas de secagem é importante para indicar a velocidade de remoção de água em um determinado tempo. A inclinação da curva indica a dificuldade de remoção de água durante a secagem (Figura 2). Geralmente, o período de secagem é dividido em dois momentos, um de velocidade constante (segmento AC), e outro de velocidade decrescente (segmento CD); no primeiro momento a secagem é baseada na transferência de calor e massa da superfície do alimento e do ar de secagem, enquanto que no segundo momento ocorrem as transferências internas que governam a secagem. A precisão das curvas de secagem vai depender do alimento, do tipo de secador, condições de secagem (temperatura, velocidade do ar, umidade, sentido do ar, espessura do alimento, entre outros) (CELESTINO, 2010; PARK et al., 2007).

Figura 2 - Curva de secagem



Fonte: Celestino (2010).

Na literatura existem vários modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de cinética de secagem e ajustar os dados experimentais de diversos produtos agrícolas de importância econômica. Geralmente, esses modelos partem da expressão da lei de resfriamento de Newton, aplicada à transferência de massa durante a secagem (FARIA et al., 2012).

No Quadro 2 estão detalhadas algumas das equações empíricas e semiempíricas mais utilizadas para gerar as curvas de cinética de secagem aplicadas a materiais alimentícios (Equação 6 a 17).

Quadro 2 - Equações empíricas e semiempíricas para curvas de cinética de secagem de materiais alimentícios

Designação do Modelo	Modelo Matemático	Equação
Page	$RX = \exp(-kt^n)$	(6)
Midilli	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$	(7)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$	(8)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a \exp(-kt) b \exp(-kt) \exp(-kt)$	(9)
Aproximação por Difusão	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	(10)
Dois Termos	$RX = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	(11)
Exponencial de Dois Termos	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	(12)
Logarítmico	$RX = a \exp(-kt) + c$	(13)
Thompson	$RX = \exp\left(\frac{-a - (a^2 + 4bt)^{0,5}}{2b}\right)$	(14)
Newton	$RX = \exp(-kt)$	(15)
Verma	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-k_1t)$	(16)
Wang e Sing	$RX = 1 + at + bt^2$	(17)

RX - Razão de teor de água do produto, adimensional; k, k_0 , k_1 - Constantes de secagem, h^{-1} ; a, b, c, n - Coeficientes dos modelos; t - Tempo de secagem, h.

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para estudar o comportamento da cinética de secagem de polpa de frutas por meio de modelos matemáticos. Perez et al. (2013) observaram que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando coeficientes de determinação (R^2) superiores a 99% e erros percentuais médios (P) inferiores a 8,5%, podendo ser utilizado para a predição da cinética de secagem da polpa de cupuaçu. O modelo Page também melhor representou a cinética de secagem para polpa de jabuticaba nas temperaturas 50, 60 e 70 °C (NUNES et al., 2014).

Hashim, Daniel e Rahaman (2014) investigaram o efeito da temperatura e da espessura na cinética de secagem da abóbora em cubos. Foi observado que o aumento da temperatura e a diminuição da espessura resultaram numa redução do tempo de secagem e aumento da razão de umidade da abóbora. O modelo de Henderson e Pabis conseguiu explicar o comportamento de secagem da abóbora, apresentando R^2 maiores que 90%, sendo capaz de produzir curvas de secagens precisas, pois previu a melhor relação entre os dados experimentais e os dados previstos.

Alean, Chejne e Rojano (2016) desenvolveram um modelo matemático que foi validado pelos dados experimentais, capaz de prever a evolução no tempo dos compostos (água e polifenóis) que são liberados durante o processo de secagem do cacau, e compreender o efeito da temperatura e da taxa de aquecimento na perda de compostos fenólicos. Para isso a secagem aconteceu nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C e 1 cm de espessura em secador de túnel.

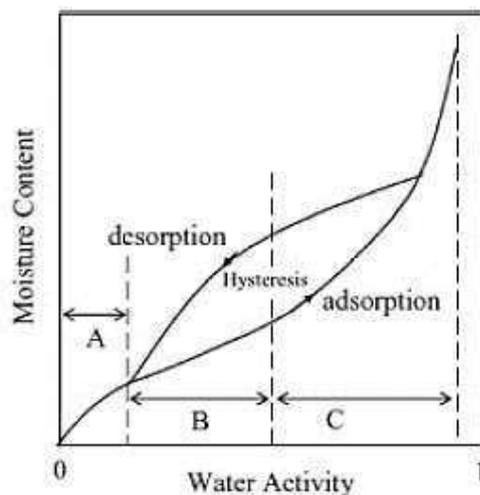
2.6.2 Atividade de água e isothermas de sorção

O teor de água de um alimento é o principal fator que promove a deterioração por micro-organismos e alterações por reações químicas e enzimáticas. Nos alimentos, existem duas formas de encontrar a água: água livre e água ligada ou combinada. A água livre está presente nos espaços intergranulares e entre os poros do alimento, e é essa água que mantém suas propriedades físicas e atua como agente dispersante para substâncias coloidais e como solvente para compostos cristalinos. A atividade de água é a propriedade que quantifica a água livre, e corresponde à relação entre pressão parcial de vapor de água e a pressão de vapor de água saturada, à mesma temperatura (CELESTINO, 2010).

A importância de conhecer o valor de atividade de água dos alimentos é prevenir as reações químicas e enzimáticas, o desenvolvimento de micro-organismos e ainda aprimorar a confecção de embalagens (OLIVEIRA; AFONSO; COSTA, 2011).

Para o conhecimento da estabilidade de um alimento é necessário traçar as isothermas de sorção, que são curvas que relacionam os dados experimentais da umidade de equilíbrio em função de diferentes atividades de água, a uma dada temperatura (Figura 3).

Figura 3 - Isoterma de sorção para produtos alimentícios



Fonte: Andrade, Lemus e Pérez (2011).

A base do conhecimento das curvas de adsorção e dessorção é útil para o processo de secagem, a concepção, otimização e seleção de equipamento adequado para secagem, design de embalagens e a previsão de estabilidade durante a vida útil de armazenamento e transporte do produto. A isoterma de dessorção possui valores de umidade de equilíbrio superiores aos da isoterma de adsorção a dada atividade de água. A defasagem entre essas duas curvas, denominada histerese, pode ocorrer devido a fatores como: condensação capilar, mudanças na estrutura física do material, impurezas na superfície, mudança de fase, entre outros (PAGLARINI et al., 2013).

Com o objetivo de expressar matematicamente a relação entre a atividade de água dos alimentos e seu teor de umidade, foram desenvolvidos diversos modelos matemáticos. Em muitos casos, o modelo que é adequado para certos produtos alimentares não é adequado para um diferente, e também, o modelo só exibe capacidade de previsão adequada para certas variações de atividade de água. Alguns desses modelos foram desenvolvidos com base teórica para descrever mecanismos de adsorção, enquanto outros são apenas empíricos ou uma simplificação de modelos mais elaborados (ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011).

Os modelos mais comuns que são usados para descrever a sorção em produtos alimentícios são: GAB (Equação 18), Oswin (Equação 19), Peleg (Equação 20), Halsey (Equação 21), Henderson e Thompson (Equação 22), BET (Equação 23), Langmuir (Equação 24) e Iglesias e Chirife (Equação 25) (Quadro 3).

Quadro 3 - Modelos matemáticos utilizados para descrever isotermas de sorção de alimentos

Modelo	Equação
GAB	$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (18)$
Oswin	$X_e = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b \quad (19)$
Peleg	$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (20)$
Halsey	$X_e = \left[T \ln \left(\frac{1}{a_w} \right) \right]^{-\frac{1}{b}} \quad (21)$
Henderson e Thompson	$X_e = \left[\frac{\ln \left(\frac{1}{1 - a_w} \right)}{a(T + b)} \right]^{\frac{1}{c}} \quad (22)$
BET	$X_e = \left[\frac{[(X_m C a_w)[1 - (n + 1)a_w^n + n a_w^{n+1}]]}{(1 - a_w)[1 + (C - 1)a_w - C a_w^{n+1}]} \right] \quad (23)$
Langmuir	$\frac{X_e}{X_m} = \frac{C a_w}{1 + C a_w} \quad (24)$
Iglesias e Chirife	$X_e = a + b \times \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right) \quad (25)$

T – temperatura °C; Xe – umidade de equilíbrio, b.s; aw – atividade de água; Xm – conteúdo de umidade na monocamada molecular, kg/kg; a, b, C, K – constantes de ajuste do modelo; n – número de camadas moleculares

Paglarini et al. (2013) estudaram a influência da temperatura nas isotermas de sorção e na histerese da polpa de manga e, para isso, foram utilizadas temperaturas na faixa de 20-50 °C e diferentes concentrações ácidas (20-70%). Observaram que o modelo GAB descreveu melhor as isotermas de adsorção e dessorção da polpa de manga, e que houve redução do fenômeno de histerese com o aumento da temperatura.

Santos et al. (2014) verificaram o comportamento higroscópico do pó de goiaba atomizado através das isotermas de adsorção utilizando diferentes modelos matemáticos, BET, GAB, Henderson e Oswin, sendo o modelo de Henderson o que melhor se ajustou, nas temperaturas utilizadas (25-40 °C).

Ribeiro, Costa e Afonso (2016) determinaram as isotermas de adsorção do pó de acerola obtidas por liofilização, submetidas à diferentes soluções salinas saturadas e temperaturas (25-45 °C), utilizando os modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin para representação dos dados experimentais, sendo o de BET o que melhor se ajustou às temperaturas estudadas.

2.7 SORVETE

De acordo com a Portaria Nº 379 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) gelado comestível é definido como produto alimentício obtido a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas, com ou sem adição de outros ingredientes e substâncias, ou de uma mistura de água, açúcares e outros ingredientes e substâncias que tenham sido submetidas ao congelamento, em condições tais que garantem a conservação do produto no estado congelado ou parcialmente congelado, durante a armazenagem, transporte e a entrega ao consumo (ANVISA, 2005).

Os sorvetes são considerados sistemas alimentícios coloidais estruturalmente complexos. Possuem em sua composição bolhas de ar envoltas por uma emulsão parcialmente congelada, tendo como principais componentes a água, gordura, emulsificantes, sólidos não-gordurosos do leite, açúcares, estabilizantes, ar e gelo. Os cristais de gelo e os glóbulos de gordura sólida estão dispersos em uma fase contínua líquida não congelada, que contém proteínas, carboidratos, sais e gomas (COSTA et al., 2008).

A gordura é um ingrediente primordial na produção de sorvetes, seja por questões legais de classificação ou qualidade final. Dessa maneira, possui papel importante no desenvolvimento de sua estrutura, assim como nas características sensoriais e na estabilidade durante o seu armazenamento. Os produtos com maior teor de gordura tendem a ser mais macios e permitem maior incorporação de ar (RENHE; WEISBERG; PEREIRA, 2015).

Dados da Associação Brasileira das Indústrias e do Setor de Sorvetes (ABIS) apontam que os brasileiros consumiram 1,1 bilhão de litros de sorvete em 2015, o que corresponde a um consumo *per capita* de 5,59 litros ao ano, ocupando a décima posição no *ranking* mundial, ficando atrás da Nova Zelândia (28,3), Estados Unidos (20,8), Austrália (18,1), Finlândia (14,3), entre outros. Embora o consumo no Brasil seja ascendente nos últimos anos, ainda continua bem abaixo desses países, mostrando o potencial do mercado de sorvete impulsionado pelo clima tropical do país (ABIS, 2016; RENHE; WEISBERG; PEREIRA, 2015).

No Brasil, o consumo de sorvete é impulsionado pela sensação de refrescância, no entanto, por causa da grande quantidade de açúcar, este é, normalmente, visto como guloseima e sobremesa sem valor nutritivo. Todavia, analisando-se sua composição, por causa de sua base láctea, o sorvete contém todas as propriedades nutritivas do leite, tendo considerável quantidade de proteínas, gorduras, lactose, vitaminas e minerais, logo, é rica em cálcio, propriedades anticarcinogênicas, promove o aumento de massa muscular, previne

diarreias, reduz a desmineralização dos dentes, dentre outros (RENHE; WEISBERG; PEREIRA, 2015).

A tendência do mercado é a demanda por alimentos mais naturais e frescos, e com apelo de saudáveis, por isso, vêm ganhando o mercado os sorvetes artesanais, além da incorporação de atributos funcionais, como os *frozen* iogurtes, que agregam os benefícios do consumo de iogurte ao hábito prazeroso de saborear um sorvete, e frutas de sabores, aromas diferenciados e ricas em compostos bioativos, no intuito de promover benefícios a saúde do consumidor (RENHE; WEISBERG; PEREIRA, 2015).

Santos e Silva (2012) investigaram a viabilidade tecnológica, aceitação e características de qualidade do sorvete elaborado com polpa de mangaba utilizando substitutos de gordura e substitutos do açúcar. Constataram que a composição química e a viscosidade aparente das formulações de sorvete testadas foram afetadas pelo tipo e concentração de substitutos, e foram bem aceitas sensorialmente para os parâmetros de aparência e impressão global.

Costa e Silva (2013) estudaram a aceitação sensorial de três formulações de sorvetes contendo diferentes proporções de farinha da polpa de macaíba e farinha de sua amêndoa (*A. aculeata*) em substituição à gordura vegetal hidrogenada, observando maior aceitação sensorial na formulação do sorvete com adição de 2,5% de farinha de polpa e 2,5% de farinha da amêndoa de macaúba, diferente ao que se propõe neste trabalho, na avaliação a aceitabilidade e intenção de compra de sorvete de polpa de macaíba *in natura* e sorvete de polpa de macaíba desidratada.

Lamounier et al. (2014) desenvolveram em seu trabalho sorvete de açaí, guaraná e banana, enriquecido com fitoesterol, e verificaram qualidade sensorial significativa com notas acima de 8 para os parâmetros sensoriais de aroma, sabor, textura, aparência e aspecto global, parâmetros microbiológicos de acordo com a legislação vigente, e características físico-químicas que favoreceram a constituição do sorvete. Assim como Morzelle et al. (2012) em sorvete de frutas exóticas do cerrado brasileiro (mangaba, curriola, pequi e araticum).

Cruxen et al. (2017) desenvolveram e caracterizaram sorvete de butiá suplementado com *Bifidobacterium lactis* e relataram que o sorvete probiótico com esta fruta estocado à -18 °C é capaz de manter os teores de compostos bioativos, principalmente os flavonoides e carotenoides, além de apresentar propriedades crioprotetoras garantindo a viabilidade das bactérias probióticas durante 90 dias de armazenamento. Além disso, apresentou estrutura físico-química balanceada, o que contribuiu para a alta aceitação sensorial.

2.8 EXTRATO HIDROSSOLÚVEL

A elaboração e o consumo de alimentos funcionais ao longo dos anos vêm tomando forma no mercado consumidor. Destacam-se principalmente: o aumento da expectativa de vida em países desenvolvidos, os avanços na tecnologia de alimentos e utilização de novos ingredientes (CARVALHO JÚNIOR, 2001). As frutas e vegetais são alimentos consumidos de diversas formas, desde *in natura* até na forma de doces, conservas e bebidas (sucos, fermentados, etc.). Estudos vêm sendo realizados para a elaboração de novas bebidas vegetais, sendo que na última década houve aumento expressivo na produção e no consumo de bebidas à base de soja, considerada um alimento funcional, em função das proteínas e isoflavonas. Esses extratos a base de soja são muito usados na alimentação em substituição ao leite, uma vez que grande parte da população adulta tem alguma restrição ao leite, seja devido a alergia à proteína ou a intolerância à lactose (BALDASSO, 2008).

A intolerância à lactose, açúcar encontrado no leite e em outros produtos lácteos, é a incapacidade de digerí-la. A intolerância pode ser genética sendo de característica irreversível ou adquirida. Já a alergia ao leite ocorre em 1,9-7,5% da população, principalmente em crianças e é observada nos primeiros dois a três meses de idade, desaparecendo quase sempre após o quarto ano de vida (CARVALHO, 2001).

Os extratos vegetais a partir dos cereais de arroz, aveia, soja, quinoa e de amêndoas podem ser utilizados como substitutos do leite, representando uma alternativa viável, em razão dos seus valores nutricionais, bem como ao baixo custo de produção. A popularidade de alternativas ao leite tem aumentado a demanda por este tipo de produto tanto por alérgicos, intolerantes e consumidores que não possuem essa restrição, sendo cada vez mais comum encontrá-los no mercado (ABATH, 2013).

Morais, Freitas e Cavalcante (2010) avaliaram a aceitabilidade de uma bebida elaborada com extrato hidrossolúvel da amêndoa da castanha de caju e suco de manga, onde obtiveram como resultados boa aceitabilidade da bebida para os parâmetros de aparência, aroma e corpo, e proporção indicada de 40% de extrato e 60% de suco. Albuquerque et al. (2015) avaliaram as propriedades físico-químicas e de armazenabilidade do “leite de amendoim” enriquecido com polpas de umbu e goiaba, constatando que o teor de proteínas diminuiu ao longo do armazenamento. A formulação da bebida consistiu na adição da polpa de umbu ou goiaba ao extrato de amendoim na proporção de 1:8 (p/v) em duas proporções de 40P:60E e 60P:40E (P: polpa, E: extrato de amendoim).

Pesquisas realizadas por Oliveira et al. (2014) também com extrato de amendoim concluíram que este possui características físico-químicas similares aos extratos de soja. Carneiro et al. (2014) estudaram a armazenabilidade do extrato hidrossolúvel de babaçu mostrando-se viável num período de 45 dias sob refrigeração. Bento, Scapim e Ambrosio-Ugri (2012) obtiveram boa aceitabilidade das características sensoriais de aparência, aroma, textura e sabor da bebida achocolatada a base de extrato hidrossolúvel de quinoa e arroz.

2.9 ANÁLISE SENSORIAL

A crescente demanda por alimentos práticos, nutritivos e saudáveis, aliado a um mercado consumidor cada vez mais informado e exigente contribui para o desenvolvimento de novos produtos e a oferta de produtos diferenciados atendendo nichos e tendências de consumo. Diversos fatores contribuem para a escolha de um produto alimentício, mas a percepção sensorial (cor, sabor, textura, aroma, aparência, entre outros atributos) é fundamental para o maior poder de decisão de compra do consumidor.

A análise sensorial exerce um importante papel no desenvolvimento de novos produtos visto que pode ser utilizada com diversas finalidades como: otimizar formulações e processos, estudos de consumidor, controle de qualidade, comparações de produtos, aceitação e preferência do consumidor, comparações de produtos, entre outras respostas.

Verediano (2012) em sua pesquisa através de análise sensorial obteve satisfatória aceitação de bolo utilizando em sua formulação (30%, 42% e 54%) farinha de macaíba (*A. aculeata*) em substituição à farinha trigo demonstrando que a polpa da macaíba desidratada tem potencial aplicação em produtos alimentícios pela aceitação com notas em torno de 5 para os parâmetros de aparência, aroma, sabor e textura. Kopper et al. (2009) concluíram que a polpa de macaíba (*A. aculeata*) desidratada é uma importante fonte de lipídeos, carboidratos, fibras e vitamina A, podendo ser utilizada na elaboração de biscoitos tipo *cookie* com notas médias de aceitação global variando de 6 a 7 tomando-se como base uma escala hedônica de 9-pontos. Assim como Munhoz et al. (2014) que desenvolveram barras de cereais com polpa e amêndoa de macaíba (*A. aculeata*) desidratadas com atributos sensoriais agradáveis de aparência, cor, *flavor*, doçura e aroma obtendo grande aceitação com notas acima de 7.

Diversas pesquisas têm sido conduzidas com o objetivo de desenvolver sorvetes com sabores não tradicionais, com frutas nativas e com características físico-químicas próximas a macaíba como sorvetes de açaí (LAMOUNIER et al., 2014), de butiá - *Butia odorata* (CRUXEN et al., 2017), de frutos do cerrado, mangaba - *Hancornia speciosa*, curriola -

Pouteria ramiflora, araticum - *Annona crassiflora* e pequi - *Caryocar brasiliense* (MORZELLE et al., 2012). Destaca-se os sorvetes de mangaba que obtiveram grande aceitação das suas características sensoriais de aparência e aceitação global (SANTOS; SILVA, 2012).

Diante da escassez de pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de produtos à base de amêndoa da macaíba, mas seguindo a tendência de consumo de bebidas vegetais diversos autores avaliaram a aceitação sensorial desse tipo de produto utilizando outras matérias-primas, como achocolatado com extrato hidrossolúvel de amendoim (*Arachis hypogaea*) e feijão (*Vigna unguiculata*) (AIDOO et al., 2012); amêndoa, coco, gergelim, quinoa e arroz (SETHI; TYAGI; ANURAG, 2016); e a utilização de soja e uva na formulação de bebida vegetal onde obtiveram boa aceitação dos provadores (BRUNELLI; VENTURINI FILHO, 2012).

Tomando como base essas informações, esse trabalho objetivou valorizar uma fruta nativa, a macaíba, através de pesquisas na área de engenharia de alimentos e processos, além de ciência e tecnologia de alimentos, com ênfase em suas propriedades nutricionais, antioxidantes e tecnológicas a fim de destacá-la como matéria-prima para elaboração de produtos alimentícios.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE EXECUÇÃO

Os ensaios de processamento e caracterização física, físico-química e reológica da matéria-prima foram conduzidos no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande (LAPPA/UFCG), o perfil de ácidos graxos e fenólicos no Laboratório de Combustíveis da Universidade Federal da Paraíba (LACOM/UFPB), as análises antioxidantes no Laboratório de Ambientes Recifais e Biotecnologia com Microalgas no Laboratório de Tecnologia de Carnes (LARBIM/UFPB), a cinética de secagem no Laboratório de Tecnologia de Carnes - UFPB, a caracterização dos pós de macaíba e análises microbiológicas no Laboratório de Controle de Qualidade - UFPB, análises de compostos bioativos no Laboratório de Bioengenharia - UFPB, a morfologia no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME/UFPB), perfil de minerais no Laboratório de Solidificação Rápida (LSR/UFPB), as isotermas de adsorção de água e armazenamento dos pós de macaíba no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA/UFPB), o processamento do sorvete e extrato hidrossolúvel no Laboratório de Tecnologia de Leite - UFPB e as análises sensoriais no Laboratório de Análise Sensorial (LAS/UFPB).

3.2 MATÉRIA-PRIMA

Para a realização dos experimentos foram utilizados os frutos de macaíbas (*Acrocomia intumescens*) no estágio de maturação maduro, proveniente da cidade de Alagoa Nova, Paraíba, Brasil, localizada a 07° 04' 15" S, 35° 45' 30" W, no período de dezembro de 2016 a outubro de 2017. Os frutos foram transportados em temperatura ambiente e imediatamente submetidos ao processamento em virtude da alta perecibilidade.

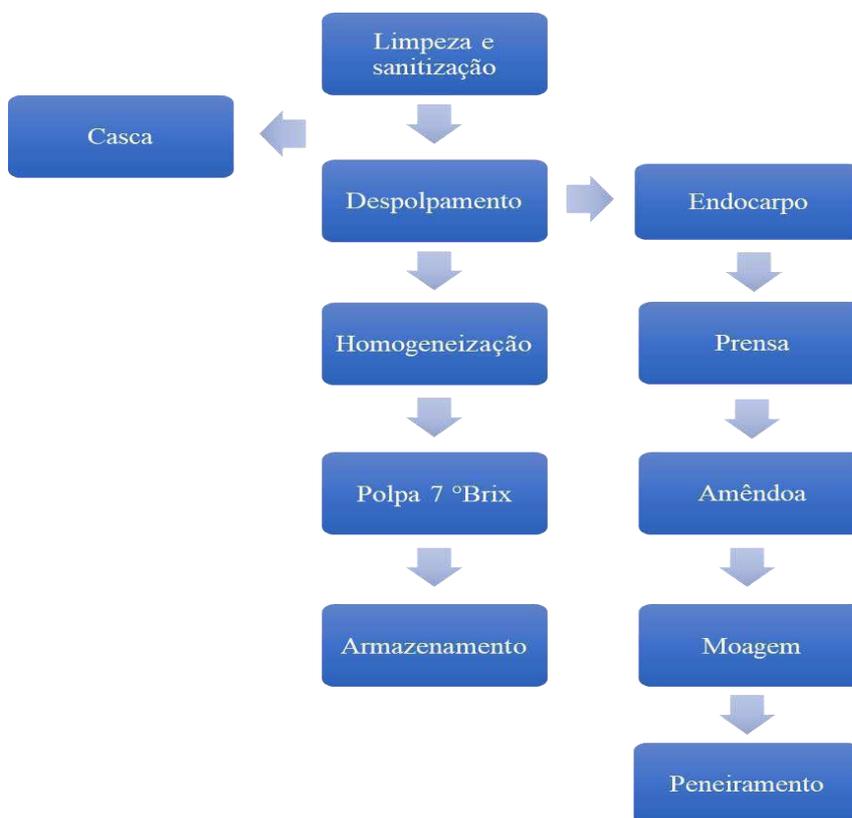
3.3 PROCESSAMENTO DA POLPA E AMÊNDOA DA MACAÍBA

Inicialmente, os frutos maduros foram selecionados, submetidos a lavagem em água corrente para a retirada das sujidades, e sanitização com solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm durante 15 minutos (Figura 4). As cascas foram quebradas e retiradas manualmente. A retirada da polpa (mesocarpo) foi realizada com lâmina de aço inox, procedendo-se o

despolpamento em despoldadeira semi-industrial de aço inox (Max Machine[®]) e homogeneização em liquidificador com incorporação de água potável até o alcance do teor de sólidos solúveis totais de 7 °Brix, a fim de possibilitar a completa homogeneização da matéria-prima, pois a polpa processada na despoldadeira apresentou-se sólida e sem uniformidade.

A separação do tegumento (endocarpo) da amêndoa (semente) foi feita por prensa manual, com as amêndoas extraídas e processadas em moinho de facas e, em seguida, peneiradas em malha 16 mesh, para a obtenção de um pó homogêneo. Tanto a polpa quanto as amêndoas foram embaladas em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenadas em freezer (-18 °C ± 1 °C) até a realização dos experimentos.

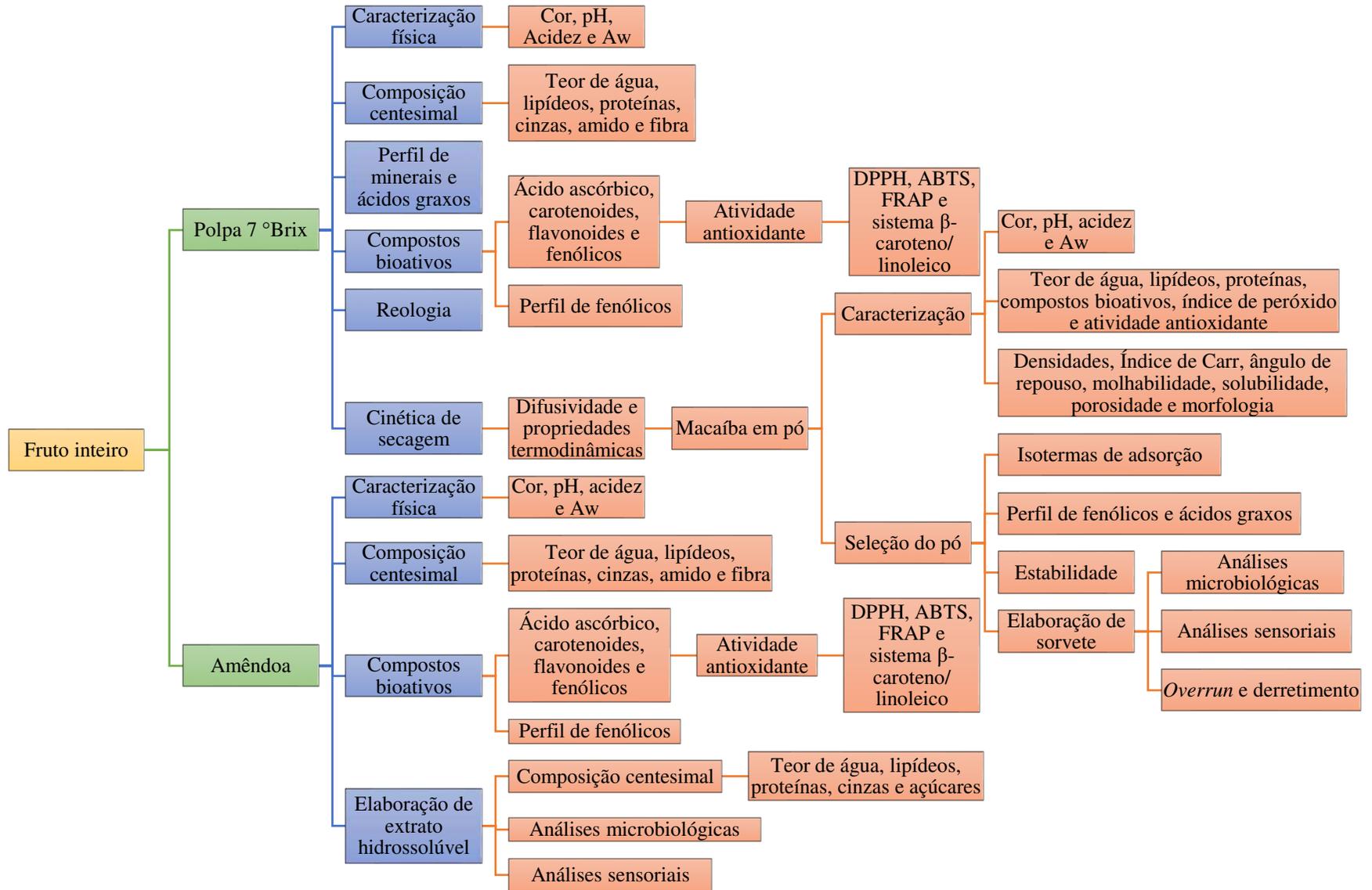
Figura 4 - Fluxograma de processamento das macaíbas



3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A pesquisa foi direcionada de acordo com o delineamento experimental esquematizado na Figura 5. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições. Foi considerada uma injeção nas análises cromatográficas.

Figura 5 - Delineamento experimental da macaíba



3.5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E QUÍMICA DA POLPA E DAS AMÊNDOAS DA MACAÍBA

As análises descritas, a seguir, foram realizadas na polpa e na amêndoa dos frutos, em triplicata.

3.5.1 Acidez, pH, cor e atividade de água

A determinação do pH foi realizada em pHmetro digital previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0; a acidez total titulável (% de ácido cítrico) foi determinada por titulometria com solução de hidróxido de sódio à 0,1 M (AOAC, 2012).

Para a determinação da cor, as amostras foram submetidas à avaliação utilizando-se o colorímetro MiniScan HunterLab XE Plus e os resultados foram expressos em L* (luminosidade) que varia de 0 (preto) a 100 (branco); a* que varia de - a* (verde) a + a* (vermelho) e b* de - b* (azul) a + b* (amarelo).

A atividade de água foi determinada a 25 °C utilizando-se o higrômetro Aqualab® modelo 3TE da Decagon Devices.

3.5.2 Composição centesimal

O teor de água foi determinado por secagem em estufa a vácuo a 70 °C até peso constante e o teor de sólidos totais por diferença (100 - umidade); o conteúdo de lipídeos totais pelo método de Bligh-Dyer; o teor de nitrogênio, através do método de Kjeldahl, utilizando um fator de conversão de N em proteínas de 6,25; os açúcares totais e amido pelo método de Lane-Eynon; resíduo mineral fixo em mufla a 550 °C; e fibra bruta através de digestão ácida (AOAC, 2012).

3.5.3 Perfil de minerais

Os minerais (ferro, fósforo, cálcio, sódio, potássio, magnésio e cobre) foram quantificados por Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (FRX - Shimadzu modelo EDX-720) a partir do resíduo mineral fixo obtido. A amostra foi colocada em uma cubeta coberta por um filme de polipropileno de 5 µm de espessura. A energia de excitação utilizada foi de 15 a 50 keV e detector operando a -176 °C.

3.5.4 Perfil de ácidos graxos

Para análise de ácidos graxos, o óleo da polpa e da amêndoa da macaíba foi extraído de acordo com o método de Folch, Lees e Stanley (1957), com clorofórmio, metanol e água (2:1:1). Os extratos lipídicos foram armazenados protegidos da luz, calor e oxigênio, em vidros âmbar hermeticamente fechados, em geladeira para posterior análise dos componentes lipídicos (ácidos graxos).

Para análise do perfil de ácidos graxos, os ésteres metílicos foram preparados conforme o método Hartman e Lago (1973) com adaptações, e a quantificação obtida por curva de calibração com padrões de ésteres metílicos, utilizando um cromatógrafo gasoso GCMS-QP2010 (Shimadzu, Kyoto, Japan) equipado com uma coluna Durabound (DB-23 30 m × 0,25 mm × 0,25 μm). A temperatura do injetor e do detector foram fixados em 230 °C e temperatura da coluna em 90 °C. O gradiente de eluição na coluna foi de 90 a 150 °C (10 °C/min), 150 a 200 °C (5 °C/min), 200 a 230 °C (3 °C/min) em um tempo total de corrida de 34 min, utilizando hélio como gás de arraste na vazão de 1 mL/min. Os resultados foram expressos em porcentagem (%) a partir da normalização das áreas dos picos.

3.5.5 Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi determinado pelo método de Strohecker, Zaragoza e Henining (1967), que consiste na redução de 2,6-diclorofenolindofenol-sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico. Foi utilizado 2 g de polpa e de amêndoa diluídas em 50 mL de ácido oxálico a 0,5% para o preparo do extrato. Os resultados foram calculados de acordo com a Equação (26) e expressos em mg de ácido ascórbico/100 g.

$$\text{mg de ácido ascórbico/100 g} = \left(\frac{V \times F}{1000} \right) \times 100/P \quad (26)$$

Sendo: V – volume de DCFI gasto na titulação; F – fator do DCFI; P – peso da amostra.

3.5.6 Carotenoides

Os carotenoides foram determinados pelo método de Higby (1962). Os extratos foram preparados utilizando 1 g de polpa e 4 g de amêndoa maceradas em 10 mL de hexano e 0,2 g de carbonato de cálcio, os quais permaneceram protegidos da luz durante 12 horas sob

refrigeração. Em seguida, os extratos foram centrifugados a 8000 rpm durante 10 min para posterior leitura em espectrofotômetro a 450 nm. Os resultados foram calculados utilizando a Equação (27).

$$\text{Carotenoides totais (mg/100 g)} = \frac{A_{450} \times 100}{250 \times L \times W} \quad (27)$$

Em que: A450 - absorvância; L - largura da cubeta em cm; W - quociente entre a massa da amostra em gramas e o volume final da diluição em mL.

3.5.7 Flavonoides

Os flavonoides amarelos foram determinados conforme método de Francis (1982). Os extratos de cada amostra foram preparados a partir da maceração de 1 g de polpa e 3 g de amêndoa em 10 mL de solução extratora (etanol:HCl 1,5 M - 85:15), os quais permaneceram protegidos da luz durante 12 h sob refrigeração. Em seguida, os extratos foram centrifugados a 9000 rpm por 15 min para subsequente leitura em espectrofotômetro a 374 nm. Os resultados foram calculados através da Equação (28).

$$\text{Flavonoides (mg/100 g)} = \frac{\text{fator de diluição} \times \text{absorvância}}{76,6} \quad (28)$$

No qual: Fator de diluição = 100/(massa/ volume de diluição)

3.6 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS

As amostras de polpa e amêndoa de macaíba foram submetidas a extração única utilizando metanol e a extração sequenciada em gradiente crescente de polaridade (hexano, etanol e água) para obtenção dos extratos de antioxidantes.

Para obtenção dos extratos metanólicos foram pesados 5,0 g de cada amostra e nestas adicionado o solvente metanol (40 mL) e, em seguida, sonicadas em banho de gelo (Unique[®], modelo USC-1400A) por 20 min. A mistura foi agitada por três horas a 25 °C, seguida da centrifugação do extrato à 8000 rpm a 10 °C por 10 min e o sobrenadante recuperado. O processo de extração foi repetido e os dois sobrenadantes foram homogeneizados.

Os extratos hexânicos foram obtidos a partir de amostras de polpa e amêndoa de macaíba (5 g) misturadas ao solvente 40,0 mL de hexano sendo sonicadas em banho de gelo (Unique[®], modelo USC-1400A) por 20 min. A mistura foi agitada por três horas a 25 °C,

seguido da centrifugação do extrato à 8000 rpm a 10 °C por 10 min e o sobrenadante recuperado, depois de repetir o processo de extração, os dois sobrenadantes foram homogeneizados.

O resíduo dos extratos hexânicos foi utilizado para obtenção dos extratos etanólicos, assim como o seu resíduo para a obtenção dos extratos aquosos nas mesmas condições anteriormente.

Os extratos foram secos em estufa de circulação forçada de ar (Solab[®], modelo SL102) a 35 °C até a evaporação do solvente, em seguida armazenados ao abrigo da luz, sob refrigeração até o momento de sua utilização. Cada extrato foi diluído com água destilada na concentração de 5-10 mg/mL e armazenado em frascos âmbar antes das análises de capacidade antioxidante. Todo o procedimento de extração foi executado em iluminação de 4,8 lux.

3.6.1 Compostos fenólicos totais

Os teores de fenólicos extraíveis totais foram determinados pelo método colorimétrico Folin-Ciocalteu (SLINKARD; SINGLETON, 1977). Uma alíquota de 240 µL de cada extrato foi colocada em tubo de ensaio e a elas adicionadas 60 µL do reagente de Folin-Ciocalteu, após 1 min de agitação seguiu-se com a adição de 2520 µL de água destilada e 180 µL de carbonato de sódio a 15%. A mistura foi agitada e mantida ao abrigo da luz durante duas horas.

A medida de absorvância foi realizada em UV-Vis (Thermo Fisher Scientific[®], modelo Evolution 60S), no comprimento de onda de 760 nm. A concentração de compostos fenólicos foi estimada utilizando uma curva de calibração ($R^2 = 0,9984-0,9990$) padrão com ácido gálico (2-200 mg/L) sendo obtida nas mesmas condições. Os resultados foram expressos em mg EAG/g (miligrama de equivalente de ácido gálico por grama do extrato).

3.6.2 Determinação da capacidade antioxidante

Devido às múltiplas características e mecanismos de reação, um único ensaio antioxidante não reflete com precisão todos os antioxidantes em um sistema tão complexo como uma matriz alimentícia. A fim de determinar a capacidade antioxidante dos extratos da polpa e da amêndoa de macaíba quatro métodos diferentes foram conduzidos para obter informações nas diferentes etapas da reação de oxidação e identificar variações nas respostas

dos compostos extraídos da macaíba. A capacidade antioxidante foi determinada pelos ensaios de atividade sequestrante do radical livre DPPH, atividade sequestrante do radical livre ABTS, poder antioxidante de redução do ferro (FRAP) e auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico.

3.6.2.1 *Atividade sequestrante do radical livre DPPH*

A metodologia de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995) consiste na capacidade que os antioxidantes presentes nas amostras possuem em sequestrar o radical estável DPPH•. A partir de triagem preliminar, a solução de DPPH• (23,6 $\mu\text{g/mL}$ em EtOH) foi adicionada às amostras dos extratos obtendo uma concentração final de 150 $\mu\text{g/mL}$. Em triplicata, alíquotas de 90 μL dos extratos foram misturadas com 210 μL de etanol e 2.700 μL da solução de DPPH• (23,6 $\mu\text{g/mL}$ em EtOH). Após 30 min, foi efetuada a leitura a 517 nm, em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific®, modelo Evolution 60S). A curva controle foi preparada utilizando Trolox em concentrações de 0,25 a 10 $\mu\text{g/mL}$. Os resultados da capacidade antioxidante foram expressos em μM Trolox/g extrato (capacidade antioxidante equivalente ao Trolox).

3.6.2.2 *Atividade sequestrante do radical livre ABTS*

A capacidade antioxidante pelo método ABTS•+ (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) foi determinada conforme a metodologia descrita por Rufino et al. (2007). O radical ABTS foi obtido pela reação de 5 mL da solução ABTS•+ 7 mM com 88 μL da solução de persulfato de potássio 140 mM, mantidos a temperatura ambiente por 16 h. Após esse período, o radical foi diluído em etanol P.A. (aproximadamente, 1:90 v/v) até a obtenção do valor de absorbância de 0,708 a 734 nm. A partir dos extratos de cada amostra (30 μL) foi adicionado com 3,0 mL do radical ABTS. A leitura foi feita após 6 min da reação a 734 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific®, modelo Evolution 60S), e o etanol foi utilizado como branco. A curva padrão ($R^2 = 0,9988-0,9995$) foi preparada utilizando Trolox em concentrações de 0,25 a 10 $\mu\text{g/mL}$. Os resultados da capacidade antioxidante foram expressos em μM Trolox/g extrato (capacidade antioxidante equivalente ao Trolox).

3.6.2.3 Poder antioxidante de redução do ferro

A capacidade antioxidante dos extratos de polpa e amêndoa de macaíba foi estimada pelo ensaio do FRAP, que é baseado na capacidade de um antioxidante em reduzir o Fe^{3+} para Fe^{2+} . Seguindo a metodologia descrita por Benzie e Strain (1996), a solução do reagente FRAP foi preparada com 25 mL de tampão acetato 0,3 M, 2,5 mL da solução TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina) a 10 mM e 2,5 mL de solução aquosa de cloreto férrico 20 mM.

Ao abrigo da luz, foi adicionado 90 μL de cada extrato em tubos, 270 μL de água destilada, seguido de 2,7 mL do reagente FRAP, e, após homogeneização, os tubos foram mantidos em banho-maria a 37 °C. O espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific®, modelo Evolution 60S) foi calibrado com o reagente FRAP e as leituras da absorbância foram realizadas após 30 min da mistura, em comprimento de onda de 595 nm. Foram plotados dois tipos de curvas-padrão utilizando o Trolox (0,5-10 $\mu\text{g}/\text{mL}$) e o Sulfato Ferroso (2,5-10 $\mu\text{g}/\text{mL}$) ($R^2 = 0,9918-0,9995$) e os resultados expressos em μmol Trolox/g de extrato e μmol Sulfato Ferroso/g de amostra, respectivamente.

3.6.2.4 Auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico

A capacidade antioxidante pelo sistema de β -caroteno/ácido linoleico dos extratos foi determinada conforme método descrito por Rufino et al. (2010), que consiste na oxidação do β -caroteno induzida pelos produtos de degradação oxidativa do ácido linoleico. A solução sistema β -caroteno/ácido linoleico foi preparado adicionando ácido linoleico (40 μL), Tween 40 (530 μL), solução β -caroteno (50 μL) e clorofórmio (1 mL). Em seguida, o clorofórmio foi evaporado com auxílio do oxigenador, e em seguida foi adicionado água tratada com oxigênio até uma absorbância entre 0,6 e 0,7 nm a 470 nm.

Os extratos (0,4 mL) foram adicionados a solução sistema de β -caroteno/ácido linoleico (5 mL) sendo a mistura mantida em banho-maria a 40 °C. Após 2 min foi realizado a leitura inicial na absorbância a 470 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific®, modelo Evolution 60S) e depois em intervalos de 30 min até tempo total de 120 min. A solução de Trolox (200 $\mu\text{g}/\text{mL}$) foi utilizada como controle negativo e a água destilada como branco. Os resultados foram expressos como percentagens de inibição, Equação 29:

$$\% \text{ Inibição} = 100 - \frac{[(A_i - A_f) \times 100]}{C_i - C_f} \quad (29)$$

Em que: A_i - absorvância inicial da amostra, A_f - absorvância final da amostra, C_i - absorvância inicial do controle negativo e C_f - absorvância final do controle negativo.

3.6.3 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos

Para análise cromatográfica dos compostos fenólicos foram usados os padrões de ácidos fenólicos: ácido 3,4 dihidroxibenzóico (protocatequímico), 4 hidroxibenzoico, salicílico, siríngico, ácido 2,5 dihidroxibenzóico (gentísico), vanílico, elágico, *p*-cumárico, sinápico, *trans*-cinâmico, cafeico e ferúlico e flavonoides: rutina, miricetina, quercetina, naringina, kaempferol, catequina, hesperetina, crisina obtidos da SigmaAldrich® (Sigma Co., USA).

As análises cromatográficas foram realizadas em um cromatógrafo líquido de alto desempenho (HPLC) Shimadzu® (Kyoto, Japão), equipado com um injetor automático Rheodyne® 7125i e um detector UV/Vis. As colunas utilizadas foram uma coluna Shimadzu® LC-18 (25 cm × 4,6 mm, 5µm particle size, da Supelco, Bellefonte, PA) e uma pré-coluna C18 ODS Shimadzu. Os extratos metanólicos da polpa e da amêndoa de macaíba foram eluídas com um sistema gradiente que consiste em solvente A (2% ácido acético, v/v) e solvente B (acetonitrila:metanol, 2:1, v/v), utilizados como fases móveis, com um fluxo de 1 mL/min, temperatura da coluna 25 °C e o volume de injeção de 20 µL. O sistema de gradiente iniciou-se a partir de 90% A a 0 min, 88% A em 3 min, 85% A em 6 min, 82% A em 10 min, 80% A em 12 min, 70% A em 15 min, 65% A em 20 min, 60% A em 25 min, 50% A em 30-40 min, 75% A em 42 min e 90% A em 44 min, e solvente B na proporção necessária para completar 100%. A corrida cromatográfica total foi de 50 min. Os picos dos compostos fenólicos foram monitorizados a 280 nm. O software LabSolutions (Shimadzu®) foi usado para controlar o sistema de LC-UV e de processamento de dados.

Os compostos fenólicos foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção com os padrões de ácidos fenólicos e flavonoides, sendo quantificados em concentrações de mg/mL a partir de curvas de calibração e os cromatogramas foram registrados no software LabSolutions Data System.

3.7 MEDIDAS REOLÓGICAS DA POLPA DE MACAÍBA NO REGIME ESTACIONÁRIO

As análises reológicas da polpa de macaíba no estado estacionário foram realizadas em um viscosímetro (Brookfield® DV-II+, Massachusetts, EUA), com adaptador para pequena quantidade de amostra. Um banho termostático com precisão de 0,1 °C foi utilizado para ajustar a temperatura das amostras na faixa de 10 a 50 °C. As leituras no viscosímetro foram realizadas variando-se a velocidade de rotação de 2,5 a 200 rpm com dezessete pontos, permanecendo durante 30 segundos em cada velocidade com controle de temperatura; para cada velocidade de rotação selecionada foram determinadas a viscosidade aparente, a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento correspondente; as medidas foram realizadas nas temperaturas de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C e as leituras feitas em triplicata utilizando-se o spindle 28, e em cada medida, uma nova amostra.

Os modelos reológicos (ver Quadro 1, citado anteriormente na revisão bibliográfica) de Ostwald-de-Waele ou Lei da potência (Equação 1), Mizrahi-Berk (Equação 2), Herschel-Bulkley (Equação 3), Casson (Equação 4) e Bingham (Equação 5) foram ajustadas às curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, utilizando o programa computacional Statistica versão 7.0 para descrever o comportamento reológico da polpa de macaíba.

3.8 CINÉTICA DE SECAGEM

As secagens das polpas de macaíba foram realizadas, em triplicata, em estufa com circulação forçada de ar, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de 0,55 m/s (termo anemômetro digital), em bandejas circulares (25 cm de diâmetro) de aço inoxidável com uma camada fina e homogênea de polpa com espessura de 0,5 cm. Durante o processo de secagem as bandejas foram pesadas em intervalos de tempo regulares até massa constante; os dados experimentais foram usados para o cálculo dos valores da razão de teor de água e taxas de secagem de acordo com as Equações 30 e 31.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} \quad (30)$$

$$TX = \frac{X - X_o}{\Delta t} \quad (31)$$

No qual,

RX - razão de teor de água, adimensional; X - teor de água (g H₂O/g amostra seca), base seca; X_e - teor de água de equilíbrio (g H₂O/g amostra seca), base seca; X_0 - teor de água inicial (g H₂O/g amostra seca), base seca, Δt - variação de tempo (min).

As amostras secas foram removidas das bandejas com auxílio de uma espátula de aço inoxidável e trituradas em processador doméstico para obtenção do pó.

Os modelos matemáticos (ver Quadro 2, citado anteriormente na revisão bibliográfica) de Page (Equação 6), Henderson e Pabis (Equação 8), Henderson e Pabis modificado (Equação 9), Thompson (Equação 14), Newton (Equação 15), Wang e Sing (Equação 17) foram ajustados aos dados de secagem da polpa de macaíba usando regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, empregando o programa computacional Statistica 7.0.

O grau de ajuste de cada modelo foi verificado considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM) e valor de Qui-quadrado (χ^2). Os parâmetros estatísticos DQM e χ^2 foram calculados utilizando as Equações 32 e 33, respectivamente.

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{n}} \quad (32)$$

$$\chi^2 = \sqrt{\sum (RX_{exp} - RX_{pred})^2} \quad (33)$$

Sendo: DQM - desvio quadrático médio; RX_{pred} - razão de umidade predita pelo método; RX_{exp} - razão de umidade experimental; n - número de observações; χ^2 - qui-quadrado.

3.8.1 Difusividade efetiva

O modelo matemático de difusão de Fick para uma placa plana (Equação 34) com uma aproximação de sete termos ($n = 7$), foi ajustado aos dados experimentais da secagem da polpa de macaíba.

$$RX = \left(\frac{8}{\pi^2}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{EF} t}{4L_o^2}\right) \quad (34)$$

Em que: RX - razão de teor de água (adimensional); D_{EF} - difusividade efetiva (m^2/s); L_0 - meia espessura da polpa (m); n - número de termos; t - tempo (s).

A fim de avaliar a influência da temperatura de secagem sobre a difusividade efetiva (D_{ef}), a equação de Arrhenius foi ajustada, de acordo com Equação 35.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT_a}\right) \quad (35)$$

No qual: D_0 - fator pré-exponencial (m^2/s); E_a - energia de ativação (kJ/mol); R - constante universal dos gases, 0,008314 kJ/mol; T_a - temperatura absoluta (K).

3.8.2 Propriedades termodinâmicas

As propriedades termodinâmicas de entalpia, entropia e energia livre de Gibbs relacionadas ao processo de secagem da polpa de macaíba foram calculadas através das Equações 36, 37 e 38, respectivamente.

$$\Delta H = E_a - RT_a \quad (36)$$

$$\Delta S = R \left[\ln(D_0) - \ln\left(\frac{k_B}{h_P}\right) - \ln(T_a) \right] \quad (37)$$

$$\Delta G = \Delta H - T_a \Delta S \quad (38)$$

Sendo: ΔH - entalpia (kJ/mol); E_a - energia de ativação (kJ/mol); T_a - temperatura absoluta (K); ΔS - entropia (kJ/mol K); R - constante universal dos gases, 0,008314 kJ/mol; D_0 - fator pré-exponencial (m^2/s); k_B - constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-26}$ kJ/K; h_P - constante de Planck, $6,626 \times 10^{-37}$ kJ/s; ΔG - energia livre de Gibbs (kJ/mol).

3.8.3 Rendimento do pó

O rendimento dos pós obtidos foi determinado como sendo a razão entre a massa do produto em pó e a massa da polpa de macaíba, utilizando-se para isso a Equação 39.

$$R = \frac{M_f \times 100}{M_i} \quad (39)$$

Em que: R - rendimento (% m/m); M_f - massa do produto em pó (g); M_i - massa inicial da polpa (g).

3.9 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE MACAÍBA EM PÓ

Os pós de macaíba obtidos nas secagem com diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C) e espessura de 0,5 cm foram avaliados quanto aos parâmetros: teor de água e sólidos totais, lipídeos, proteínas, acidez total titulável, pH, cor, atividade de água, ácido ascórbico, carotenoides, flavonoides e fenólicos, de acordo com as metodologias descritas no item 3.5; além das análises de índice de peróxido, densidade aparente, densidade compactada, densidade absoluta, fator de Hausner (FH), índice de compressibilidade, molhabilidade, solubilidade, porosidade e morfologia, descritas a seguir.

3.9.1 Índice de peróxido

Para determinação do índice de peróxido foi necessário a extração a frio pelo método de Folch, Lees e Stanley (1957) do óleo da macaíba em pó. Foi pesado 10 g do pó e adicionado 50 mL da solução de clorofórmio/metanol (2:1) e 10 mL da solução de sulfato de sódio a 1,5% obtendo-se, aproximadamente, 3 g de óleo. Em seguida, foi adicionado de solução de ácido acético-clorofórmio 3:2 e a amostra diluída, acrescentando solução saturada de iodeto de potássio. Seguido da titulação dessa solução acrescida de água com solução de tiosulfato de sódio 0,1 N até o desaparecimento da coloração amarela. Em sequência, foi adicionado solução de amido indicadora e seguiu com a titulação até o desaparecimento da coloração azul (AOCS, 1993). O volume de solução de tiosulfato de sódio gasto na titulação foi anotado para obter o valor de índice de peróxido na amostra (meq/kg da amostra) calculado pela Equação 40.

$$\text{Índice de peróxido (meq/kg da amostra)} = \frac{(A - B) \times N \times f \times 1000}{P} \quad (40)$$

No qual: A - nº de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação da amostra; B - nº de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação do branco; N - normalidade da solução de tiosulfato de sódio; f - fator da solução de tiosulfato de sódio; P - massa da amostra (g).

3.9.2 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada, em triplicata, utilizando uma massa de pó conhecida a qual foi transferida para uma proveta graduada, na qual o volume foi usado no cálculo da densidade aparente pela relação entre a massa e o volume.

3.9.3 Densidade compactada

A densidade compactada (ρ_{ap}) foi determinada, em triplicata, utilizando a metodologia de Tonon, Brabet e Hubinger (2013). Para isso, foi pesado uma massa de pó até completar o volume de 10 mL na proveta; em seguida, foi compactado batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada com amplitude de deslocamento de 6,5 cm. A densidade foi calculada pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada na proveta.

3.9.4 Densidade absoluta

A densidade absoluta foi determinada utilizando picnômetro de 25 mL, a partir do deslocamento causado pelo pó de um volume conhecido de hexano. O volume do pó foi determinado pela diferença entre o volume total do picnômetro e o volume de hexano adicionado. A densidade da macaíba em pó foi obtida pela relação entre a massa de pó e o volume de pó.

3.9.5 Fator de Hausner

O fator de Hausner (FH) que consiste na razão entre a densidade compactada e a densidade aparente segundo a metodologia de Hausner (1967) está correlacionado com a fluidez de um pó ou material granulado. O fator de Hausner do pó foi calculado através Equação 41.

$$FH = \frac{\rho_{\text{comp}}}{\rho_{\text{ap}}} \quad (41)$$

Sendo: FH - fator de Hausner (adimensional); ρ_{comp} - densidade compactada (g/cm^3); ρ_{ap} - densidade aparente (g/cm^3).

3.9.6 Índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC)

O índice de compressibilidade é um parâmetro relacionado a capacidade de empacotamento do pó, determinado por meio da Equação 42 conforme a metodologia de Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014).

$$IC = \frac{\rho_{\text{comp}} - \rho_{\text{ap}}}{\rho_{\text{comp}}} \times 100 \quad (42)$$

Em que: IC - índice de Carr (%); ρ_{comp} - densidade compactada (g/cm^3); ρ_{ap} - densidade aparente (g/cm^3).

3.9.7 Molhabilidade

Para a determinação do tempo de molhabilidade foi utilizado a metodologia de Lannes e Medeiros (2003), onde foi pesado cerca de 1,0 g do pó, e sob queda, foi adicionado em um bécker contendo 200 mL de água (25 °C), sem agitação, medindo-se o tempo gasto até que a amostra fosse totalmente imersa.

3.9.8 Solubilidade

O índice de solubilidade foi determinado de acordo com o método descrito por Schoch (1964). Para esta análise foi pesado 1 g do pó em tubos de Falcon adicionando-se 40 ml de água destilada seguido de homogeneização da suspensão que foi levada ao banho-maria (70° C, durante 30 min). Em seguida, a amostra foi centrifugada a 3200 rpm por 15 minutos. O sobrenadante foi removido e colocado em um becker previamente pesado, levado à estufa a 105 ° C por 24 h, para a determinação do peso do resíduo solúvel. A solubilidade foi calculada pela diferença de massa conforme a Equação 43.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{massa de pó no sobrenadante}}{\text{massa de pó total}} \times 100 \quad (43)$$

3.9.9 Porosidade

A porosidade foi calculada a partir da relação entre as densidades aparente e a densidade absoluta, de acordo com a Equação 44.

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{\text{ap}}}{\rho_{\text{abs}}}\right) \times 100 \quad (44)$$

No qual: ε - porosidade; ρ_{ap} - densidade aparente (g/cm^3); ρ_{abs} - densidade absoluta (g/cm^3).

3.9.10 Morfologia

A morfologia do pó de macaíba foi analisada empregando-se a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A amostra foi metalizada com uma liga de ouro/paládio e em seguida observada no microscópio eletrônico de varredura Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 1430 com EDS com aumentos de 100 a 500 \times .

3.9.11 Potencial antioxidante

A capacidade antioxidante (CA) foi determinada por quatro ensaios distintos, atividade sequestrante do radical livre DPPH, atividade sequestrante do radical livre ABTS, poder antioxidante de redução do ferro (FRAP) e auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico descritos no item 3.6, a partir dos extratos metanólicos das amostras de polpa em pó obtidas nas diferentes temperaturas de secagem, que foram diluídos com água destilada (10 mg/mL) e armazenados em frascos âmbar, sob refrigeração antes das análises de capacidade antioxidante. Todo o procedimento de extração foi executado em iluminação de 4,8 lux.

3.10 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ SELECIONADO

O pó foi selecionado dentre os 4 pós obtidos na secagem em diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C) em função da maior concentração de carotenoides, baixo tempo de secagem e alto rendimento.

3.10.1 Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água do pó selecionado foram determinadas nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, em triplicata, utilizando-se o método estático-indireto, conforme Crapiste e Rotstein (1982). As medidas das atividades de água das amostras em pó foram determinadas por meio do higrômetro Aqualab (3TE - Decagon). O teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca da amostra.

Os modelos matemáticos de GAB (Equação 18), Oswin (Equação 19), Peleg (Equação 20) e Iglesias e Chirife (Equação 25) foram ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó através de regressão não linear pelo método Quasi-Newton, com auxílio do programa computacional Statistica 7.0. Foram usados para avaliar os modelos os seguintes parâmetros de ajuste o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 45.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|X_{\text{exp}} - X_{\text{teor}}|}{X_{\text{exp}}} \quad (45)$$

Sendo: P - desvio percentual médio (%); X_{exp} - valores obtidos experimentalmente; X_{teor} - valores preditos pelo modelo; n - número de dados experimentais.

3.10.2 Perfil de fenólicos

As análises cromatográficas foram realizadas em um cromatógrafo líquido de alto desempenho (HPLC) Shimadzu® (Kyoto, Japão), equipado com um injetor automático Rheodyne 7125i e um detector UV/Vis. As colunas utilizadas foram uma coluna Shimadzu

LC-18 (25 cm × 4,6 mm, 5µm particle size, da Supelco, Bellefonte, PA) e uma pré-coluna C18 ODS Shimadzu®, de acordo com metodologia descrita no item 3.6.3.

3.10.3 Perfil de ácidos graxos

Para análise do perfil de ácidos graxos, os ésteres metílicos foram preparados conforme o método Hartman e Lago (1973) com adaptações, e a quantificação obtida por curva de calibração com padrões de ésteres metílicos, utilizando um cromatógrafo gasoso GCMS-QP2010 (Shimadzu®, Kyoto, Japan) equipado com uma coluna Durabound® (DB-23 30 m × 0,25 mm × 0,25 µm), de acordo com a metodologia descrita anteriormente no item 3.5.4.

3.10.4 Estudo da estabilidade durante o armazenamento

O armazenamento da macaíba em pó selecionada, obtida na melhor condição de secagem, foi realizado em um período de 90 dias em câmara incubadora tipo BOD nas temperaturas de 25 e 35 °C com umidade relativa de, aproximadamente, 84%.

As amostras em pó (25 g) foram acondicionadas em embalagens laminadas compostas de uma camada de PET cristal (polietileno de baixa densidade cristal) e outra camada de PET metal (polietileno tereftalato metal). As embalagens tinham, aproximadamente, 12 × 8 cm; três embalagens contendo as amostras foram lacradas com seladora e, em seguida, colocadas em recipientes de vidro hermético, contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl) correspondendo à umidade relativa média de 84%; a seguir, os potes foram acondicionados nas câmaras com temperatura controlada. A cada 15 dias foram realizadas análises físicas e químicas nas amostras em pó quanto ao teor de água, pH, acidez total titulável, atividade de água, cor, índice de peróxido, lipídeos, carotenoides, ângulo de repouso, densidade aparente, densidade compactada e Fator de Hausner, de acordo com as metodologias dos itens 3.5 e 3.9.

3.11 ELABORAÇÃO DE SORVETE DE MACAÍBA

A formulação do sorvete foi definida a partir de testes preliminares tomando-se como referência os trabalhos de Cruxen et al. (2017), Erkaya, Dağdemir e Sengül (2012) e Karaman et al. (2014) que elaboraram sorvetes de butiá, physalis e caqui, respectivamente. O processamento do sorvete foi iniciado com a pesagem dos ingredientes para obtenção da

massa base: leite (70%), açúcar (9%), creme de leite (8%), leite em pó (7%), xarope de glicose (5%), liga neutra (Selecta Duas Rodas[®]) (0,7%) e emulsificante, Emustab (Selecta Duas Rodas[®]) (0,7%). Os ingredientes foram homogeneizados em liquidificador industrial e a mistura foi pasteurizada a 75 °C por 30 min, em seguida, submetida a aeração por batimento com as polpas de macaíba: 40% de polpa de macaíba *in natura* (Formulação 1 - F1) e 10% de polpa de macaíba em pó (Formulação 2 - F2), sendo os sorvetes embalados em recipientes plásticos de 3,2 L, e mantidos congelados a -18 °C para a realização das análises posteriores.

3.12 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DOS SORVETES DE MACAÍBA

As amostras de polpa de macaíba *in natura*, macaíba em pó e as duas formulações de sorvete (F1 e F2) foram avaliadas quanto às suas qualidades microbiológicas. Os parâmetros de avaliação da qualidade microbiológica seguiram recomendação da Instrução Normativa, n° 01 de 07 de janeiro de 2000, para polpas de frutas, que são: coliformes termotolerantes, bolores e leveduras e *Salmonella* sp. da Resolução RDC, n° 12 de 2 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2000; 2001). Os parâmetros de avaliação microbiológica dos sorvetes seguiram recomendação da Resolução RDC, n° 12 de 2 de janeiro de 2001, que são: coliformes, estafilococos e *Salmonella* sp. (BRASIL, 2001). As análises foram realizadas seguindo as metodologias descritas pela American Public Health Association e Food and Drug Administration (APHA, 2001; FDA, 2007).

3.13 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO SORVETE

3.13.1 *Overrun*

Para medir a quantidade de ar incorporado nos sorvetes (% *overrun*) nas amostras dos sorvetes de macaíba, F1 e F2 foi usada a Equação 46.

$$\%overrun = \frac{m_{\text{mistura base}} - m_{\text{sorvete}}}{m_{\text{sorvete}}} \quad (46)$$

Em que *overrun* - quantidade de ar incorporado no sorvete (%); $m_{\text{mistura base}}$ - massa da mistura base (g); m_{sorvete} - massa do sorvete (g).

3.13.2 Derretimento

As propriedades de fusão dos sorvetes foram determinadas de acordo com a metodologia de Muse e Hartel (2004) com adaptações, em que 50 g dos sorvetes foram colocadas em tela adaptada (aberturas de 5 mm) de forma a permitir seu derretimento numa proveta e o volume coletado (mL) foi registrado a cada 5 min em temperatura ambiente (25 °C) até o derretimento total. As medidas registradas foram utilizadas para plotar uma curva relacionando o volume derretido (mL) *versus* tempo (min).

3.14 ANÁLISE SENSORIAL DO SORVETE DE MACAÍBA

A avaliação sensorial foi realizada pela aplicação de testes de aceitação e intenção de compra a partir da Escala Hedônica por Dutcosky (2007). A aceitabilidade dos provadores foi avaliada pela aplicação da Escala Hedônica estruturada de 9 pontos, tendo como extremos “1” (Desgostei muitíssimo) e “9” (Gostei muitíssimo) (ABNT, 1993). Os provadores foram orientados a provarem as amostras e avaliarem quanto a aceitação dos parâmetros: aparência, cor, aroma, textura, doçura, sabor e aceitação global. Também foi realizado o teste de intenção de compra para cada produto, com escala estruturada em 5 pontos, variando de “1” (Certamente não compraria) até “5” (Certamente compraria) (ABNT, 1993).

Uma equipe não-treinada de 100 provadores, formada por 50% do sexo feminino e 50% do sexo masculino, com faixa etária entre 17 e 60 anos, 71% com curso de graduação em andamento e todos consumidores de sorvetes. Receberam monadicamente em cabines individuais 20 g das amostras na temperatura usual de consumo, aproximadamente, -10 °C em copos plásticos descartáveis codificados com números aleatórios de três dígitos, acompanhadas de uma colher descartável, um copo com água potável, biscoito e fichas de respostas, de acordo com Dutcosky (2007).

O teste foi realizado com prévia aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos CAAE 56872116.5.0000.5182/Parecer 2.618.936 (Anexo A), para atender as exigências éticas e científicas dispostas na Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (BRASIL, 2012).

O índice de aceitação (IA) foi calculado considerando como 100% a maior nota alcançada na aceitação global das amostras analisadas (Equação 47) e adotando como critério para a classificação satisfatória o índice de aceitação igual ou superior a 70% (DUTCOSKY, 2007).

$$IA = \frac{A}{B} \times 100 \quad (47)$$

Em que: IA – índice de aceitação (%); A - nota média obtida; e B - nota máxima dada à amostra.

3.15 ELABORAÇÃO DO EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DA AMÊNDOA DA MACAÍBA COM ADIÇÃO DE POLPA DE GOIABA

A partir de testes preliminares baseando-se nos trabalhos de Albuquerque et al. (2015) e Ferragut et al. (2015), que desenvolveram bebidas vegetais utilizando amendoim, soja e amêndoa, foi definido o procedimento para obtenção do extrato hidrossolúvel da amêndoa de macaíba. Foi realizado um processo de desintegração das amêndoas inteiras com água a 50 °C na proporção de 1:3 (amêndoa:água, p/v) durante 3 min. O produto obtido foi filtrado e, posteriormente, adicionado aos ingredientes: polpa de goiaba (40%), açúcar (10%) e sal (0,1%). Em seguida, a mistura foi homogeneizada e pasteurizada (75 °C/30 min), envasadas a quente em garrafas de vidro, previamente esterilizadas, e mantidas sob refrigeração 5 ± 1 °C.

3.16 CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DA AMÊNDOA DA MACAÍBA SABOR GOIABA

A bebida vegetal elaborada foi submetida às análises físicas e físico-químicas de teor de água e sólidos totais, sólidos solúveis totais utilizando-se refratômetro manual, lipídeos, proteínas, açúcares por diferença, resíduo mineral fixo, pH e acidez total titulável, metodologias descritas no item 3.5 (AOAC, 2012).

3.17 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DA AMÊNDOA DE MACAÍBA SABOR GOIABA

As análises da qualidade microbiológica da bebida vegetal foram realizadas de acordo com a legislação microbiológica sobre o "leite de soja" vigente no Brasil, Resolução - RDC Nº 12, de 02 de janeiro de 2001, que trata dos padrões microbiológicos sanitários para alimentos (BRASIL, 2001). As análises realizadas foram: coliformes, estafilococos e *Salmonella* sp, e seguiram as metodologias descritas pela American Public Health Association e Food and Drug Administration (APHA, 2001; FDA, 2007).

3.18 ANÁLISE SENSORIAL DO EXTRATO ELABORADO

A avaliação sensorial foi realizada pela aplicação de testes de aceitação e intenção de compra por Dutcosky (2007). A aceitabilidade pelos provadores foi avaliada pela aplicação da Escala Hedônica estruturada de 9 pontos, tendo como extremos “1” (Desgostei muitíssimo) e “9” (Gostei muitíssimo). Os provadores foram orientados a provarem a amostra e avaliarem quanto a aceitação dos parâmetros: aparência, cor, aroma, textura, doçura, sabor e aceitação global. Também foi realizado o teste de intenção de compra, com escala estruturada em 5 pontos, variando de “1” (Certamente não compraria”) até “5” (Certamente compraria) (ABNT, 1993).

Uma equipe não-treinada de 100 provadores composto por 53% do sexo masculino, com faixa etária predominante de 18 a 30 anos, 93% solteiro, 83% com curso de graduação em andamento, 62% consumiam algum tipo de bebida vegetal, 31% consumiam raramente algum tipo de bebida vegetal, 93% eram consumidores de goiaba e 5% apresentavam algum tipo de intolerância ou alergia alimentar. Receberam individualmente 50 mL das amostras na temperatura usual de consumo, aproximadamente 10 °C, em copos plásticos descartáveis codificados com números aleatórios de três dígitos, acompanhadas um copo com água potável, biscoito e fichas de respostas. O índice de aceitação (IA) foi calculado de acordo Dutcosky (2007) utilizando a Equação 47.

O teste foi realizado com prévia aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos CAAE 56872116.5.0000.5182 Parecer nº 1.638.194 (Anexo B), para atender as exigências éticas e científicas dispostas na Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (BRASIL, 2012).

3.19 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Os dados de caracterização da polpa e da amêndoa de macaíba foram apresentados na forma de médias das triplicatas e desvios médios, assim como da análise sensorial dos extratos hidrossolúveis. Os resultados obtidos na caracterização das amostras em pó, no estudo da estabilidade do pó (esquema fatorial 6×2 , tempos \times temperaturas) e nas análises sensoriais dos sorvetes foram avaliados por meio de um delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste a posteriori de Tukey a 5% de probabilidade para comparação entre as médias, exceto para os dados das

análises sensoriais dos sorvetes que foram comparados por meio do teste t a 5% de probabilidade, assim como os resultados de *overrun*.

O coeficiente de correlação de Pearson (R) foi calculado entre os compostos fenólicos e os métodos de análise de capacidade antioxidante. Todos os tratamentos estatísticos utilizou-se o programa computacional Origin 8.

REFERÊNCIAS

- ABATH, T. N. **Substitutos de leite animal para intolerantes à lactose**. Brasília. Universidade de Brasília, 34 p., 2013. Disponível em: <<http://bdm.unb.br/handle/10483/6346>> Acesso em: 01 jun. 2018.
- ABIS. Associação Brasileira das Indústrias e do Setor de Sorvetes. **Produção e consumo de Sorvetes no Brasil**, 2016. Disponível em: <http://www.abis.com.br/estatistica_producaoconsumodesorvetesnobrasil.html>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- ABNT. **NBR 12994: Métodos de avaliação sensorial de alimentos e bebidas**, São Paulo, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2 p., 1993.
- AIDOO, H.; SAKVI-DAWSON, E.; ABBEY, L.; TANO-DEBRAH, K.; SAALIA, F. K. Optimisation of chocolate formulation using dehydrated peanut-cowpea milk to replace dairy milk. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 2, p. 224–231, 2012.
- ALBUQUERQUE, E. M. B.; ALMEIDA, F. A. C.; GOMES, J. P.; ALVES, N. M. C.; SILVA, W. P. Production of “peanut milk” based beverages enriched with umbu and guava pulps. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 1, p. 61–67, 2015.
- ALEAN, J.; CHEJNE, F.; ROJANO, B. Degradation of polyphenols during the cocoa drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 189, p. 99–105, 2016.
- ALMEIDA, F. H. L. **Desenvolvimento, acúmulo de óleo e armazenamento de coco macaúba**. 98 p., Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Montes Claros, Minas Gerais, 2014.
- AMARAL, F. P.; BROETTO, F.; BATISTELLA, C. B.; JORGE, S. M. A. Extraction and qualitative characterization of pulp and almonds oils of macauba fruits [*Acrocomia aculeata* (jacq) lodd. ex mart] collected in the region of Botucatu, SP. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 12–20, 2011.
- AMARO, N. P. L.; SANAVIO, B.; SILVA, C. J.; AZEVEDO FILHO, J. A. SILVA, V. S. N. Physico-chemical characteristic of macaúba: technological application and sensory evaluation. **Revista Intellectus**, v. 2, n. 30, p. 5–24, 2015.
- ANDRADE, R. D. P.; LEMUS, R. M.; PÉREZ, C. E. C. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. **Vitae**, v. 18, n. 3, p. 325–334, 2011.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 266, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para gelados comestíveis e preparados para gelados comestíveis**, 2005. Disponível em: <<https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MjIxMw%2C%2C>>
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19. ed. Washington DC: Gaithersburg, 2012.

AOCS. Peroxide value acetic acid-chloroform method—AOCS Official Method Cd 8-53. In: **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. (4th ed.). Champaign, IL: AOCS Press, 1993.

AOQUI, M. **Caracterização do óleo da polpa de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) e azeite de oliva (*Olea europaea* L.) virgem extra e seus efeitos sobre dislipidemia e outros parâmetros sanguíneos, tecido hepático e mutagênese em ratos wistar**. Dissertação (Biotecnologia). Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande-MS, p. 1–143, 2012.

APHA. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington DC: American Public Health Association, 2001. 676 p.

ARESTA, A.; ZAMBONIN, C. Simultaneous determination of salicylic, 3-methyl salicylic, 4-methyl salicylic, acetylsalicylic and benzoic acids in fruit, vegetables and derived beverages by SPME-LC-UV/DAD. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 121, p. 63–68, 2016.

BALDASSO, C. **Concentração, purificação e fracionamento das proteínas do soro lácteo através da tecnologia de separação por membranas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2008. 179 p.

BENTO, R.; SCAPIM, M.; AMBROSIO-UGRI, M. Production and characterization of the quinoa and rice water soluble extract-based chocolate drink. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 2, p. 317–323, 2012.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70–76, 1996.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; D'ARCY, B. R.; RINTOUL, G. B. Co-crystallization of honey with sucrose. **LWT - Food Science and Technology**, v. 31, n. 2, p. 138–142, 1998.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354–364, 2014.

BITTENCOURT, M. L. F.; RIBEIRO, P. R.; FRANCO, R. L. P.; HILHORST, H. W. M.; CASTRO, R. D.; FERNANDEZ, L. G. Metabolite profiling, antioxidant and antibacterial activities of Brazilian propolis: Use of correlation and multivariate analyses to identify potential bioactive compounds. **Food Research International**, v. 76, p. 449–457, 2015.

BORA, P. S.; ROCHA, R. V. M. Macaiba palm: fatty and amino acids composition of fruits. **Ciencia y Tecnología Alimentaria**, v. 4, n. 3, p. 158–162, 2004.

BRAND-WILLIAMS; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 25–30, 1995.

BRASIL. Instrução Normativa nº1, 07 de janeiro de 2000. Aprova o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta e suco de uva. *In:* .

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, Brasil, 2000.

BRASIL. Resolução - RDC Nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, 2001. Disponível em:
<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0018_03_04_2013.html>

BRASIL. Ministério da Saúde: Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa envolvendo seres humanos. **Diário Oficial da União**, Brasília, Brasil, 2012.

BRESSAN, J.; HERMSDORFF, H. H. M.; ZULET, M. A.; MARTÍNEZ, J. A. Impacto hormonal e inflamatório de diferentes composições dietéticas: ênfase em padrões alimentares e fatores dietéticos específicos. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 53, n. 5, p. 572–581, 2009.

BRETAS, R. E. S.; D'AVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos**. 2. ed. São Carlos: Edufscar, 2005, 257p.

BRUNELLI, L. T.; VENTURINI FILHO, W. G. Caracterização química e sensorial de bebida mista de soja e uva. **Alimentos e Nutrição**, v. 23, n. 3, p. 467–473, 2012.

CARNEIRO, B. L. A.; ARÉVALO-PINEDO, A.; SCARTAZZINI, L.; ZUNIGA, A. D. G.; PINEDO, R. A. Stability of babassu nut milk pasteurized and storage under refrigeration. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 232–236, 2014.

CARVALHO JUNIOR, F. F. Apresentação clínica da alergia ao leite de vaca com sintomatologia respiratória. **Jornal de Pneumologia**, v. 27, n. 1, p. 17–24, 2001.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Planaltina-DF, 2010, 49 p.

CHEYNIER, V. Polyphenols in foods are more complex than often thought. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, p. 223S-229S, 2005.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jervivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2139–2142, 2011a.

COIMBRA, M.; JORGE, N. Characterization of the pulp and kernel oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. **Journal of food science**, v. 76, n. 8, p. C1156-61, 2011b.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Fatty acids and bioactive compounds of the pulps and kernels of Brazilian palm species, guariroba (*Syagrus oleraces*), jervivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 3, p. 679–684, 2012.

- CORDEIRO, Â. M. T. M. **Desenvolvimento de bioaditivos antioxidantes para otimização da estabilidade oxidativa de óleos comestíveis**. 131 p. Tese de doutorado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- COSTA, D. O.; CARDOSO, G. R.; SILVA, G. M. V. A evolução do setor produtivo e comercialização de polpa de fruta no Brejo Paraibano : Estudo de caso na COAPRODES. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia De Produção**, Salvador-BA, p. 1–16, 2013.
- COSTA, E. R.; SILVA, A. R. Desenvolvimento e aceitação sensorial de sorvetes de massa elaborados com farinha de polpa e amêndoa de macaúba. **Anais da 3ª Jornada Científica da UEMS/Naviraí**, p. 89–92, 2013.
- COSTA, F. F.; RESENDE, J. V.; ABREU, L. R.; GOFF, H. D. Effect of calcium chloride addition on ice cream structure and quality. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 6, p. 2165–2174, 2008.
- COSTA, G. L. A. **Avaliação do potencial mutagênico , antimutagênico e antioxidante do óleo da polpa de *Acrocomia aculeata* (Arecaceae)**. 67 p. Dissertação de Mestrado em Biotecnologia aplicada à saúde. Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande-MS, 2012.
- CRAPISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501–1507, 1982.
- CRUXEN, C. E. S.; HOFFMANN, J. F.; ZANDONÁ, G. P.; FIORENTINI, A. M.; ROMBALDI, C. V.; CHAVES, F. C. Probiotic butiá (*Butia odorata*) ice cream: Development, characterization, stability of bioactive compounds, and viability of *Bifidobacterium lactis* during storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, p. 379–385, 2017.
- CURI, P. Essencialidade dos Ácidos Graxos. In: Entendendo a gordura – os ácidos graxos. In: CURI, R.; Pompéia, C.; Miyasaka, C. K.; Procópio, J. **Entendendo a gordura – os ácidos graxos**. São Paulo: Manole, p. 27–32, 2002.
- D'ARCHIVIO, M.; M.; FILESI, C.; DI BENEDETTO, R.; GARGIULO, R.; GIOVANNINI, C.; MASELLA, R. Polyphenols, dietary sources and bioavailability. **Annali dell'Istituto Superiore di Sanita**, v. 43, n. 4, p. 348–361, 2007.
- DAK, M.; VERMA, R. C.; JAAFFREY, S. N. A. Effect of temperature and concentration on Rheological properties of “Kesar” mango juice. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 4, p. 1011–1015, 2007.
- DESSIMONI-PINTO, N. A. V.; SILVA, V. M.; BATISTA, A. G.; VIEIRA, G.; SOUZA, C. R.; DUMONT, P. V.; SANTOS, G. K. M. Características físico-químicas da amêndoa de macaúba e seu aproveitamento na elaboração de barras de cereais. **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 1, p. 79–86, 2010.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 2. ed. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 2007 123 p.

ERKAYA, T.; DAĞDEMİR, E.; SENGÜL, M. Influence of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) addition on the chemical and sensory characteristics and mineral concentrations of ice cream. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 331–335, 2012.

FARIA, R. Q.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Drying kinetics of crambe seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 573–583, 2012.

FDA. Food and Drug Administration. **Bacteriological Analytical Manual- BAM**. 2007. Disponível em:

<<http://www.fda.gov/downloads/food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/UCM244774.pdf>> Acesso em: 17 ago. 2016.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006, 602p.

FERNANDEZ-OROZCO, R.; GALLARDO-GUERRERO, L.; HORNERO-MÉNDEZ, D. Carotenoid profiling in tubers of different potato (*Solanum* sp) cultivars: Accumulation of carotenoids mediated by xanthophyll esterification. **Food Chemistry**, v. 141, n. 3, p. 2864–2872, 2013.

FERRAGUT, V.; HERNÁNDEZ-HERRERO, M.; VECIANA-NOGUÉS, M. T.; BORRAS-SUAREZ, M.; GONZÁLEZ-LINARES, J.; VIDAL-CAROU, M. C.; GUAMIS, B. Ultra-high-pressure homogenization (UHPH) system for producing high-quality vegetable-based beverages: Physicochemical, microbiological, nutritional and toxicological characteristics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 5, p. 953–961, 2015.

FERRARI, R.; AZEVEDO FILHO, J. D. Macauba as promising substrate for crude oil and biodiesel production. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 2, p. 1119–1126, 2012.

FERREIRA, M. M. P. **Desenvolvimento, caracterização e secagem de sementes com cobertura artificial**. 235 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos, São Paulo-SP, 2004.

FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 226, p. 497–509, 1957.

FRANCIS, F. J. Analysis of Anthocyanins. *In*: **Anthocyanins As Food Colors**. New York: Academic Press., p. 181–207, 1982.

FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. **Revista de Nutricao**, v. 23, n. 2, p. 269–279, 2010.

GIOVANNINI, C.; MASELLA, R. Role of polyphenols in cell death control. **Nutritional Neuroscience**, v. 15, n. 3, p. 134–149, 2012.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M.R; IZIDORO, D.S; MACIEL, G.M; SCHEER, A.P; MASSON, M.L. Comportamento reológico de sistemas pécticos de polpas de frutas

- vermelhas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 225–231, 2009.
- HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v. 22, p. 475–476, 494, 1973.
- HASHIM, N.; DANIEL, O.; RAHAMAN, E. A preliminary study: Kinetic model of drying process of pumpkins (*Cucurbita Moschata*) in a convective hot air dryer. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 345–352, 2014.
- HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metall**, v. 3, p. 7–13, 1967.
- HIANE, P.; BALDASSO, P. A.; MARANGONI, S.; MACEDO, M. L. R. Chemical and nutritional evaluation of kernels of bocaiuva. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 683–689, 2006a.
- HIANE, P. A.; MACEDO, M. L. R.; SILVA, G. M.; BRAGA NETO, J. A. Avaliação nutricional da proteína de amêndoas de bocaiúva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., em ratos wistar em crescimento. **Boletim CEPPA**, v. 24, n. 1, p. 191–206, 2006b.
- HIANE, P. A.; RAMOS FILHO, M. M.; RAMOS, M. I. L.; MACEDO, M. L. R. Bocaiúva, *Acrocomia Aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: Characterization and fatty acid composition. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 3, p. 256–259, 2005.
- HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. **Journal of Food Science**, v. 27, n. 1, p. 42–49, 1962.
- KALIORA, A. C.; DEDOISSIS, G. V. Z. Natural antioxidant compounds in risk factors for CVD. **Pharmacological Research**, v. 56, n. 2, p. 99–109, 2007.
- KARAMAN, S.; TOKER, O. S.; YÜKSEL, F.; ÇAM, M.; KAYACIER, A.; DOGAN, M. Physicochemical, bioactive, and sensory properties of persimmon-based ice cream: Technique for order preference by similarity to ideal solution to determine optimum concentration. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 1, p. 97–110, 2014.
- KOPPER, A. C.; SARAVIA, A. P. K.; RIBANI, R. H.; LORENZI, G. M. A. C. Utilização tecnológica da farinha de bocaiuva na elaboração de biscoitos tipo cookie. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, p. 463–469, 2009.
- LAMOUNIER, M. L.; SILVA, F. A.; ALMEIDA, C. C.; SILVA, R. L. Characterization of ice cream açaí, guaraná banana and added phytosterol. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, p. 1570–1578, 2014.
- LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray dryer. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 39, n. 1, p. 115–123, 2003.
- LEE, Y. C.; CHUAH, A. M.; YAMAGUCHI, T.; TAKAMURA, H.; MATOBA, T. Antioxidant activity of traditional Chinese medicinal herbs. **Food Science and Technology Research**, v. 14, n. 2, p. 205–210, 2008.

LIRA, F. F.; MACHADO, W.; SANTOS, J. V. F.; TAKAHASHI, L. S. A.; GUIMARÃES, M. F.; LEAL, A. C. Avaliação da composição centesimal de frutos de macaúba. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 2, n. 3, p. 134–137, 2013.

LORENZI, H.; KAHN, F.; NOBLICK, L. R.; FERREIRA, E. **Flora Brasileira - Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 368 p., 2010.

MAQSOOD, S.; BENJAKUL, S.; SHAHIDI, F. Emerging role of phenolic compounds as natural food additives in fish and fish products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, n. 2, p. 162–179, 2013.

MARTIN, C. A.; ALMEIDA, V. V.; RUIZ, M. R.; VISENTAINER, J. E. L.; MATSHUSHITA, M.; SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: Importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutricao**, v. 19, n. 6, p. 761–770, 2006.

MENDONÇA, K. S.; CORRÊA, J. L. G.; JUNQUEIRA, J. R. J.; CIRILLO, M. A.; FIGUEIRA, F. V.; CARVALHO, E. L. N. Influences of convective and vacuum drying on the quality attributes of osmo-dried pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) slices. **Food Chemistry**, v. 224, p. 212–218, 2017.

MEYERS, K. J.; MARES, J. A.; IGO, R. P.; TRUITT, B.; LIU, Z.; MILLEN, A. E.; et al. Genetic evidence for role of carotenoids in age-related macular degeneration in the carotenoids in age-related eye disease study (CAREDS). **Investigative ophthalmology & visual science**, v. 55, n. 1, p. 587–99, 2014.

MICHELIN, S.; PENHA, F. M.; SYCHOSKI, M. M.; SCHERER, R. P.; TREICHEL, H.; VALÉRIO, A.; LUCCIO, M.; OLIVEIRA, D. Kinetics of ultrasound-assisted enzymatic biodiesel production from macauba coconut oil. **Renewable Energy**, v. 76, p. 388–393, 2015.

MOOZ, E. D.; CASTELUCCI, A. C. L.; SPOTO, M. H. F. Potencial tecnológico e alimentício de frutos de macaúba *Acrocomia aculeata* (jacq.) Lodd. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 3, n. 2, p. 86–89, 2012.

MORAIS, A. C. DA S.; FREITAS, H. M.; CAVALCANTE, E. M. Aceitabilidade de bebida elaborada com extrato hidrossolúvel da amêndoa da castanha de caju e suco concentrado de manga. V Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação. **Anais V Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação**, 2010.

MORZELLE, M. C.; LAMOUNIER, M. L.; SOUZA, E. C.; SALGADO, J. M.; VILAS-BOAS, E. V. B. Nutritional and sensory characteristics of ice cream from savana fruits. **Journal of Candido Tostes Dairy Institute**, v. 67, n. 387, p. 70–78, 2012.

MUNHOZ, C. L. et al. Drying of the kernel and fresh and osmotically dehydrated bocaiuva pulps. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 36, n. 1, p. 165–170, 2014.

MUSE, M. R.; HARTEL, R. W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 1, p. 1–10, 2004.

NASCIMENTO, A. D. P.; SOARES, L. A. L.; STRAGEVITCH, L.; DANIELSKI, L.

Extraction of *Acrocomia intumescens* Drude oil with supercritical carbon dioxide: Process modeling and comparison with organic solvent extractions. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 111, p. 1–7, 2016.

NUNES, J. S.; CASTRO, D. S.; MOREIRA, I. S.; SOUSA, F. C.; SILVA, W. P. Kinetic description of drying the pulp jaboticaba using empirical models. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 83, p. 1–5, 2014.

OLIVEIRA, T. K. B.; ALMEIDA, F. A. C.; CASTRO, D. S.; NUNES, J. S.; RAMOS, K. R. L. P. Physical and chemical analysis of aqueous extract of peanut. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 121–124, 2014.

OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; DA COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 342–348, 2011.

PAGLARINI, C. S.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; SANTOS, P. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 299–305, 2013.

PARISI, O. I.; PUOCI, F.; RESTUCCIA, D.; FARINA, G.; IEMMA, F.; PICCI, N. Polyphenols and their formulations: Different strategies to overcome the drawbacks associated with their poor stability and bioavailability. *In: Polyphenols in Human Health and Disease*. R. R. Watson, V. R. Preedy, & S. Zibadi (Eds.). (p. 29-45). San Diego: Academic Press, 2014.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem**. CT&EA – Centro de Tecnologia e Engenharia Agroindustrial, Campinas, 2007, 121 p.

PASSO TSAMO, C. V.; HERENT, M.; TOMEKPE, K.; EMAGA, T. H.; QUETIN-LECLERCQ, J.; ROGEZ, H.; LARONDELLE, Y.; ANDRE, C. Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa* sp.). **Food Chemistry**, v. 167, p. 197–204, 2015.

PASSOS, C. P.; SILVA, R. M.; SILVA, F. A.; COIMBRA, M. A.; SILVA, C. M. Supercritical fluid extraction of grape seed (*Vitis vinifera* L.) oil. Effect of the operating conditions upon oil composition and antioxidant capacity. **Chemical Engineering Journal**, v. 160, n. 2, p. 634–640, 2010.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 102–106, 2013.

PIERSON, J. T.; DIETZGEN, R. G.; SHAW, P. N.; ROBERTS-THOMSON, S. J.; MONTEITH, G. R.; GIDLEY, M. J. Major Australian tropical fruits biodiversity: Bioactive compounds and their bioactivities. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 56, p. 357–387, 2012.

PRIOR, R. L.; WU, X. Diet antioxidant capacity: relationships to oxidative stress and health. **American Journal of Biomedical Sciences**, v. 5, p. 126–139, 2013.

- QUINTANA, F. A.; GALVÁN, E. S.; RIVERO, R. A.; GALLO, R. T. Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad Tommy Atkins. **Revista ION**, v. 28, n. 2, p. 79–92, 2015.
- RAMOS, M. I. L.; RAMOS FILHO, M. M.; HIANE, P. A.; BRAGA NETO, J. A.; SIQUEIRA, E. M. A. Qualidade nutricional da polpa de bocaiuva. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 90–94, 2008.
- REETZ, E. R. **Anuário brasileiro de hortaliças 2014**. Editora Gazeta Santa Cruz, 2014, 88 p.
- REMAPE. **Rede Macaúba de Pesquisa - REMAPE**. Disponível em: <<http://www.macauba.ufv.br/>>. Acesso em: 17 aug. 2015.
- RENHE, I.; WEISBERG, E.; PEREIRA, D. Indústria de gelados comestíveis no Brasil. **Informe Agropecuário**, v. 36, n. 284, p. 81–86, 2015.
- RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 269–274, 2016.
- RÍO, J. C.; EVARISTO, A. B.; MARQUES, G.; MARTÍN-RAMOS, P.; MARTÍN-GIL, J.; GUTIÉRREZ, A. Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. **Industrial Crops and Products**, v. 84, n. 1, p. 294–304, 2016.
- RODRIGUES, A.; BEZERRA, C. V.; SILVA, I. Q.; SILVA, L. H. M. Propriedades reológicas do suco de buriti (*Mauritia flexuosa*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 176–186, 2016.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Washington, DC: HarvestPlus Technical Monographs, 2004, 59 p.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Status of carotenoid analytical methods and in vitro assays for the assessment of food quality and health effects. **Current Opinion in Food Science**, v. 1, n. 1, p. 56–63, 2015.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; CALIXTO, F. D. S.; MANCINI-FLHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; CALIXTO, F. D. S. Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS+. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado técnico 128**, p. 1–4, 2007.
- SAINI, R. K.; NILE, S. H.; PARK, S. W. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. **Food Research International**, v. 76, p. 735–750, 2015.

- SANCHEZ-MORENO, C. Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. **Food Science and Technology International**, v. 8, n. 3, p. 121–137, 2002.
- SANTOS, A. A. C.; FLORÊNCIO, A. K. G.; ROCHA, E. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 508–514, 2014.
- SANTOS, G. G.; SILVA, M. R. Mangaba (*Hancornia speciosa*) ice cream prepared with fat replacers and sugar substitutes. **Food Science and Technology**, v. 32, n. 3, p. 621–628, 2012.
- SAURA-CALIXTO, F. Dietary fiber as a carrier of dietary antioxidants: An essential physiological function. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 43-49, 2011.
- SCHOCH, J. T. Swelling power and solubility of starch. In: **Methods in Carbohydrate Chemistry**. Londres: BeMiller (eds.) Academic Press, 1964. p. 106–108.
- SETHI, S.; TYAGI, S. K.; ANURAG, R. K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 9, p. 3408–3423, 2016.
- SHARONI, Y.; LINNEWIEL-HERMONI, K.; KHANIN, M.; SALMAN, H.; VEPRİK, A.; DANILENKO, M. et al. Carotenoids and apocarotenoids in cellular signaling related to cancer: A review. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 56, n. 2, p. 259–269, 2012.
- SHEN, R.; YANG, S.; ZHAO, G.; SHEN, Q.; DIAO, X. Identification of carotenoids in foxtail millet (*Setaria italica*) and the effects of cooking methods on carotenoid content. **Journal of Cereal Science**, v. 61, p. 86–93, 2015.
- SILVA, J. C. **Macaúba: Fonte de matéria-prima para os setores alimentício, energético e industrial**. Universidade Federal de Viçosa, p. 1–63, 2007.
- SILVA, R. B.; SILVA, E. V.; RODRIGUES, L. C.; ANDRADE, L. H. C.; SILVA, S. I.; HARAND, W.; OLIVEIRA, A. F. M. A. A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 87, n. 3, p. 1701–1709, 2015.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965.
- SLINKARD, K.; SINGLETON, V. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 28, n. 1, p. 49–55, 1977.
- SOUSA, C. M. D. M.; SILVA, H. R. VIEIRA-JR., G. M.; AYRES, M. C. C.; COSTA, C. L. S.; ARAÚJO, D. S.; CAVALCANTE, L. C. D.; BARROS, E. D. S.; ARAÚJO, P. B. M.; BRANDÃO, M. S.; CHAVES, M. H. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 351–355, 2007.

SOUSA, E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; LEMOS, D. M. Rheological behavior and effect of temperature of pequi. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 3, p. 226–235, 2014.

SOUZA, C. C. E. **Qualidade, perfil eletroforético e de voláteis, fitoquímicos bioativos e atividade antioxidante de frutos de genótipos de macaibeira (*Acrocomia intumescens*)**. 196 p. Tese (Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba, 2016.

STROHECKER, R.; ZARAGOZA, F. M.; HENINING, H. M. **Análisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 428 p., 1967.

TAPIERO, H.; TOWNSEND, D. M.; TEW, K. D. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 58, n. 2, p. 100-110, 2004.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, p. 181–204, 2005.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70–76, 2013.

TRENTINI, C. P.; OLIVEIRA, D. M.; ZANETTE, C. M.; SILVA, C. Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. **Ciência rural**, v. 46, n. 4, p. 725–731, 2016.

VANGDAL, E.; PICCHI, V.; FIBIANI, M.; SCALZO, R. L. Effects of the drying technique on the retention of phytochemicals in conventional and organic plums (*Prunus domestica* L.). **LWT - Food Science and Technology**, 2017.

VEREDIANO, F. C. **Aproveitamento da torta residual da extração do óleo da polpa de macaúba para fins alimentícios**. 114 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2012.

VIANNA, S. A.; BERTON, L. H. C.; POTT, A.; GUERREIRO, S. M. C.; COLOMBO, C. A. Biometric Characterization of fruits and morphoanatomy of the mesocarp of *Acrocomia* species (Arecaceae). **International Journal of Biology**, v. 9, n. 3, p. 78, 2017.

VIDAL, J. R. M. B.; SIERAKOWSKI, M. R.; HAMINIUK, C. W. I.; MASSON, M. L. Rheological properties of centrifuged mango (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) pulp. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 5, p. 955–960, 2006.

WOOTTON-BEARD, P. C.; RYAN, L. Improving public health?: The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages. **Food Research International**, v. 44, n. 10, p. 3135–3148, 2011.

ZIELINSKI, A. A. F.; ÁVILA, S.; ITO, V.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G.; HAMINIUK, C. W. I. The Association between chromaticity, phenolics, carotenoids, and in vitro antioxidant activity of frozen fruit pulp in Brazil: An application of chemometrics. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 4, 2014.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho proporcionaram a elaboração dos artigos descritos a seguir:

ARTIGO 1 - Modelagem matemática do comportamento reológico da polpa de macaíba em diferentes temperaturas

ARTIGO 2 - Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas da secagem convectiva de polpa de macaíba

ARTIGO 3 - Perfil de compostos fenólicos e efeito do solvente de extração nos compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante de macaíba

ARTIGO 4 - Efeito da temperatura de secagem na composição físico-química e no potencial antioxidante da polpa de macaíba

ARTIGO 5 - Produção e avaliação da macaíba em pó: propriedades físicas, químicas e estudo da estabilidade ao longo do armazenamento

ARTIGO 6 - Polpa de macaíba aplicada na elaboração de sorvetes

ARTIGO 7 - Elaboração, caracterização nutricional e aceitação sensorial de extrato hidrossolúvel da amêndoa de macaíba

MODELAGEM MATEMÁTICA DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE MACAÍBA EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Resumo: As polpas de frutas estão sujeitas a mudanças de temperatura durante o processo de fabricação que podem alterar a viscosidade. Neste estudo avaliou-se o comportamento reológico da polpa de macaíba em diferentes condições de temperatura (10 a 50 °C) e velocidades de rotação (2,5 a 200 rpm). As medidas experimentais foram realizadas em viscosímetro Brookfield e os modelos Ostwald-de-Waelle, Mizrahi-Berk, Herschel-Bulkley e Casson foram ajustados aos dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. Dentre os modelos testados, o modelo que descreveu com maior precisão os reogramas foi o modelo de Mizrahi-Berk ($R^2 > 0,9656$ e $P < 4,11\%$). A polpa de macaíba comportou-se como fluido não-newtoniano com características pseudoplásticas apresentando valores de índice de comportamento (n) menores que 1, nas condições estudadas, apresentando diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura e taxa de deformação, podendo ser expressa através da equação de Arrhenius. Os modelos de Mizrahi-Berk e Falguera-Ibarz ($R^2 > 0,99$ e $P < 10\%$) foram os que apresentaram melhores ajustes podendo ser utilizados na predição do comportamento da viscosidade da polpa de macaíba. Ainda apresentaram valores de energia de ativação variando entre 17,53 a 25,37 kJ/mol, tendo características reológicas similares a outras polpas de frutas.

Palavras-chave: *Acrocomia intumescens*. Viscosidade aparente. Fluido não-newtoniano.

Abstract: Fruit pulps are subject to temperature changes during the manufacturing process that can change viscosity. Was evaluate the rheological behavior of the macaíba pulp in different temperature conditions (10 to 50 °C) and rotation speeds (2.5 to 200 rpm). Experimental measurements were performed on a Brookfield viscometer and the Ostwald-de-Waelle, Mizrahi-Berk, Herschel-Bulkley and Casson models were fitted to the experimental data of shear stress as a function of strain rate. Among the models tested, the model that most accurately described the reograms was the Mizrahi-Berk model ($R^2 > 0.9656$ and $P < 4.11\%$). The macaíba pulp behaved as a non-Newtonian fluid with pseudoplastic characteristics presenting behavioral values (n) lower than 1, under the studied conditions, presenting decrease of the apparent viscosity with the increase of temperature and strain rate, being able to be expressed through Arrhenius equation. The Mizrahi-Berk and Falguera-Ibarz models ($R^2 > 0.99$ and $P < 10\%$) were the best fit and can be used to predict the viscosity behavior of the

macaíba pulp. And showed values of activation energy ranging from 17.53 to 25.37 kJ/mol, having rheological characteristics similar to other fruit pulps

Keywords: *Acrocomia intumescens*. Viscosity apparent. Non-Newtonian fluid.

INTRODUÇÃO

No Brasil a macaíba é considerada a palmeira de maior dispersão e entre as espécies encontradas, a *Acrocomia intumescens* apresenta ocorrência natural na Região Nordeste e contém características singulares (AMARAL et al., 2011).

A polpa de macaíba é comestível, de coloração amarelada, de sabor suave no início do amadurecimento e mais acentuado e adocicado conforme o fruto aumenta seu estágio de maturação. A macaíba apresenta uma composição físico-química particular, rica em lipídeos, fibras e amido, o que pode fornecer um comportamento reológico distinto comparado a outras polpas de frutas (RAMOS et al., 2008).

Embora a cadeia produtiva da macaíba esteja emergindo no setor de biocombustíveis, na área alimentícia seu processamento é realizado de forma artesanal. Um dos gargalos para a utilização desse fruto em vários segmentos industriais é seu processamento inadequado, refletindo a necessidade de adotar novas tecnologias em todas as fases da produção.

Existem diversos produtos desenvolvidos a base de frutas, como sucos, néctares, compotas, doces, geleias, recheios e sorvetes, e que a indústria faz uso de suas polpas como matéria-prima. Nesse processamento estão envolvidos diversos equipamentos e operações unitárias que para ocorrerem de forma viável, econômica e técnica é importante o conhecimento das propriedades físicas e químicas da fruta. Uma dessas propriedades é o comportamento reológico que é usado como uma medida de controle de qualidade, no dimensionamento e operação de equipamentos, no desenvolvimento de novos produtos e para correlacionar com os dados de análise sensorial (QUINTANA et al., 2015).

O comportamento reológico é uma ferramenta analítica que fornece informações da organização estrutural da polpa, portanto, muitos fatores intrínsecos à fruta podem afetar as medidas reológicas destas, como concentração de sólidos e tamanho e forma das partículas, além de fatores relacionados ao processamento como temperatura e pressão (QUEK; CHIN; YUSOF, 2013).

Vários modelos matemáticos têm sido usados para descrever o comportamento reológico de polpa de frutas, modelos estes que relacionam a tensão de cisalhamento em

função da taxa de deformação, como por exemplo, os modelos de Bingham, Ostwald de Waele ou Lei da Potência, Herschel e Bulkley, Casson, Mizrahi-Berk, entre outros. A maioria dos alimentos líquidos derivados de frutas apresentam comportamento não-newtoniano, pois a viscosidade aparente varia durante o escoamento, e por isso, o estudo das características reológicas de cada matriz é necessário para prever seu desempenho em linhas de produção, onde está sujeita a condições variadas (QUINTANA et al., 2015; SILVA et al., 2017).

Diante da importância da descrição do comportamento reológico de polpas de frutas para a produção em escala industrial, da escassez de informações sobre frutos nativos e tendo a macaíba como fonte alimentar potencial, esse trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento reológico da polpa de macaíba em diferentes temperaturas e velocidades de rotação.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizadas macaíbas (*Acrocomia intumescens*) no estágio de maturação maduro, provenientes da cidade de Alagoa Nova, Paraíba, localizada a 07° 04' 15" S, 35° 45' 30" W. Inicialmente os frutos foram selecionados, lavados e sanitizados, as cascas foram quebradas e retiradas manualmente, procedeu-se o despulpamento em despulpadeira e homogeneização em liquidificador da polpa da fruta com incorporação de água até teor de sólidos solúveis totais de 7 °Brix para melhor homogeneização da polpa. A polpa foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenada em freezer (-18 °C) até a utilização nos experimentos.

As análises reológicas, da polpa de macaíba no estado estacionário, foram realizadas em viscosímetro (Brookfield DV-II+PRO, Massachusetts, EUA), com adaptador para pequena quantidade de amostra, acoplado ao banho termostático com precisão de 0,1 °C para ajuste de temperatura das amostras na faixa de 10 a 50 °C. As leituras no viscosímetro foram realizadas variando-se a velocidade de rotação de 2,5 a 200 rpm com dezessete pontos, permanecendo durante 30 segundos em cada velocidade. Para cada velocidade de rotação selecionada foram determinadas a viscosidade aparente, a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento correspondente; as medidas foram realizadas em triplicata nas temperaturas de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C utilizando o spindle 28, e em cada medida uma nova amostra foi utilizada.

Na Tabela 1 estão apresentados os quatro modelos reológicos que foram ajustados às curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação (reogramas), usando

regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando o programa computacional Statistica versão 7.0 para descrever o comportamento reológico da polpa de macaíba a fim de definir dentre os modelos tem a melhor simulação de tal comportamento.

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de macaíba relacionando a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação

Modelo	Equação
Ostwald-de-Waele	$\tau = K\dot{\gamma}^n$ (1)
Mizrahi-Berk	$\tau^{0,5} = K_{0M} + K\dot{\gamma}^n$ (2)
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_{0H} + K_H\dot{\gamma}^{n_H}$ (3)
Casson	$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C\dot{\gamma}^{0,5}$ (4)

τ - tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (1/s); K - índice de consistência (Pa sⁿ); n - índice de comportamento do fluido (adimensional); K_{0M} - raiz quadrada da tensão inicial; τ_{0H} - tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_H - índice de consistência (Pa); n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional); K_{0C} = τ_{0C} - tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s).

O grau de ajuste de cada modelo foi verificado considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R²) e desvio percentual médio (P), calculado de acordo com a Equação 5.

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{\tau_{exp} - \tau_{pred}}{\tau_{exp}} \quad (5)$$

No qual:

P – desvio percentual médio (%);

τ_{pred} – tensão de cisalhamento predita pelo modelo;

τ_{exp} – tensão de cisalhamento experimental;

n - número de observações.

O comportamento da viscosidade aparente foi observado através das curvas da viscosidade aparente da polpa em função das taxas de deformação (0,7 a 56 s⁻¹) utilizando-se os dados experimentais de viscosidade e taxa de deformação, e os valores teóricos calculados a partir dos modelos matemáticos (Mizrahi-Berk, Lei da potência, Sisko e Faguelra-Ibarz) descritos na Tabela 2, usando regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando o programa computacional Statistica versão 7.0.

Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de macaíba relacionando a viscosidade aparente e a taxa de deformação

Modelo	Equação
Mizrahi-Berk	$\eta_{ap} = \frac{(K_{0M} + K\dot{\gamma}^n)^2}{\dot{\gamma}} \quad (6)$
Lei da Potência	$\eta_{ap} = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (7)$
Sisko	$\eta_{ap} = \eta_{\infty} + K_s\dot{\gamma}^{n_s-1} \quad (8)$
Faguelra-Ibarz	$\eta_{ap} = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})\dot{\gamma}^{-k} \quad (9)$

η_{ap} - viscosidade aparente (Pa s); η_{∞} - viscosidade à taxa de cisalhamento infinita (Pa s); η_0 - viscosidade aparente estática (Pa s); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (1/s); K - índice de consistência (Pa s); K_s e K_{0M} - índice de consistência (Pa s); n e n_s - índice de comportamento do fluido (adimensional); k - constante de comportamento do fluido (adimensional).

A fim de avaliar a influência da temperatura sobre a viscosidade aparente (η) nas velocidades de rotação 2,5 a 200 rpm, a equação de Arrhenius foi ajustada através de regressão linear, de acordo com Equação 10.

$$\eta = \eta_0 \times \exp\left(\frac{E_a}{RT_a}\right) \quad (10)$$

Sendo:

η - viscosidade aparente (Pa s);

η_0 - fator pré-exponencial (Pa s);

E_a - energia de ativação (kJ/mol);

R - constante universal dos gases, 0,008314 kJ/mol;

T_a - temperatura absoluta (K).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros dos modelos matemáticos que foram utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de macaíba em diferentes temperaturas com teor de sólidos solúveis totais de 7 °Brix e teor de água de 54,78 g/100 g. O modelo reológico de Mizrahi-Berk, dentre os modelos testados, apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais das curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de macaíba nas temperaturas avaliadas, visto que foi o modelo que apresentou os maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2), entre 0,9656 e 0,9945, e baixos valores de desvio percentual médio (1,52-4,11%), podendo este modelo ser utilizado

para estimar os dados reológicos da polpa de macaíba. Os índices de consistências, os parâmetros K_{0M} e K_M , não demonstraram tendência definida com o aumento da temperatura.

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados ao comportamento reológico da polpa de macaíba em função da tensão de cisalhamento e taxa de deformação

Casson					
Temperatura (°C)	K_{0C} (Pa)	K_C (Pa s)	R^2	P (%)	
10	5,52	0,94	0,8778	13,97	
15	5,35	0,83	0,9183	5,15	
20	3,19	1,06	0,9766	3,15	
25	3,30	0,90	0,9902	2,30	
30	3,35	0,80	0,9826	2,65	
35	3,87	0,93	0,9282	7,07	
40	3,07	0,85	0,9458	6,30	
45	2,64	0,72	0,9749	4,26	
50	2,58	0,72	0,9788	3,59	
Herschel Bulkley					
Temperatura (°C)	τ_{0H} (Pa)	K_H (Paⁿ)	n	R^2	P (%)
10	-667,78	693,99	0,0372	0,9846	5,87
15	-72,41	100,69	0,1613	0,9843	3,59
20	6,49	9,26	0,6219	0,9675	8,56
25	7,22	8,49	0,5832	0,9929	3,12
30	5,98	9,13	0,5285	0,9858	4,14
35	-30,23	45,96	0,2698	0,9781	6,38
40	-0,30	12,64	0,4692	0,9447	8,28
45	-2,66	11,22	0,4257	0,9917	5,29
50	3,56	5,99	0,5613	0,9769	5,23
Mizrahi-Berk					
Temperatura (°C)	K_{0M} (Pa)	K_M (Pa sⁿ)	n	R^2	P (%)
10	-145,97	151,40	0,0105	0,9799	2,57
15	-1166,01	1171,34	0,0012	0,9865	1,76
20	2,83	1,34	0,4517	0,9771	3,50
25	2,22	1,76	0,3637	0,9945	1,52
30	2,04	1,88	0,3298	0,9894	2,02
35	-48,04	51,97	0,0285	0,9833	3,07
40	-0,79	4,25	0,2097	0,9656	4,11

Continua

					Conclusão
Mizrahi-Berk					
Temperatura (°C)	K_{0M} (Pa)	K_M (Pa s ⁿ)	n	R ²	P (%)
45	0,24	2,78	0,2470	0,9919	2,39
50	1,34	1,75	0,3253	0,9860	2,69
Ostwald-de-Waelle					
Temperatura (°C)	K (Pa s)	n	R ²	P (%)	
10	38,52	0,3278	0,9567	10,27	
15	33,56	0,3232	0,9770	6,37	
20	13,02	0,5483	0,9661	10,60	
25	13,17	0,4898	0,9909	5,73	
30	13,32	0,4505	0,9843	5,74	
35	20,44	0,4145	0,9729	10,09	
40	12,43	0,4727	0,9447	8,28	
45	9,27	0,4638	0,9913	4,98	
50	8,33	0,4912	0,9758	5,94	

K_{0C} - tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s); R^2 - coeficiente de determinação; P - desvio percentual médio; τ_{0H} - tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_H - índice de consistência (Pa); n - índice de comportamento do fluido (adimensional); K_{0M} - raiz quadrada da tensão inicial; K_M e K - índice de consistência (Pa s).

Os modelos de Casson, Herschel Bulkley e Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) também podem descrever o comportamento reológico da polpa de macaíba, já que apresentaram altos valores de R^2 (0,8778-0,9929) e valores de P de no máximo 14%.

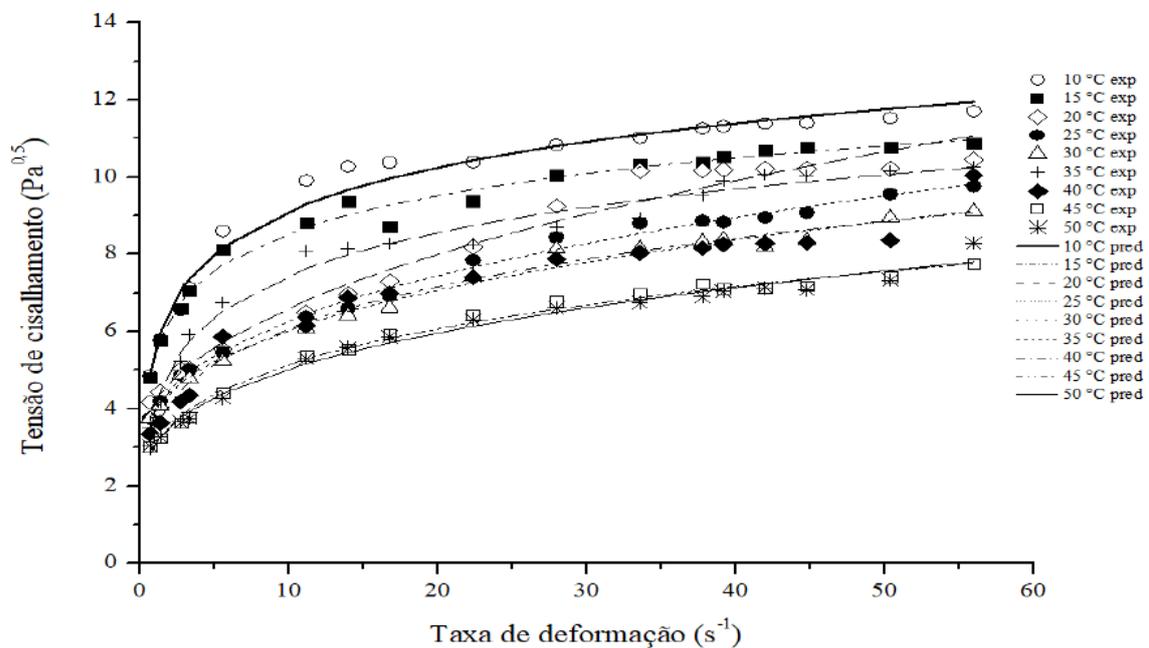
Na literatura é possível encontrar outros trabalhos que estudaram o comportamento reológico de polpas de frutas e que testaram diversos modelos para explicar tal desempenho. Sousa et al. (2014) trabalharam com polpa de pequi em diferentes concentrações (6, 8, 10 e 12 °Brix) e temperaturas (25-50 °C) e verificaram que o modelo de Mizrahi-Berk se ajustou melhor aos reogramas, com R^2 em torno de 0,99 e P inferiores a 1%, sendo que os parâmetros K_{0M} e K_M também não apresentaram tendência definida. Tonon et al. (2009) estudando as propriedades reológicas da polpa de açaí em temperaturas de 10 a 70 °C constataram que o modelo de Herschel Bulkley descreveu bem seu comportamento reológico. O modelo de Casson (R^2 0,84-0,97) foi considerado o mais adequado para descrever o comportamento reológico de purês de frutas (BALESTRA et al., 2011).

Os resultados da polpa de macaíba expressou comportamento reológico de um fluido não-newtoniano, isto é, relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, e com características pseudoplásticas, em razão de ter apresentado valores do

índice de comportamento do fluido (n) menor que um (1) em todas as temperaturas estudadas, estando na faixa de 0,0012 a 0,6219. Esta classificação foi verificada para a maioria dos fluidos derivados de frutas, como polpa de pequi (SOUSA et al., 2014), polpa de manga (QUINTANA et al., 2015), suco de buriti (RODRIGUES et al., 2016), néctares mistos de suco da casca de abacaxi e polpa de frutas tropicais (SILVA et al., 2017), polpas de caju, acerola e manga (SILVA et al., 2012), polpa de pitanga (LOPES et al., 2013).

Na Figura 1 tem-se o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico da polpa de macaíba. O gradiente de inclinação das curvas de escoamento diminui à medida que a taxa de deformação e a temperatura aumentam, o que indica que a viscosidade aparente diminui à medida que a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento aumentam, comportamento típico de um fluido não-newtoniano. De acordo com Alpaslan e Hayta (2002) este comportamento é decorrente do colapso estrutural da polpa devido à força hidrodinâmica gerada e ao maior alinhamento das moléculas na direção da força.

Figura 1 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação da polpa de macaíba em diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk



exp - experimental; pred - predito.

Na Tabela 4 estão apresentados os parâmetros reológicos dos modelos de Mizrahi-Berk, Lei da potência, Sisko e Falguera-Ibarz ajustados aos dados experimentais da viscosidade aparente em função da taxa de deformação da polpa de macaíba nas diferentes

temperaturas estudadas. É possível observar que dentre os modelos testados, os melhores ajustes foram Mizrahi-Berk e Falguera-Ibarz, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99, e desvios percentuais médios (P) inferiores a 10%, podendo ser utilizados na predição do comportamento da viscosidade da polpa de macaíba. Comportamento similar encontrado por Feitosa et al. (2015) no qual o modelo de Falguera-Ibarz apresentou os melhores ajustes para polpa de murta (*Eugenia gracillima* Kiaersk) nas temperaturas 15 °C, 25 °C e 35 °C e velocidades de rotação 20-200 rpm, e Braga et al. (2013) que constataram melhores ajustes do modelo de Mizrahi-Berk ($R^2 > 0,98$) para suco de abacaxi (*Ananas comosus* L. Merr) nas temperaturas 10 °C, 25 °C, 50 °C e 65 °C.

Tabela 4 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados as curvas da viscosidade aparente da polpa de macaíba em função da taxa de deformação

Mizrahi-Berk					
Temperatura (°C)	K_{0M} (Pa)	K (Pa s)	n	R^2	P (%)
10	-184,71	352,45	0,1248	0,9928	9,96
15	-465,84	632,95	0,0680	0,9942	7,85
20	113,75	22,94	0,5853	0,9982	6,02
25	65,73	60,80	0,3405	0,9993	3,31
30	71,69	52,56	0,3527	0,9980	4,51
35	-3,19	123,39	0,1920	0,9958	5,41
40	69,73	41,59	0,4010	0,9980	6,59
45	69,29	30,18	0,4595	0,9973	6,68
50	69,52	29,77	0,4535	0,9979	6,19
Lei da Potência					
Temperatura (°C)	K (Pa s)	n	R^2	P (%)	
10	27658,44	0,4320	0,9908	14,64	
15	27969,69	0,4587	0,9904	15,19	
20	19002,87	0,3488	0,9819	18,51	
25	16131,87	0,3941	0,9968	8,66	
30	15576,38	0,3691	0,9952	9,19	
35	14444,42	0,3922	0,9958	5,25	
40	12510,83	0,3946	0,9922	9,11	
45	10005,24	0,4013	0,9869	12,03	
50	9973,82	0,3887	0,9887	12,57	

Continua

Conclusão					
Sisko					
Temperatura (°C)	η_{∞} (Pa s)	K_s (Pa s)	n	R²	P (%)
10	-3102,36	31018,97	0,5705	0,9947	5,67
15	4169171,46	-4144439,37	1,0015	0,9245	34,52
20	1820,69	16929,56	0,1154	0,9981	6,06
25	786,72	15304,08	0,3067	0,9994	3,38
30	738,65	14783,40	0,2788	0,9979	4,85
35	125,55	14313,67	0,3786	0,9958	4,78
40	817,33	11647,95	0,2693	0,9970	7,81
45	866,61	9084,41	0,2238	0,9962	8,01
50	2254253,31	-2245794,79	1,0009	0,8293	35,08
Falguera–Ibarz					
Temperatura (°C)	η_{∞} (Pa s)	η_0 (Pa s)	k	R²	P (%)
10	-3102,36	27916,61	0,4295	0,9947	5,67
15	-2698,87	27650,35	0,4602	0,9950	7,55
20	1820,69	18750,25	0,8846	0,9981	6,06
25	786,72	16090,79	0,6933	0,9994	3,38
30	738,65	15522,06	0,7212	0,9979	4,85
35	125,55	14439,22	0,6214	0,9958	4,78
40	817,33	12465,28	0,7307	0,9970	7,81
45	866,61	9951,02	0,7762	0,9962	8,01
50	801,24	9915,94	0,7773	0,9970	7,64

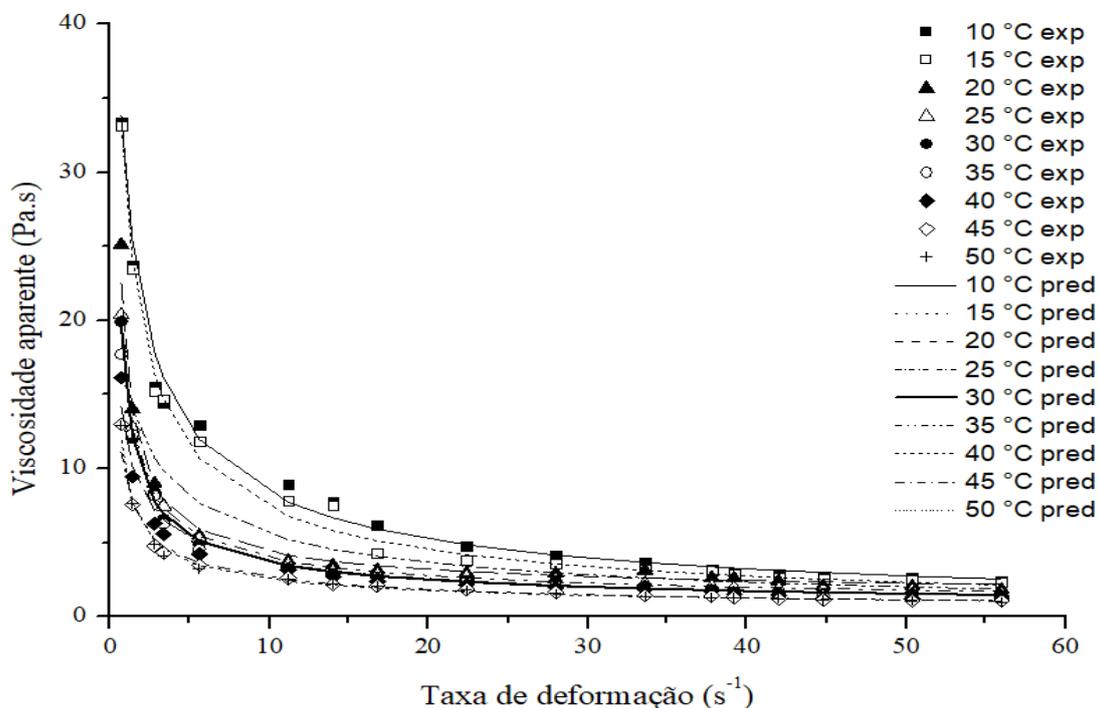
η_{∞} - viscosidade à taxa de cisalhamento infinita (Pa s); η_0 - viscosidade aparente estática (Pa s); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (1/s); K - índice de consistência (Pa s); K_s e K_{OM} - índice de consistência (Pa s); n - índice de comportamento do fluido (adimensional); k - constante de comportamento do fluido (adimensional); R² - coeficiente de determinação; P - desvio percentual médio.

Valores negativos observados em alguns parâmetros de ajuste não têm significado físico. O índice de comportamento do fluido (n) observado nos modelos de Mizrahi-Berk, Lei da potência e Sisko abaixo de 1 ($n < 1$) na maioria das temperaturas reforça a característica pseudoplástica da polpa de macaíba. A viscosidade aparente estática (η_0) decresceu com o aumento da temperatura, semelhante ao observado por Feitosa et al. (2015) para polpa de murta.

Na Figura 2 é mostrada a relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação ajustadas ao modelo Mizrahi-Berk. A viscosidade aparente da polpa de macaíba apresentou valores na faixa de 1 a 33 Pa s para taxas de deformação de 0,7 a 56 s⁻¹, sendo possível

observar seu comportamento variando em relação a taxa de deformação e temperatura. Verifica-se que a viscosidade diminuiu com o aumento da taxa de deformação e temperatura, justificando sua classificação como fluido não-newtoniano e pseudoplástico. Valores estes próximos aos encontrados por Zhou et al. (2017) que analisaram o suco de manga submetido a tratamentos de alta pressão com viscosidades entre 5-25 Pa s para taxas de deformação de 0,1 a 100 s⁻¹; os resultados relatados neste estudo foram inferiores aos encontrados por Sousa et al. (2014) para polpa de pequi (60-375 Pa s) com viscosidade entre 60 e 375 Pa s para taxas de deformação de 0,45 a 1,25 s⁻¹. E superiores aos valores reportados por Quintana et al. (2015) para polpa de manga (0,5-4,5 Pa s) com teor de sólidos solúveis totais de 25 °Brix, por Pereira, Resende e Giarola (2014) em polpa de acerola (1-7 Pa s) com 13,5 °Brix e por Huang et al. (2018) para polissacarídeos extraídos de polpa de lichia, com viscosidades entre 0,010 à 1 Pa s para taxas de deformação de 1-1000 s⁻¹.

Figura 2 - Relação entre viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa de macaíba em diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk



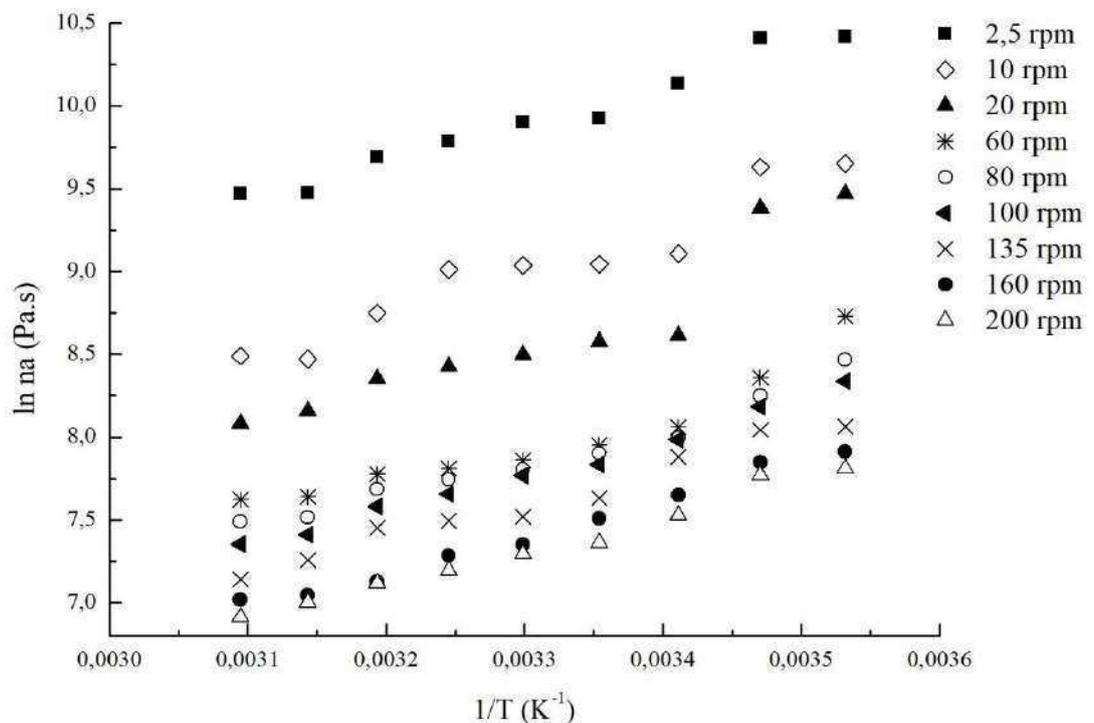
exp - experimental; pred - predito.

O aumento da temperatura diminui a viscosidade da fase líquida devido à maior mobilidade do material particulado. Na perspectiva industrial e econômica, as polpas com

menores viscosidades facilitam seu bombeamento nas tubulações, assim como as trocas de calor no processamento (SILVA et al., 2017).

A temperatura tem um efeito significativo sob as características reológicas da polpa de macaíba, isso é comprovado pelo bom ajuste da equação de Arrhenius linearizada da viscosidade aparente em função do inverso da temperatura, demonstrando o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de macaíba, nas diferentes velocidades de rotação 2,5 a 200 rpm (Figura 3), apresentando altos valores de coeficientes de determinação ($R^2 > 0,86$). Nesse trabalho, observou-se uma correlação positiva entre o logaritmo natural da viscosidade aparente e o inverso da temperatura absoluta, indicando que o aumento da temperatura resultou na redução da viscosidade aparente da polpa nas velocidades de rotação avaliadas, assim como o aumento da velocidade de rotação (2,5 a 200 rpm) reduziram os valores de viscosidade, comportamento típico de fluidos pseudoplásticos.

Figura 3 - Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de macaíba nas velocidades de rotação de 2,5 a 200 rpm com ajustes pela equação de Arrhenius



De acordo com Deshmukh, Manjunatha e Raju (2015) esse comportamento pode ser justificado pela mudança estrutural da amostra decorrente do aumento da temperatura dos fluidos que leva ao aumento da mobilidade das moléculas e dos espaços intermoleculares, o que resulta em decréscimo da resistência ao fluxo, com conseqüente redução da viscosidade.

Pereira, Resende e Giarola (2014) também relataram bons ajustes da equação de Arrhenius para representar o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa concentrada de acerola, encontrando valores de (R^2 0,89-0,99), verificando também diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura.

Na Tabela 5 estão os valores de energia de ativação (E_a) e do fator pré-exponencial (μ_0) da polpa de macaíba nas velocidades de rotação de 2,5 a 200 rpm, sendo possível a determinação desses valores, a partir, do ajuste linear dos dados de viscosidade aparente em função da temperatura com ajustes com a equação de Arrhenius. A energia de ativação aponta a sensibilidade da viscosidade aparente frente a mudanças de temperatura (QUINTANA et al., 2015). A polpa de macaíba apresentou valores de energia de ativação variando entre 17,53 a 25,37 kJ/mol para velocidades de rotação de 2,5 a 200 rpm, sendo as maiores energias de ativação (19,40-25,37 kJ/mol) referentes as velocidades mais baixas, indicando que em baixas taxas de deformação a temperatura exerce um maior efeito sobre a viscosidade aparente. Pode-se observar uma tendência à diminuição da energia de ativação com o aumento da velocidade de rotação (20 a 80 rpm), coerentes com Sousa et al. (2017) que trabalharam com polpa de noni (5-65 °C), com energias de ativação variando de 14,01 a 1,13 kJ/mol para velocidades de rotação de 5 a 200 rpm.

Tabela 5 - Valores de energia de ativação (E_a) da polpa de macaíba nas velocidades de rotação de 100 e 200 rpm

Velocidade de rotação (rpm)	μ_0 (mPa s)	E_a (kJ/mol)	R^2
2,5	9,0322	19,3957	0,9686
10	1,0660	22,5343	0,9181
20	0,2300	25,3743	0,8624
60	1,6967	18,7464	0,8738
80	2,4368	17,5666	0,9535
100	1,6051	18,4104	0,9872
135	1,6883	17,8294	0,9665
160	1,0846	18,4554	0,9848
200	1,4405	17,5284	0,9809

Pereira, Resende e Giarola (2014) observaram valores de energia de ativação menores aos encontrados neste trabalho (11,09-15,71 kJ/mol) para temperaturas entre 20 °C e 60 °C, estudando as características reológicas da polpa de acerola; assim como para polpa de

seriguela estudada por Augusto, Cristianini e Ibarz (2012), com E_a de 17,51 kJ/mol. A viscosidade aparente e a energia de ativação podem estar associadas ao teor de sólidos totais, em razão, dos baixos teores destes refletem em baixos valores de viscosidade aparente e alta energia de ativação, como a polpa de macaíba possui alto valor de sólidos totais apresentou energia de ativação e viscosidade mais elevadas (KARWOWSKI et al., 2013; MURILLO et al., 2017).

A importância de estudar o comportamento reológico da polpa de macaíba em condições variadas de temperatura é prever seu comportamento em linhas de produção onde está sujeita a variações de temperatura, como pasteurização por exemplo, conhecer parâmetros importantes como tensão de cisalhamento, viscosidade aparente, energia de ativação, para projetos de equipamentos, tubulações, entre outros, em condições de processamento e armazenamento.

CONCLUSÕES

A polpa de macaíba comportou-se como fluido não-newtoniano com características pseudoplásticas nas condições estudadas neste trabalho.

Os modelos reológicos de Casson, Herschel Bulkley, Mizrahi-Berk e Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) conseguem descrever satisfatoriamente o comportamento reológico da polpa de macaíba, no entanto, o modelo de Mizrahi-Berk, consegue estimar com maior precisão os reogramas.

A temperatura tem efeito significativo sobre as características reológicas da polpa de macaíba, podendo, ser expressa através da equação de Arrhenius. A viscosidade aparente da polpa diminui com o aumento da temperatura e da taxa de deformação, tendo características reológicas similares às outras polpas de frutas, sugerindo que é possível seu uso em processos industriais.

REFERÊNCIAS

ALPASLAN, M.; HAYTA, M. Rheological and sensory properties of pekmez (*Grape molasses*)/tahin (*Sesame paste*) blends. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 1, p. 89–93, 2002.

AMARAL, F. P.; BROETTO, F.; BATISTELLA, C.B.; JORGE, S. M. A. Extraction and qualitative characterization of pulp and almonds oils of macauba fruits [*Acrocomia aculeata* (jacq) lodd. ex mart] collected in the region of Botucatu, SP. **Revista Energia na**

Agricultura, v. 26, n. 1, p. 12-20, 2011.

AUGUSTO, P. E. D.; CRISTIANINI, M.; IBARZ, A. Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 2, p. 283–289, 2012.

BALESTRA, F.; COCCI, E.; MARSILIO, G.; ROSA, M. D. Physico-chemical and rheological changes of fruit purees during storage. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 576–582, 2011.

BRAGA, A. C. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M.; ARAÚJO, L. A. Evaluation of influence from temperature and enzymatic treatment in the rheological behavior of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) juice. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 226-237, 2013.

DESHMUKH, P. S.; MANJUNATHA, S. S.; RAJU, P. S. Rheological behaviour of enzyme clarified sapota (*Achras sapota* L) juice at different concentration and temperatures. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 4, p. 1896-1910, 2015.

HUANG, F.; LIU, Y.; ZHANG, R.; DONG, L.; YI, Y.; DENG, Y.; WEI, Z.; WANG, G.; ZHANG, M. Chemical and rheological properties of polysaccharides from litchi pulp. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 112, p. 968-975, 2018.

FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SOUZA, E. P.; SILVA, V. M. Apparent viscosity of myrtle pulp integral in different temperatures. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 235-243, 2015.

KARWOWSKI, M. S. M.; MASSON, M. L.; LENZI, M. K.; SCHEER, A. P.; HAMINIUK, C. W. I. Characterization of tropical fruits: Rheology, stability and phenolic compounds. **Acta Alimentaria**, v. 42, n. 4, p. 586–598, 2013.

LOPES, A. S.; MATTIETTO, R. A.; MENEZES, H. C.; SILVA, L. H. M.; PENA, R. S. Rheological behavior of Brazilian Cherry (*Eugenia uniflora* L) pulp at pasteurization temperatures. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 1, p. 26–31, 2013.

MURILLO, E.; ARISTIZÁBAL, J. G.; MURILLO, W.; IBARZ RIBAS, A.; MÉNDEZ, J. J.; SONANILLA, J. F. Preliminary characterization of the enzyme polyphenol oxidase and rheological behavior from Averrhoa carambola juice. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, v. 70, n. 1, p. 8099–8113, 2017.

PEREIRA, C. G.; DE RESENDE, J. V.; GIAROLA, T. M. O. Relationship between the thermal conductivity and rheological behavior of acerola pulp: Effect of concentration and temperature. **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, n. 2, p. 446–453, 2014.

QUEK, M. C.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Modelling of rheological behaviour of soursop juice concentrates using shear rate-temperature-concentration superposition. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 4, p. 380–386, 2013.

QUINTANA, F. A.; GALVÁN, E. S.; RIVERO, R. A.; GALLO, R. T. Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad

Tommy Atkins. **Revista ION**, v. 28, n. 2, p. 79–92, 2015.

RODRIGUES, A. M. C.; BEZERRA, C. V.; SILVA, I. Q.; SILVA, L. H. M. Rheological properties of buriti juice (*Mauritia flexuosa*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 176–186, 2016.

SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUSA, P. H. M.; GONZAGA, M. L. C.; FIGUEIREDO, E. A. T. Study of rheological behavior of cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.), acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) and mango (*Mangifera indica*, L.) pulps. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 237–248, 2012.

SILVA, D. C. S.; BRAGA, A. C. C.; LOURENÇO, L. F. H.; RODRIGUES, A. M.; PEIXOTO JOELE, M. R. S. Rheological behavior of mixed nectars of pineapple skin juice and tropical fruit pulp. **International Food Research Journal**, v. 24, n. 4, p. 1713–1720, 2017.

SOUSA, E. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; LEMOS, D. M. Rheological behavior and effect of temperature of pequi. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 3, p. 226–235, 2014.

SOUSA, S. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, F. B. Rheological behavior of whole and concentrated noni pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-10, 2017.

TONON, R. V.; ALEXANDRE, D.; HUBINGER, M. D.; CUNHA, R. L. Steady and dynamic shear rheological properties of açai pulp (*Euterpe oleraceae* Mart.). **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 4, p. 425–431, 2009.

ZHOU, L.; GUAN, Y.; BI, J.; LIU, X.; YI, J.; CHEN, Q.; WU, X. Change of the rheological properties of mango juice by high pressure homogenization. **LWT - Food Science and Technology**, v. 82, p. 121-130, 2017.

MODELAGEM MATEMÁTICA E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DA SECAGEM DA POLPA DE MACAÍBA

Resumo: A elevada atividade de água e teor de lipídeos da polpa de macaíba (*Acrocomia intumescens*) a torna muito perecível, sendo a secagem uma técnica de conservação que pode melhorar suas características tecnológicas. O objetivo desse estudo foi produzir o pó da polpa de macaíba através da secagem convectiva em camada fina (espessura de 0,5 cm) em diferentes temperaturas de secagem (50, 60, 70 e 80 °C). Dentre os modelos testados, Page, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Thompson, Newton e Wang e Sing, o modelo de Page ($R^2 > 0,9976$ e $DQM < 0,0182$) foi o que melhor se ajustou às curvas de secagem a partir dos dados experimentais. O processo de secagem sofreu influência da temperatura, na qual a secagem a 80 °C foi atingido o equilíbrio higroscópico no menor tempo (430 min). O modelo de Fick com aproximação de 7 termos ajustou-se bem aos dados experimentais ($R^2 > 0,92$) com a difusividade efetiva aumentando com o acréscimo da temperatura e encontrando valores na ordem de 10^{-10} m²/s. O efeito da temperatura sobre a difusividade efetiva foi bem descrita pela equação de Arrhenius ($R^2 > 0,92$) encontrando o valor de energia de ativação (25,77 kJ/mol) para polpa de macaíba. O aumento da temperatura do ar de secagem proporcionou a redução da entalpia, o aumento da energia livre de Gibbs e constante entropia negativa, demonstrando facilidade no processo de difusão da água na polpa de macaíba.

Palavras-chave: *Acrocomia intumescens*. Cinética de secagem. Difusividade.

Abstract: The high water activity and lipid content of the macaíba pulp (*Acrocomia intumescens*) makes it very perishable, with drying being a conservation technique that can improve its technological characteristics. The objective of this study was to produce macaíba pulp powder by thin layer convective drying (0.5 cm thickness) at different drying temperatures (50, 60, 70 and 80 °C). Among the tested models, Page, Henderson and Pabis, Henderson and modified Pabis, Thompson, Newton and Wang and Sing, the Page model ($R^2 > 0.9976$ and $DQM < 0.0182$) was the best fit for the drying from the experimental data. The drying process was influenced by temperature, drying at 80 °C reached the hygroscopic equilibrium in the shortest time (430 min). The Fick model with 7-point approximation fitted well to the experimental data ($R^2 > 0.92$) with the effective diffusivity increasing with increasing temperature and finding values in the order of 10^{-10} m²/s. The effect of temperature

on the effective diffusivity was well described by the Arrhenius equation ($R^2 > 0.92$), finding the value of 25.77 kJ/mol of activation energy for macaíba pulp. The increase of drying air temperature provided the enthalpy reduction, the Gibbs free energy increase and constant negative entropy, demonstrating ease in the process of water diffusion in the macaíba pulp.

Keywords: *Acrocomia intumescens*. Kinetics drying. Diffusivity.

INTRODUÇÃO

A macaíba, do gênero *Acrocomia*, pertencente à família Arecaceae, é uma palmeira arborescente, perene, frutífera e nativa de florestas tropicais. A espécie de macaíba *Acrocomia intumescens* é nativa e endêmica do Brasil, apresenta ocorrência natural na Região Nordeste, contém características singulares e é a única do gênero existente nessa parte do território brasileiro (AMARAL et al., 2011).

A polpa da macaíba, comestível, de cor amarela, sabor doce e textura mucilaginosa, é utilizada na produção artesanal de alimentos, sendo pouco explorada industrialmente. Possui algumas substâncias consideradas funcionais, como zinco, fibras, carotenoides, tocoferóis, proteínas e ácidos graxos (SILVA et al., 2015).

Devido a elevada atividade de água e teor de lipídeos, a polpa é susceptível às alterações físico-químicas e biológicas, sendo a secagem convectiva um método de conservação que pode ser aplicado a fim de garantir o aumento da vida útil, facilidade no transporte e armazenamento, e conservando suas características físicas e nutricionais por longos períodos, além de reduzir as perdas pós-colheita (SILVA et al., 2015).

O conhecimento sobre a cinética de secagem é importante para a determinação do mecanismo predominante na transferência de massa do material para o fluido e as respectivas equações correspondentes, conseguindo prever e otimizar os parâmetros de secagem do alimento, além de padronização do processo. As propriedades termodinâmicas, que incluem entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, fornecem informações necessárias para projetar equipamentos de secagem, estudar as propriedades da água absorvida e calcular a demanda de energia necessária nos processos de secagem (CORRÊA et al., 2010; MARTINS et al., 2015).

Tendo em vista que a secagem de frutas tem sido amplamente estudada, e que, as pesquisas sobre a macaíba ainda são escassas, bem como a importância da seleção do processo de secagem adequado para a preservação das características desta fruta, portanto,

este trabalho teve como objetivo determinar e modelar a cinética de secagem da polpa de macaíba e obter as propriedades termodinâmicas envolvidas no processo de secagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA/UFCG). Para a realização dos experimentos foram utilizados os frutos da macaíba (*Acrocomia intumescens*) no estágio de maturação madura, proveniente da cidade de Alagoa Nova, Paraíba, 07° 04' 15" S, 35° 45' 30" W. Inicialmente os frutos foram selecionados, lavados e sanitizados, as cascas foram quebradas e retiradas manualmente, procedeu-se o despulpamento em despulpadeira e homogeneização em liquidificador da polpa da fruta com incorporação de água até teor de sólidos solúveis totais de 7 °Brix para melhor homogeneização da polpa. A polpa foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenada em freezer (-18 °C) até a utilização nos experimentos.

As secagens das polpas de macaíba foram realizadas, em triplicata, em estufa com circulação forçada de ar, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de 0,55 m/s, em bandejas de aço inoxidável com uma camada de polpa com espessura de 0,5 cm. Durante o processo de secagem as bandejas foram pesadas em intervalos de tempo regulares até massa constante; os dados experimentais foram usados para o cálculo dos valores da razão de teor de água e taxas de secagem de acordo com as Equações 1 e 2. As amostras secas foram removidas das bandejas com auxílio de uma espátula de aço inoxidável e trituradas em processador para obtenção do pó.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

$$TX = \frac{X - X_0}{\Delta t} \quad (2)$$

Em que:

RX - razão do teor de água, adimensional;

X - teor de água da amostra, g água/g amostra seca, b.s.;

X_e - teor de água de equilíbrio, g água/g amostra seca, b.s.;

X₀ - teor de água inicial, g água/g amostra seca, b.s.

Δt - variação de tempo (min).

Na Tabela 1 são apresentados os seis modelos matemáticos utilizados nos ajustes das curvas de secagem da polpa de macaíba usando regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, empregando o programa computacional Statistica 7.0.

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem da polpa de macaíba

Designação do Modelo	Modelo Matemático	Equação
Page	$RX = \exp(-kt^n)$	(3)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$	(4)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a \exp(-kt) b \exp(-kt) \exp(-kt)$	(5)
Thompson	$RX = \exp\left(\frac{-a - (a^2 + 4bt)^{0,5}}{2b}\right)$	(6)
Newton	$RX = \exp(-kt)$	(7)
Wang e Sing	$RX = 1 + at + bt^2$	(8)

k - Constante de secagem, min^{-1} ; a, b, c, n - Coeficientes dos modelos, adimensional; t - Tempo de secagem, min.

O grau de ajuste de cada modelo foi verificado considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) desvio quadrático médio (DQM) e valor de Qui-quadrado (χ^2). Os parâmetros estatísticos DQM e χ^2 foram calculados utilizando as Equações 9 e 10, respectivamente.

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{\text{pred}} - RX_{\text{exp}})^2}{n}} \quad (9)$$

$$\chi^2 = \sqrt{\sum (RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pred}})^2} \quad (10)$$

No qual:

DQM - desvio quadrático médio;

χ^2 - qui-quadrado;

RX_{pred} - razão do teor de água predita pelo modelo;

RX_{exp} - razão do teor de água experimental;

n - número de observações.

O modelo matemático de difusão de Fick para uma placa plana (Equação 11) com uma aproximação de sete termos ($n = 7$), foi ajustado aos dados experimentais da secagem da polpa de macaíba.

$$RX = \left(\frac{8}{\pi^2}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef} \times t}{4L_0^2}\right) \quad (11)$$

Sendo:

D_{ef} - difusividade efetiva (m^2/s);

L_0 - dimensão característica (meia espessura da placa) (m);

n - número de termos;

t - tempo (s).

A fim de avaliar a influência da temperatura de secagem sobre a difusividade efetiva (D_{ef}), a equação de Arrhenius foi ajustada, de acordo com Equação 12.

$$D_{ef} = D_0 \times \exp\left(\frac{E_a}{RT_a}\right) \quad (12)$$

Em que:

D_0 - fator pré-exponencial (m^2/s);

E_a - energia de ativação (kJ/mol);

R - constante universal dos gases, 0,008314 kJ/mol;

T_a - temperatura absoluta (K).

As propriedades termodinâmicas de entalpia, entropia e energia livre de Gibbs relacionadas ao processo de secagem da polpa de macaíba foram calculadas através das Equações 13, 14 e 15, respectivamente.

$$\Delta H = E_a - R \times T_a \quad (13)$$

$$\Delta S = R \times \left[\ln(D_0) - \ln\left(\frac{k_B}{h_p}\right) - \ln(T_a) \right] \quad (14)$$

$$\Delta G = \Delta H - T_a \times \Delta S \quad (15)$$

No qual:

ΔH - entalpia (kJ/mol);

E_a - energia de ativação (kJ/mol);

T_a - temperatura absoluta (K);

ΔS - entropia (kJ/mol K);

R - constante universal dos gases, 0,008314 kJ/mol;

D_0 - fator pré-exponencial (m^2/s);

k_B - constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-26}$ kJ/K;

h_P - constante de Planck, $6,626 \times 10^{-37}$ kJ/s;

ΔG - energia livre de Gibbs (kJ/mol);

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros dos modelos matemáticos de Page, Wang e Sing, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Newton e Thompson ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem da polpa de macaíba em diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C) e com espessura da camada de 0,5 cm, com os respectivos parâmetros estatísticos utilizados para a comparação entre os dados experimentais e dados estimados pelos modelos ajustados, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados às curvas de secagem da polpa de macaíba, em diferentes temperaturas, com seus respectivos parâmetros estatísticos

Page					
Temp. (°C)	k	n	R²	DQM	χ^2
50	0,0011	1,2494	0,9985	0,0141	0,0820
60	0,0008	1,3445	0,9985	0,0143	0,0794
70	0,0016	1,3420	0,9976	0,0182	0,0944
80	0,0012	1,4201	0,9996	0,0079	0,0394
Wang e Sing					
Temp. (°C)	a	b	R²	DQM	χ^2
50	-0,0030	0,0000	0,9938	0,0290	0,1690
60	-0,0036	0,0000	0,9954	0,0253	0,1409
70	-0,0057	0,0000	0,9914	0,0345	0,1794
80	-0,0064	0,0000	0,9935	0,0301	0,1506
Henderson e Pabis					
Temp. (°C)	a	k	R²	DQM	χ^2
50	1,0464	0,0045	0,9920	0,0330	0,1926
60	1,0612	0,0053	0,9861	0,0438	0,2440
70	1,0672	0,0088	0,9866	0,0431	0,2240

Continua

Conclusão

Henderson e Pabis						
Temp. (°C)	a	k	R²	DQM	χ²	
80	1,0904	0,0097	0,9850	0,0459	0,2297	
Newton						
Temp. (°C)	k	R²	DQM	χ²		
50	0,0042	0,9885	0,0396	0,2307		
60	0,0049	0,9802	0,0525	0,2920		
70	0,0081	0,9805	0,0520	0,2700		
80	0,0087	0,9739	0,0606	0,3028		
Thompson						
Temp. (°C)	a	b	R²	DQM	χ²	
50	-6677,3217	5,2871	0,9885	0,0396	0,2308	
60	-6023,1144	5,4169	0,9802	0,0525	0,2921	
70	-5621,6121	6,7345	0,9805	0,0520	0,2701	
80	-4530,5063	6,2603	0,9739	0,0606	0,3028	
Henderson e Pabis modificado						
Temp. (°C)	a	k	b	R²	DQM	χ²
50	0,0232	0,0045	0,0232	0,9920	0,0330	0,1926
60	0,0306	0,0053	0,0306	0,9861	0,0438	0,2440
70	0,0336	0,0088	0,0336	0,9866	0,0431	0,2240
80	0,0452	0,0097	0,0452	0,9850	0,0459	0,2297

k - Constante de secagem, min⁻¹; a, b, c, n - Coeficientes dos modelos, adimensional; R² - coeficiente de determinação; DQM - desvio quadrático médio; χ² - qui-quadrado.

Nota-se que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais das secagens da polpa de macaíba, em todas as temperaturas, apresentando os maiores coeficientes de determinação (R²), variando entre 0,9976 e 0,9996, os menores desvios quadráticos médios (DQM) variando entre e 0,0079 a 0,0182, e os menores valores de qui-quadrado (χ²), variando entre 0,0394 e 0,0944, indicando que este modelo pode representar satisfatoriamente o fenômeno de secagem da polpa de macaíba.

Os modelos de Wang e Sing, Henderson e Pabis, Newton, Thompson e Henderson e Pabis modificado também apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, com coeficientes de determinação (R²) variando de 0,9739 a 0,9954 e DQM na faixa de 0,0253 a 0,0606. De forma geral, todos os modelos testados se ajustaram bem aos dados experimentais

e podem ser utilizados para a estimativa das curvas de cinética de secagem da polpa de macaíba.

Perez et al. (2013) encontraram bons ajustes do modelo matemático de Page aos dados experimentais de secagem de polpa de cupuaçu a 65 °C, apresentando R² superiores a 0,99 e erros percentuais médios inferiores a 8,5%. Munhoz et al. (2014) observaram que os modelos Exponencial de dois termos e Page tiveram ajustes satisfatórios aos dados experimentais da secagem de polpa de bocaiuva (*Acrocomia aculeata*) nas temperaturas de 60 e 70 °C. Michalska et al. (2016) usaram o modelo de Page com R² superiores a 0,98 e DQM menores do que $5,7 \times 10^{-3}$, mostrando boa concordância com os dados experimentais para cinética de secagem de ameixas (*Prunus domestica* L.) nas temperaturas de 60 °C e 70 °C. Por sua vez, Junqueira et al. (2017) observaram que o modelo de Wang & Sing representou a cinética de secagem (60 °C) de physalis (*Physalis peruviana*) com R² > 0,998.

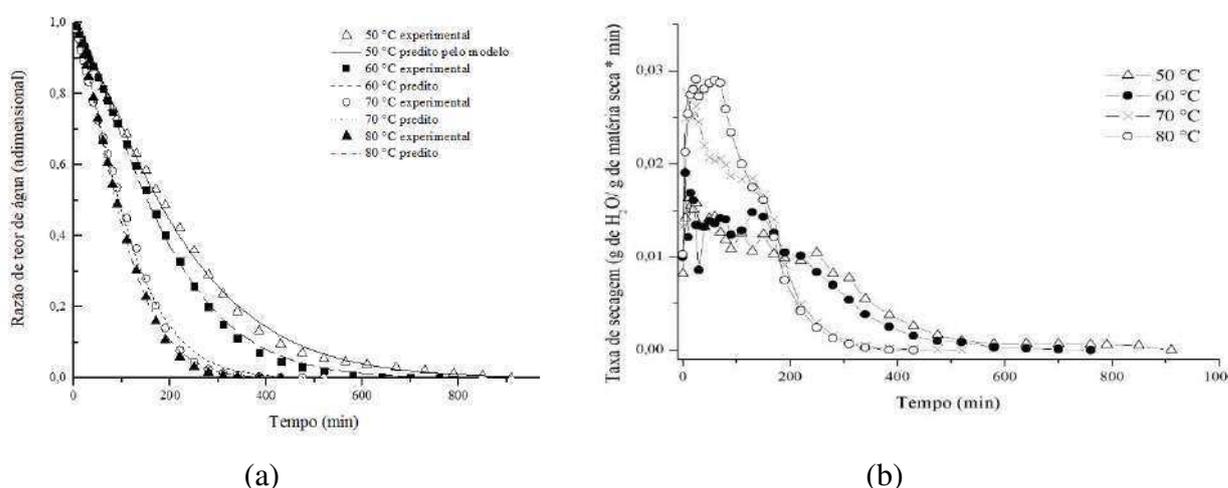
É possível verificar que o valor da constante de secagem k dos modelos de Henderson & Pabis, Newton e Henderson & Pabis modificado aumentou com o aumento da temperatura, uma vez que maiores temperaturas ocasionam maiores taxas de secagem, sendo que o mesmo comportamento foi observado por Lago et al. (2012) na secagem de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) nas temperaturas 50, 60 e 70 °C. O valor de k é dependente do tipo de produto, temperatura e umidade relativa do ar (CARLESSO et al., 2007). Valores próximos da constante de k para o modelo de Page foram reportados por Munhoz et al. (2014), correspondendo a 0,013 e 0,009 min⁻¹ para as temperaturas de secagem da polpa de macaíba (*A. aculeata*) a 60 e 70 °C, respectivamente.

A constante n do modelo de Page está relacionada à resistência interna do material à secagem (PEREZ et al., 2013), e por se tratar do mesmo produto e espessura trabalhada apresentou valores próximos nas condições de temperaturas estudadas na faixa de 1,2494 a 1,4201, mas com tendência de aumento com a temperatura. Resultados de n próximos aos encontrados neste trabalho foram apresentados por Sousa et al. (2017) para a cinética de secagem de polpa de pequi nas temperaturas 50, 60, 70 e 80 °C, para o modelo de Page observando valores de n variando entre 0,9796 e 1,1376, mas sem tendência definida com o aumento da temperatura e por Michalska et al. (2016) para secagem de ameixas, 0,956 e 0,959.

Na Figura 1 estão representadas as curvas de secagem ajustadas com o modelo de Page aos dados experimentais da cinética de secagem da polpa de macaíba na forma de razão do teor de água em função do tempo de secagem, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e espessura de camada 0,5 cm, por ter sido o modelo que melhor se ajustou aos dados obtidos.

O conteúdo inicial de água da polpa de macaíba foi de, aproximadamente, 4,5133 (decimal, b.s., base seca) equivalente a 81,83% b.u. (base úmida). O teor de água no equilíbrio higroscópico foi atingido nos tempos de 910 min (50 °C), 760 min (60 °C), 520 min (70 °C) e 430 min (80 °C), com teores de água de 4,15%; 5,48%; 5,06% e 3,17% b.s., respectivamente. Observa-se que conforme a temperatura aumenta o tempo de secagem diminui e as curvas de secagem adquirem uma inclinação maior, uma vez que há maior quantidade de calor transferido do ar para o material. Junqueira et al. (2017) estudando a cinética de secagem convectiva de *physalis* a 60 °C obtiveram após 640 min o teor de água final de 8% b.s..

Figura 1 - a) Curvas de cinética de secagem da polpa de macaíba com ajustes com o modelo de Page; b) Taxas de secagem da polpa de macaíba em função do tempo nas diferentes temperaturas de secagem (50, 60, 70 e 80 °C)



Este comportamento da temperatura do ar influenciando no tempo de secagem pode ser confirmado pelos trabalhos de Baptistini et al. (2015) para polpa de graviola com espessura de 5 mm em temperaturas 40, 50, 60, 70 e 80 °C; por Galdino et al. (2016) que constataram tempos de secagem de 420 min, 380 min e 310 min, para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C, respectivamente, para a polpa de atemoia com espessura de 5 mm; e por Lago et al. (2012) para polpa e suco de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) onde obtiveram pós de yacon com estabilização da perda de água em 255 min para a temperatura de 50 °C e 225 min para 70 °C.

Constata-se nas curvas que as perdas de água são maiores no início da secagem, e essa perda de água vai diminuindo até atingir o equilíbrio, comportamento confirmado por Botrel et al. (2016) na secagem de polpa de araticum (*Annona crassiflora*) nas temperaturas 70 °C,

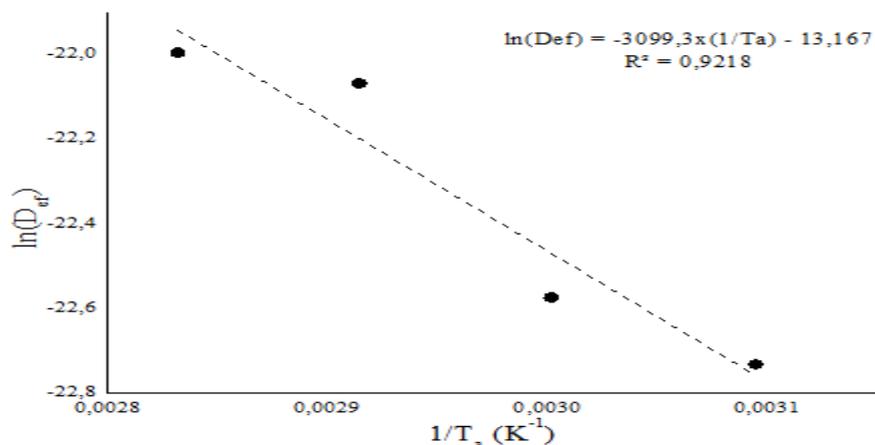
80 °C e 90 °C. Esse comportamento pode ser explicado, em razão da troca de calor que durante este período, não é mais compensada, ou seja, o movimento de líquido do interior para a superfície da polpa é insuficiente para compensar a água que está sendo evaporada, conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta e tende a atingir a temperatura do ar entrando em equilíbrio. Durante todo este período o fator limitante é a migração interna de água. Esta redução da taxa de secagem (Figura 1b) é interpretada pelo abaixamento da pressão parcial de vapor de água na superfície. No final deste período o produto estará em equilíbrio com o ar e a velocidade de secagem é nula (PARK et al., 2014).

Observa-se que as curvas ajustadas com o modelo de Page aproximaram-se dos dados experimentais. As curvas nas temperaturas 70 e 80 °C ficaram muito próximas apresentando pequena diferença, pois apresentaram taxas de secagem semelhantes (Figura 1b). Quanto maior a temperatura de secagem, maior é a taxa de secagem, em decorrência do aumento na taxa de transferência de calor, com conseqüente diminuição no tempo total de secagem, comprovado pela máxima taxa de secagem ter sido registrada para a temperatura máxima (80 °C), resultados coerentes com os de Lago et al. (2012) que apresentaram valores máximos de taxa de secagem e menor tempo na temperatura de 70 °C na secagem de yacon (50-70 °C).

As maiores taxas de secagem foram registradas no início da secagem e decresceu continuamente após a primeira hora de secagem até a estabilização, demonstrando que as taxas de secagem não foram constantes durante todo o processo, em concordância com a secagem da maioria dos materiais biológicos (LAGO et al., 2012). Esse fato foi observado especialmente nas maiores temperaturas, 70 e 80 °C, podendo ser explicado pela rapidez com que a superfície desses produtos secam em altas temperaturas criando uma barreira parcial (película) que aumenta a resistência da perda de água (MASKAN; KAYA; MASKAN, 2002). Constatações semelhantes foram observadas por Igual et al. (2012) na cinética de secagem de damasco (*Prunus armeniaca*) nas temperaturas 40 °C e 60 °C, onde checaram um período de indução no início da secagem, com um aumento da taxa de secagem seguida de estabilização.

A representação da equação de Arrhenius para os coeficientes de difusão efetiva em função do inverso da temperatura de secagem da polpa de macaíba pode ser expressa por equação linear observada na Figura 2.

Figura 2 - Efeito da temperatura de secagem da polpa de macaíba na difusividade efetiva



A energia de ativação (Eq. 12) do mecanismo de difusão da água da polpa de macaíba foi de 25,77 kJ/mol. É possível encontrar na literatura energia de ativação para materiais biológicos variando desde 2,12 kJ/mol para morangos (OLIVEIRA et al., 2015); 29,57 kJ/mol para casca de maracujá (BEZERRA et al., 2015); 33,10 kJ/mol para graviola (BAPTESTINI et al., 2015) e 36,09 kJ/mol para pimenta (SILVA et al., 2016). A energia de ativação corresponde a quantidade de energia necessária para a transformação de água livre líquida em vapor, ou seja, é a energia necessária para desencadear o processo de difusão de água (MARTINS et al., 2015). Em secagem, quanto menor a energia de ativação menor é a força de ligação da água com o material, logo, a secagem de macaíba ocorreu com mais facilidade devido as moléculas de água superarem a barreira de energia durante a migração no interior do produto, mais rápido do que a polpa de graviola, por exemplo (33,10 kJ/mol), em outras palavras, quanto menor a energia de ativação necessária para a transformação da água líquida em vapor mais facilmente ocorre a secagem.

Os valores dos coeficientes de difusão efetiva (D_{ef}) foram determinados utilizando o modelo matemático de Fick (Eq. 10) com aproximação de 7 termos estão apresentados na Tabela 3. É possível observar que a difusividade aumentou com a elevação da temperatura de secagem da polpa de macaíba. Isso pode ser explicado pela diminuição da viscosidade com o incremento da temperatura, levando a alterações na difusividade da água nos capilares da polpa de macaíba (GONELI et al., 2014).

Tabela 3 - Valores de difusividade efetiva e propriedades termodinâmicas nas temperaturas de secagem da polpa de macaíba

Temperatura (°C)	D_{ef} (m^2/s)	Entalpia (kJ/mol)	Entropia (kJ/mol K)	Energia Gibbs (kJ/mol)
50	$1,34 \times 10^{-10}$	23,081	-0,336	131,632
60	$1,57 \times 10^{-10}$	22,998	-0,336	134,992
70	$2,60 \times 10^{-10}$	22,915	-0,336	138,355
80	$2,80 \times 10^{-10}$	22,832	-0,337	141,720

Sousa et al. (2017) encontraram valores de difusividade variando de 93×10^{-10} a 159×10^{-10} m^2/s para polpa de pequi nas mesmas condições de temperaturas de secagem e espessura da polpa. Munhoz et al. (2014) observaram difusividades de 74×10^{-10} e 121×10^{-10} m^2/s para temperaturas de 60 e 70 °C, respectivamente, em polpa de macaíba (*A. aculeata*) não homogeneizada, valores superiores aos encontrados nesse trabalho, provavelmente pela diferença no processamento da amostra e espécies. Diferenças na difusividade efetiva podem ser explicadas pela relação deste coeficiente com a temperatura do ar de secagem trabalhada, velocidade do ar, composição química e física da fruta, variedade, quantidade de água, processamento, entre outros fatores (MARTINS et al., 2015; SILVA et al., 2016).

A entalpia decresceu de 23,081 para 22,832 kJ/mol com o aumento da temperatura de 50 a 80 °C, comportamento similar ao observado por Silva et al. (2016) que encontraram valores de entalpia variando de 33,323 a 32,991 kJ/mol na secagem de pimenta nas temperaturas de 60 a 100 °C. O decréscimo da entalpia com o aumento da temperatura era um comportamento esperado, já que, maiores temperaturas facilitam a secagem por necessitarem de menos energia para remover a água do produto (OLIVEIRA et al., 2015).

Para a entropia, os valores encontrados foram constantes para as temperaturas utilizadas. A entropia está relacionada com o grau de excitação e o arranjo espacial das moléculas de água no produto (GONELI et al., 2010), e como este parâmetro foi determinado pela Eq. (13) que faz uso das constantes de Planck e Boltzmann e do fator pré-exponencial, dependendo apenas da variação de temperatura, que neste caso a variação foi de 10 °C, os valores não variaram com o aumento da temperatura. Resultados próximos foram relatados por Silva et al. (2016) com entropias entre -0,296 a -0,297 kJ/mol K. Os valores negativos de entropia podem ser justificados pela mudança química e/ou estrutural do alimento durante o processo de secagem (CORRÊA et al., 2010).

A energia livre de Gibbs quantifica a energia total que envolvida em um sistema termodinâmico, e seu valor positivo indica que o sistema necessita de absorção de energia para a água mudar seu estado físico de líquido para vapor durante a secagem (OLIVEIRA et al., 2015). Neste trabalho a energia livre de Gibbs aumentou com o acréscimo da temperatura, variando de 131,632 a 141,720 kJ/mol, demonstrando um processo não-espontâneo ($\Delta G > 0$), valores condizentes com os que foram encontrados por Silva et al. (2016) para a secagem de pimentas, 131,853 a 143,702 kJ/mol.

CONCLUSÕES

As curvas de secagem sofreram influência da temperatura, sendo observadas significativas reduções no tempo de secagem com o aumento da temperatura.

O modelo matemático de Page, dentre os testados, foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem de polpa de macaíba nas condições estudadas.

A energia de ativação para a secagem de polpa de macaíba nas temperaturas 50, 60, 70 e 80 °C foi de 25,77 kJ/mol, demonstrando facilidade no processo de difusão da água na polpa.

A elevação da temperatura do ar de secagem proporcionou o aumento da energia livre de Gibbs e da difusividade efetiva da água na polpa reduzindo a entalpia e mantendo a entropia constante negativa caracterizando um processo não-espontâneo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, F. P.; BROETTO, F.; BATISTELLA, C. B.; JORGE, S. M. A. Extraction and qualitative characterization of pulp and almonds oils of macauba fruits [*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart] collected in the region of Botucatu, SP. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 12-20, 2011.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; JUNQUEIRA, M. S.; RAMOS, A. M.; VANEGAS, J. D. B.; COSTA, C. F. Mathematical modeling of drying of soursop foam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1203-1208, 2015.

BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. C. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 85, p. 750-755, 2015.

BOTREL, D. A.; RODRIGUES, I. C. B.; SOUZA, H. J. B.; FERNANDES, R. V. B. Application of inulin in thin-layer drying process of araticum (*Annona crassiflora*) pulp. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, p. 32-39, 2016.

- CARLESSO, V. O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F.; DETMANN, E. Assessment of thin-layer drying models of yellow passion fruit seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 28-37, 2007.
- CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Mathematical modeling and determination of thermodynamic properties of coffee (*Coffea arabica* L.) during the drying process. **Revista Ceres**, v. 57, p. 595-601, 2010.
- GALDINO, P. O.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Drying kinetics of atemoya pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 672-677, 2016.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transactions of the ASAE**, v. 53, p. 191-197, 2010.
- GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Mathematical modeling and effective diffusion of *Schinus terebinthifolius* leaves during drying. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 56-64, 2014.
- IGUAL, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MARTÍN-ESPARZA, M. E.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 284-290, 2012.
- JUNQUEIRA, J. R. J.; CORRÊA, J. L. G.; OLIVEIRA, H. M.; AVELAR, R. I. S.; PIO, L. A. S. Convective drying of cape gooseberry fruits: Effect of pretreatments on kinetics and quality parameters. **LWT - Food Science and Technology**, v. 82, p. 404-410, 2017.
- LAGO, C. C.; BERNSTEIN, A.; BRANDELLI, A.; NOREÑA, C. Z. characterization of powdered yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice and pulp. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2183-2191, 2012.
- MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; LOPES, J. G. Drying kinetics of *Serjania marginata* Casar leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 238-244, 2015.
- MASKAN, A.; KAYA, S.; MASKAN, M. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 1, p. 81-88, 2002.
- MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; LECH, K.; ŁYSIAK, G. P.; FIGIEL, A. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying Technologies. **Food Chemistry**, v. 207, p. 223-232, 2016.
- MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CAMPAGNOLLI, R.; MACEDO, M. L. R. Drying of the kernel and fresh and osmotically dehydrated bocaiuva pulps. **Acta Scientiarum**, v. 36, n. 1, p. 165-170, 2014.
- OLIVEIRA, G. H. H.; ARAGÃO, D. M. S.; OLIVEIRA, A. P. L. R.; SILVA, M. G.; GUSMÃO, A. C. A. Modelling and thermodynamic properties of the drying of strawberries. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 314-321, 2015.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 93-127, 2014.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Kinetic drying of cupuaçu pulp (*Theobroma grandiflorum*) pre-dehydrated by immersion-impregnation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.

SILVA, R. B.; SILVA, E. V.; RODRIGUES, L. C.; ANDRADE, L. H. C.; SILVA, S. I.; HARAND, W.; OLIVEIRA, A. F. M. A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 87, n. 3, p. 1701-1709, 2015.

SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of 'Cabacinha' pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 174-180, 2016.

SOUSA, E. P.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; GOMES, J. P.; QUEIROZ, A. J. M.; CASTRO, D. S.; LEMOS, D. M. Mathematical modeling of pequi pulp drying and effective diffusivity determination. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 493-498, 2017.

PERFIL DE COMPOSTOS FENÓLICOS E EFEITO DO SOLVENTE DE EXTRAÇÃO NOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE MACAÍBA

Resumo: Os compostos com ação antioxidante podem informar sobre a qualidade de um alimento, além da contribuição para a conservação e potencial funcional, por isso, este trabalho teve como objetivo investigar o perfil de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante da polpa e amêndoa da macaíba a partir de extratos preparados de diferentes solventes (metanol, hexano, etanol e água) usando vários ensaios *in vitro* (DPPH, ABTS, FRAP e sistema β -caroteno/ácido linoleico) a fim de aprimorar sua aplicação. O teor de fenólicos totais e a atividade antioxidante foi determinada através de método colorimétrico verificando a absorbância em espectrofotômetro UV-VIS e o perfil de fenólicos através de HPLC. Os solventes mais eficientes para a extração de compostos fenólicos totais foram o metanol e a água, com valores de 6,51 mg EAG/g e 12,41 mg EAG/g, respectivamente, para a polpa de macaíba e 4,05 mg EAG/g e 13,49 mg EAG/g, respectivamente, para a amêndoa. O método DPPH para quantificar a atividade antioxidante foi o que registrou maiores valores tanto para a polpa quanto para a amêndoa, 41,85 $\mu\text{mol Tx/g}$ e 31,02 $\mu\text{mol Tx/g}$ no extrato metanólico, respectivamente. A macaíba é composta por substâncias fenólicas que contribuem para diversas atividades biológicas, entre eles o ácido 2,5 dihidroxibenzoico, ácido vanílico e quercetina na polpa e ácido cafeico, crisina e ácido 2,5 dihidroxibenzoico na amêndoa. Os resultados mostraram perspectivas promissoras para exploração de macaíba como fonte potencial de antioxidantes naturais.

Palavras-chave: *Acrocomia intumescens*. Compostos bioativos. DPPH. ABTS. FRAP. β -caroteno/ ácido linoleico

Abstract: The compounds with antioxidant activity can inform the quality of a food, in addition to the contribution to the conservation and functional potential. Therefore, this work had as objective to investigate the profile of phenolic compounds and the antioxidant capacity of macaíba pulp and kernel from extracts prepared with different solvents (methanol, hexane, ethanol and water) using various *in vitro* assays (DPPH, ABTS, FRAP and β -carotene/linoleic acid system) in order to improve their application. The total phenolic content and antioxidant activity were determined by a colorimetric method, by checking the absorbance in a UV-VIS spectrophotometer and the phenolic profile by HPLC. The most efficient solvents for the

extraction of total phenolic compounds were methanol and water, with values of 6.51 mg EAG/g and 12.41 mg EAG/g, respectively, for macaíba pulp and 4.05 mg EAG/g and 13.49 mg EAG/g, respectively, for the kernel. The DPPH method to quantify the antioxidant activity was the highest values for both the pulp and the kernel, 41.85 $\mu\text{mol Tx/g}$ and 31.02 $\mu\text{mol Tx/g}$ in the methanolic extract, respectively. Macaíba is composed of phenolic substances that contribute to various biological activities, including 2,5-dihydroxybenzoic acid, vanillic acid and quercetin in the pulp and caffeic acid, chrysin and 2,5-dihydroxybenzoic acid in the kernel. The results showed promising prospects for macaíba as a potential source of natural antioxidants.

Keywords: *Acrocomia intumescens*. Bioactive compounds. DPPH. ABTS. FRAP. β -carotene/linoleic acid

INTRODUÇÃO

A macaibeira é uma palmeira nativa das Américas tropicais, tendo sua ocorrência bastante comum no Nordeste do Brasil (AMARAL et al., 2011). O fruto possui grande potencial produtivo, sendo rico em proteínas, lipídeos, carboidratos, fibras, minerais, além de compostos bioativos como carotenoides, fenólicos, flavonoides e ácido ascórbico que apresentam atividade antioxidante (RAMOS et al., 2008).

Um antioxidante é uma molécula natural (compostos fenólicos, compostos nitrogenados, carotenoides e ácido ascórbico) ou sintética (estruturas fenólicas) que retarda ou inibe a oxidação de outras moléculas como proteínas, ácidos nucleicos ou lipídeos. A proteção fornecida por qualquer composto antioxidante depende da sua concentração, mas principalmente de sua reatividade frente a determinadas espécies reativas de oxigênio que estão sendo consideradas (BITTENCOURT et al., 2015).

Muitas pesquisas com alimentos têm sido desenvolvidas a fim da identificação do potencial antioxidante, já que a capacidade antioxidante dos alimentos pode ser tomada como um indicador dos benefícios sobre a saúde humana. Além do seu potencial em prevenção das doenças, os compostos antioxidantes são usualmente empregados na indústria de alimentos para prevenir alterações indesejáveis, como sabor e ranço, que comprometem a qualidade e segurança dos produtos devido à formação de compostos potencialmente tóxicos (PASSOS, 2010). Cândido et al. (2015) reforça a importância de frutos nativos, como o buriti (*Mauritia flexuosa*), como fonte potencial de carotenoides e antioxidantes naturais e a perspectiva de

exploração desse fruto para extração de substâncias antioxidantes. Dentre os frutos nativos, a macaíba ainda tem sido pouco estudada e apresenta-se como uma matéria-prima promissora quanto ao seu potencial bioativo.

Desse modo, o estudo dos compostos que apresentam características antioxidantes é primordial para correlacionar com suas atividades biológicas. Além disso, o perfil e a quantidade destes compostos, peculiares a cada matriz alimentar, justificam a prospecção e identificação, inclusive quanto às melhores condições de extração que remetam à atividade antioxidante máxima. Diante disso, este trabalho teve como objetivo caracterizar o perfil de compostos fenólicos e testar diferentes solventes na extração dos compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante da polpa e da amêndoa de macaíba.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizados os frutos de macaíbas (*Acrocomia intumescens*) no estágio de maturação maduro, provenientes da cidade de Alagoa Nova, Paraíba, localizada a 07° 04' 15" S, 35° 45' 30" W. Inicialmente os frutos foram selecionados, lavados e sanitizados, as cascas foram quebradas e retiradas manualmente, procedeu-se o despulpamento em despulpadeira e homogeneização em liquidificador da polpa da fruta com incorporação de água até teor de sólidos solúveis totais de 7 °Brix para a completa homogeneização da matéria-prima. A separação do endocarpo da amêndoa foi feita em prensa manual, com as amêndoas extraídas e processadas em moinho de facas e, em seguida, peneiradas em malha 16 mesh. Tanto a polpa quanto as amêndoas foram embaladas em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenadas em freezer (-18 °C ± 1 °C) até a realização dos experimentos.

Reagentes

Para a execução das análises de atividade antioxidante foram utilizados os reagentes adquiridos da marca Sigma- Aldrich® (±) 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico (Trolox), ácido linoleico, Tween 40, 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH), 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolona)-6-ácido sulfônico (ABTS), 2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ), reagente de Folin-Ciocalteu.

Os reagentes utilizados na extração de antioxidantes e perfil de fenólicos em HPLC foram metanol, etanol, hexano foram adquiridos das marcas Sigma-Aldrich® e Merck®. O metanol e acetonitrila grau HPLC adquiridos da J. T. Baker®.

Para análise cromatográfica dos compostos fenólicos foram usados os seguintes padrões de ácidos fenólicos obtidos da SigmaAldrich®: ácido 3,4 dihidroxibenzóico (protocatequímico), 4 hidroxibenzoico, salicílico, siríngico, ácido 2,5 dihidroxibenzóico (gentísico), vanílico, elágico, *p*-cumárico, sinápico, *trans*-cinâmico, caféico e ferúlico e flavonoides: rutina, miricetina, quercetina, naringina, kaempferol, catequina, hesperetina, crisina.

Obtenção dos extratos antioxidantes

As amostras de polpa e de amêndoa de macaíba foram submetidas à extração única utilizando metanol e à extração sequenciada em gradiente crescente de polaridade (hexano, etanol e água) para obtenção dos extratos de antioxidantes.

As amostras de polpa e de amêndoa de macaíba (5 g) foram misturadas com o solvente metanol (40 mL) e em seguida sonicadas em banho de gelo (Unique, modelo USC-1400A) por 20 minutos. A mistura foi agitada durante três horas a 25 °C, seguida da centrifugação do extrato à 8000 rpm, 10 °C por 10 min e o sobrenadante foi recuperado. O processo de extração foi repetido e os dois sobrenadantes foram homogeneizados.

As amostras de polpa e de amêndoa de macaíba (5 g) foram misturadas com o solvente hexano (40 mL) seguindo processo descrito anteriormente para os extratos metanólicos. O resíduo do extrato hexânico foi subsequentemente extraído duas vezes com etanol (40 mL) nas mesmas condições anteriormente descritas obtendo-se o extrato etanólico, e repetidamente para obtenção do aquoso.

Os extratos metanólico, hexânico, etanólico e aquoso foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 35 °C até a evaporação do solvente, e, em seguida, armazenados ao abrigo da luz, sob refrigeração até o momento de sua utilização. Cada extrato foi diluído com água destilada (5-10 mg/mL) e armazenado em frascos âmbar antes das análises de capacidade antioxidante. Todo o procedimento de extração foi executado em iluminação de 4,8 lux.

Determinação dos compostos fenólicos totais

Os teores de fenólicos extraíveis totais foram determinados pelo método colorimétrico Folin-Ciocalteu (SLINKARD; SINGLETON, 1977). Alíquotas de cada extrato (240 µL) adicionadas do reagente de Folin-Ciocalteu (60 µL) foram agitadas em tubos de ensaio (1 min); em seguida adicionou-se água destilada (2520 µL) e carbonato de sódio a 15% (180 µL); a mistura então foi agitada e mantida ao abrigo da luz durante duas horas.

A medida de absorbância foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S), no comprimento de onda de 760 nm. O ácido gálico (2-200 mg/L) foi usado como padrão para a construção das curvas de calibração ($R^2 = 0,9984-0,9990$). Os resultados foram expressos em mg EAG/g (miligrama de equivalente de ácido gálico por grama do extrato). As amostras foram analisadas em triplicata.

Determinação da capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante foi determinada por quatro metodologias distintas, atividade sequestrante do radical livre DPPH, atividade sequestrante do radical livre ABTS, poder antioxidante de redução do ferro (FRAP) e auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico.

Atividade sequestrante do radical livre DPPH

A metodologia de Brand-Willams, Cuvelier e Berset (1995), consiste na capacidade que os antioxidantes presentes nas amostras possuem em sequestrar o radical estável DPPH•. A partir de triagem preliminar, a solução de DPPH• (23,6 µg/mL em EtOH) foi adicionada às amostras dos extratos obtendo uma concentração final de 150 µg/mL. Em triplicata, alíquotas dos extratos (90 µL) em etanol (210 µL) e solução de DPPH• (23,6 µg/mL em EtOH, 2.700 µL) foram misturadas e após 30 min foi efetuada a leitura a 517 nm, em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S). O Trolox (0,25-10 µg/mL) foi utilizado como padrão para traçar as curvas de calibração ($R^2 = 0,9999$), e o etanol como branco. Os resultados da capacidade antioxidante foram expressos em µmol Trolox/g de amostra (capacidade antioxidante equivalente ao Trolox).

Atividade sequestrante do radical livre ABTS

A capacidade antioxidante pelo método ABTS•+ (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) foi determinada conforme a metodologia descrita por Rufino et al. (2007). O radical ABTS foi obtido pela reação de solução ABTS•+ 7 mM (5 mL) com solução de persulfato de potássio 140 mM (88 µL), mantidos a temperatura ambiente por 16 h. Após esse período, o radical foi diluído em etanol P.A. até a obtenção do valor de absorbância de 0,705 a 734 nm. A partir dos extratos de cada amostra (30 µL) foi adicionado o radical ABTS (3,0 mL), e a leitura foi feita após 6 minutos da reação a 734 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S), e o etanol foi utilizado como branco. O Trolox (0,25-10 µg/mL) foi utilizado como padrão para traçar as curvas de calibração ($R^2 = 0,9988-0,9995$) e os resultados expressos em µmol Trolox/g de extrato.

Poder antioxidante de redução do ferro (FRAP)

A capacidade antioxidante dos extratos de polpa e de amêndoa de macaíba foi estimada pelo ensaio do FRAP, que é baseado na capacidade de um antioxidante em reduzir o Fe^{3+} para Fe^{2+} , seguindo a metodologia descrita por Benzie e Strain (1996). A solução do reagente FRAP foi preparada com tampão acetato 0,3 M (25 mL), solução TPTZ 10 mM (2,4,6-tris(2-piridil)-s-triazina) (2,5 mL) e solução aquosa de cloreto férrico 20 mM (2,5 mL).

Ao abrigo da luz, foi adicionado cada extrato em tubos (90 µL), água destilada (270 µL), seguido de reagente FRAP (2,7 mL), após homogeneização os tubos foram mantidos em banho-maria (37 °C). Após 30 min da mistura, as leituras da absorbância foram realizadas a 595 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S) e o reagente FRAP foi usado como branco. Foram traçadas dois tipos de curvas-padrão utilizando o Trolox (0,5-10 µg/mL) e o Sulfato Ferroso (2,5-10 µg/mL) ($R^2 = 0,9918-0,9995$) e os resultados expressos em µmol Trolox/g de extrato e µmol Sulfato Ferroso/g de amostra, respectivamente.

Auto-oxidação do sistema β-caroteno/ácido linoleico

A capacidade antioxidante pelo sistema de β-caroteno/ácido linoleico dos extratos foi determinada conforme método descrito por Rufino et al. (2010), que consiste na oxidação do β-caroteno induzida pelos produtos de degradação oxidativa do ácido linoleico. A solução

sistema β -caroteno/ácido linoleico foi preparada adicionando ácido linoleico (40 μ L), Tween 40 (530 μ L), solução β -caroteno (50 μ L) e clorofórmio (1 mL); em seguida, o clorofórmio foi evaporado com auxílio do oxigenador, e em seguida foi adicionada água tratada com oxigênio até uma absorbância entre 0,6 e 0,7 nm a 470 nm. Os extratos (0,4 mL) foram adicionados a solução sistema de β -caroteno/ácido linoleico (5 mL), sendo a mistura mantida em banho-maria a 40 °C. Após 2 min foi realizada a leitura inicial da absorbância a 470 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S) e depois em intervalos de 30 min até 120 min. A solução de Trolox (200 μ g/mL) foi utilizada como controle negativo e a água como branco. Os resultados foram expressos como percentagens de inibição, Equação 1:

$$\% \text{ Inibição} = 100 - \frac{[(A_i - A_f) \times 100]}{C_i - C_f} \quad (1)$$

Sendo: A_i - absorbância inicial da amostra; A_f - absorbância final da amostra; C_i - absorbância inicial do controle negativo; e C_f - absorbância final do controle negativo.

Identificação e quantificação dos compostos fenólicos

As análises cromatográficas foram realizadas em um cromatógrafo líquido de alto desempenho (HPLC) Shimadzu (Kyoto, Japão), equipado com um injetor automático Rheodyne 7125i e um detector UV/Vis. As colunas utilizadas foram uma coluna Shimadzu LC-18 (25 cm \times 4,6 mm, 5 μ m particle size, da Supelco, Bellefonte, PA) e uma pré-coluna C18 ODS Shimadzu. Os extratos metanólicos da polpa e da amêndoa de macaíba foram eluídas com um sistema gradiente que consiste em solvente A (2% ácido acético, v/v) e solvente B (acetonitrila:metanol, 2:1, v/v), utilizados como fases móveis, com um fluxo de 1 mL/min, temperatura da coluna 25 °C e o volume de injeção de 20 μ L. O sistema de gradiente iniciou-se a partir de 90% A a 0 min, 88% A em 3 min, 85% A em 6 min, 82% A em 10 min, 80% A em 12 min, 70% A em 15 min, 65% A em 20 min, 60% A em 25 min, 50% A em 30-40 min, 75% A em 42 min e 90% A em 44 min, e solvente B na proporção necessária para completar 100%. A corrida cromatográfica total foi de 50 min. Os picos dos compostos fenólicos foram monitorizados a 280 nm. O software LabSolutions (Shimadzu) foi usado para controlar o sistema de LC-UV e de processamento de dados.

Os compostos fenólicos foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção com os padrões de ácidos fenólicos e flavonoides, sendo quantificados em

concentrações de mg/mL a partir de curvas de calibração e os cromatogramas foram registrados no software LabSolutions Data System.

Análise estatística

Os dados obtidos para cada análise foram submetidos a tratamento estatístico utilizando o programa Origin 8. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as diferenças dos parâmetros analisados através teste de Tukey a 5% de significância. A homocedasticidade das variâncias de todos os parâmetros analisados foi confirmada utilizando o teste de Levene. O coeficiente de correlação de Pearson (R) foi calculado entre os compostos fenólicos e os métodos de análise de capacidade antioxidante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teor de fenólicos extraíveis totais

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos compostos fenólicos totais (mg EAG/g de extrato) da polpa e da amêndoa de macaíba nos diferentes extratos estudados (metanólico, hexânico, etanólico e aquoso). Os teores de fenólicos totais variaram de 0,54 a 12,41 mg EAG/g e 1,57 a 13,49 mg EAG/g para polpa e amêndoa de macaíba, respectivamente, sendo a maior quantidade detectada no extrato aquoso, decrescendo na seguinte ordem: aquoso > metanólico e etanólico > hexânico para polpa de macaíba, e aquoso > metanólico > etanólico para a amêndoa.

Tabela 1 - Teor de fenólicos extraíveis totais em polpa e amêndoa de macaíba

Extrato	Teor de fenólicos extraíveis totais (mg EAG/g)	
	Polpa	Amêndoa
Metanólico	6,51 ^b ± 0,35	4,05 ^b ± 0,29
Hexânico	0,54 ^c ± 0,26	-
Etanólico	7,09 ^b ± 0,23	1,57 ^c ± 0,07
Aquoso	12,41 ^a ± 0,26	13,49 ^a ± 0,20

mg EAG/g - miligrama de equivalente de ácido gálico por grama do extrato. Valores expressos em média e desvio padrão. Nas colunas, médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente (ANOVA e Teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

A extração com hexano não removeu os grupos fenólicos na amêndoa da macaíba, e apresentou o menor teor de fenólicos na polpa quando comparado a outros solventes, o que pode ser atribuído à dificuldade de formação no extrato de alguns compostos fenólicos que são solúveis em metanol, acetona e etanol (DO et al., 2014).

Baseado nos resultados de fenólicos extraíveis totais os solventes que apresentaram maiores valores desses compostos foi a água seguido do metanol, entretanto, os compostos fenólicos têm baixa solubilidade em água indicando que provavelmente outras substâncias não fenólicas foram extraídas pela água, superestimando os valores destes tanto na polpa quanto na amêndoa. Já nos trabalhos de Rocha et al. (2013) os melhores resultados foram no extrato etanólico para a espécie *A. aculeata*; González-Montelongo, Lobo e González (2010) estudando a capacidade antioxidante e teor de fenólicos em casca de banana (*Musa acuminata*) encontraram que a mistura de extração acetona:água foi a combinação de solvente que produziu extratos com maior capacidade antioxidante e teor de compostos fenólicos. Por outro lado, água a 100 °C, etanol 50%, 60% e 70% e metanol forma os mais apropriados para extratos de polpa de calamondin (*Citrus mitis* Blanco) (LOU; HSU; HO, 2014); n-Hexano em extratos de polpa de carissa (*Carissa opaca*) (SAHREEN; KHAN; KHAN, 2010); e acetona para extratos de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) (JOHN; SHAHIDI, 2010).

Dessa foram, com base na extração em água, tanto a polpa quanto a amêndoa da macaíba podem ser consideradas fontes naturais de compostos fenólicos, 12,41 mg EAG/g e 13,49 mg EAG/g, respectivamente. Diferentes teores de fenólicos em macaíba (*A. aculeata*) foram encontrados por Rocha et al. (2013), de 0,61 mg EAG/g (extrato etanólico) e 0,21 mg EAG/g (extrato aquoso); por Oliveira et al. (2013) em polpa de macaíba (*A. aculeata*), de 0,51 mg EAG/g em extrato etanólico; por Coimbra e Jorge (2012) em óleo da polpa de macaíba (*A. aculeata*), de 2,21 mg EAG/g e em óleo da amêndoa com 4,38 mg EAG/g, em extrato metanólico. Assim como em outras matrizes com alto teor lipídico, como encontrados por John e Shahidi (2010) em castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) com 5,19 mg EAG/g em extrato acetônico; por Lemos et al. (2012) em castanha de baru (*Dipteryx alata*) 5,69 mg EAG/g em extrato metanólico; e por Denardin et al. (2015) em butiá (*Butia eriospatha*) e araçá (*Psidium cattleianum*) que encontraram 3,59 mg EAG/g e 6,60 mg EAG/g, respectivamente.

Maiores valores foram encontrados para a fruta carissa (*Carissa opaca*), com 25,8 mg EAG/g (extrato hexânico), 78,9 mg EAG/g (extrato metanólico) e 58,4 mg EAG/g (extrato aquoso) em trabalho de Sahreen, Khan e Khan (2010). Essas discrepâncias podem estar

relacionadas a diferenças entre espécies, solventes utilizados na extração dos compostos fenólicos e metodologias de análise.

Fenólicos ou polifenóis são metabólitos secundários de plantas que atuam como antioxidantes devido à sua atividade de eliminação de radicais lipídicos livres, capacidade quelante de íons metálicos ou prevenindo conversões de hidroperóxidos em oxiradicais e por isso a sua presença na macaíba sugere que esta tem ação antioxidante, necessitando a realização de ensaios de capacidade antioxidante para confirmação (SAHREEN; KHAN; KHAN, 2010).

Evidências sugerem fortemente uma contribuição dos polifenóis para a prevenção de diversas doenças, bem como o envelhecimento (CALEJA et al., 2017; GIOVANNINI; MASELLA, 2012; PEREIRA et al., 2013). Os compostos fenólicos, também, estão entre os componentes mais importantes que permitem inferir sobre a qualidade do fruto. Contribuem, por exemplo, para características sensoriais como cor e sabor (ZIELINSKI et al., 2014). Além disso, são utilizados na conservação dos alimentos contra alterações por micro-organismos ou por oxidações lipídicas estando, portanto, envolvidos na formulação de muitos suplementos, aditivos alimentares e medicamentos (MAQSOOD; BENJAKUL; SHAHIDI, 2013; PASSO TSAMO et al., 2015).

Capacidade antioxidante

Devido às múltiplas características e mecanismos de reação, um único ensaio antioxidante não reflete com precisão todos os antioxidantes em um sistema tão complexo como uma matriz alimentícia. A fim de determinar a capacidade antioxidante dos extratos da polpa e da amêndoa de macaíba quatro métodos diferentes foram conduzidos para obter informações nas diferentes etapas da reação de oxidação e identificar variações nas respostas dos compostos extraídos da macaíba (DENARDIN et al., 2015).

As extrações utilizando hexano, etanol e água não mostraram atividade antioxidante contra os radicais DPPH na polpa e amêndoa de macaíba, conforme a Tabela 2.

Apenas com a extração metanólica foi possível detectar capacidade antioxidante da polpa (41,85 $\mu\text{mol Tx/g}$) e amêndoa (31,02 $\mu\text{mol Tx/g}$). Do et al. (2014) verificaram que a extração etanólica foi a que obteve alta atividade do radical DPPH para a especiaria *Limnophila aromatica*; enquanto que Sahreen, Khan e Khan (2010) concluíram que as melhores atividades dos radicais DPPH foram para os extratos de clorofórmico, aquoso e metanólico para polpa de carissa. Por outro lado, John e Shahidi (2010) observaram que as

melhores condições de extração da castanha-do-Brasil foram a partir dos extratos acetônico e metanólico, coerente com este trabalho.

Tabela 2 - Capacidade antioxidante, pelos ensaios DPPH e ABTS, da polpa e da amêndoa de macaíba para os diferentes extratos

Extrato	DPPH ($\mu\text{mol Tx/g}$)		ABTS ($\mu\text{mol Tx/g}$)	
	Polpa	Amêndoa	Polpa	Amêndoa
Metanólico	41,85 \pm 1,50	31,02 \pm 1,60	10,91 ^a \pm 0,14	5,76 ^a \pm 0,21
Hexânico	-	-	0,19 ^c \pm 0,07	0,23 ^c \pm 0,08
Etanólico	-	-	0,26 ^c \pm 0,07	0,79 ^b \pm 0,07
Aquoso	-	-	0,84 ^b \pm 0,04	0,57 ^b \pm 0,04

$\mu\text{mol Tx/g}$ - micromol de trolox por grama do extrato. Valores expressos em média e desvio padrão. Nas colunas, médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente (Teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Cândido, Silva e Agostini-Costa (2015) detectaram uma capacidade antioxidante de 35 $\mu\text{mol Tx/g}$ para o buriti (*Mauritia flexuosa*) pelo método DPPH, próximo aos encontrados neste trabalho. Já Rocha et al. (2013) constataram baixa atividade antioxidante da macaíba (*A. aculeata*), 3582-3783 EC50 mg/L DPPH comparada com outras frutas do cerrado brasileiro. Limmongkon et al. (2017) encontraram valores de capacidade antioxidante variando de 29,36-80,51 mmol Tx/L para brotos de amendoim (*Arachis hypogaea*). González-Montelongo, Lobo e González (2010) obtiveram 3 g Tx/100 g para casca de banana, demonstrando uma capacidade de eliminação de 55% do radical DPPH; diferente de Zielinski et al. (2014) que obtiveram uma capacidade de eliminação de 16,15% para polpa de cacau (*Theobroma cacao*) e 0,30% para polpa de coco (*Cocos nucifera*).

A ausência de atividade antioxidante nos extratos hexânicos, etanólicos e aquosos dos ensaios DPPH podem ser justificados pela composição das amostras, uma vez que tanto a polpa quanto a amêndoa da macaíba, possuem alta quantidade de lipídeos (8,45 e 22,66 g/100 g, respectivamente). De acordo com Borges et al. (2013) a contribuição da fração lipídica para a capacidade antioxidante é inferior a 5% nos métodos DPPH e FRAP, visto que a fração lipofílica apresenta tocóis, esteróis, carotenoides, clorofilas e glicérides, nos quais estes compostos não atuam no mecanismo de avaliação da atividade antioxidante por esses métodos.

Extratos obtidos com o metanol no ensaio do radical ABTS para polpa e amêndoa de macaíba foram os que apresentaram maior atividade antioxidante comparados com os outros solventes ensaiados. González-Montelongo, Lobo e González (2010) constataram que o

extrato que apresentou maior atividade antioxidante foi acetona:água para casca de banana, enquanto que os extratos aquoso, clorofórmico e metanólico foram os que apresentaram maior atividade antioxidante para esse mesmo radical em polpa de carissa (SAHREEN; KHAN; KHAN, 2010); para avelã, os melhores resultados foram com o extrato acetônico (GHIRARDELLO et al., 2010). Diferenças com relação ao extrato utilizado indica que estes apresentam antioxidantes ou compostos bioativos com diferentes polaridades.

Neste trabalho as médias das maiores capacidades antioxidantes para polpa de macaíba no ensaio do radical ABTS foram 10,91 $\mu\text{mol Tx/g}$ e 5,76 $\mu\text{mol Tx/g}$ para a polpa e amêndoa no extrato metanólico, respectivamente. No seu estudo sobre a capacidade antioxidante de frutos do cerrado brasileiro Souza et al. (2012) encontraram valores próximos para polpa de jenipapo (*Genipa americana*), de 7,31 $\mu\text{mol Tx/g}$ e maracujá (*Passiflora alata*), de 10,84 $\mu\text{mol Tx/g}$ para extratos metanol:acetona. Maiores atividades antioxidantes foram constatadas por John e Shahidi (2010) para castanha-do-Brasil (14,04 $\mu\text{mol Tx/g}$, extrato acetônico); e avelã (320 $\mu\text{mol Tx/g}$, extrato acetônico) (GHIRARDELLO et al., 2010); e para buriti (46,63 $\mu\text{mol Tx/g}$, extrato de acetona:água:ácido acético) (CÂNDIDO; SILVA; AGOSTINI-COSTA, 2015).

Neste estudo, para os ensaios do potencial antioxidante de redução de ferro (FRAP) da polpa e amêndoa de macaíba, conforme a Tabela 3, o extrato que se destacou pela maior capacidade antioxidante foi o extrato aquoso, seguido do metanólico, etanólico e hexânico, utilizando o Trolox como padrão. No entanto, utilizando o sulfato ferroso como padrão, o extrato metanólico foi o que apresentou maior valor para a polpa, e o metanólico e aquoso para a amêndoa, resultados concordantes com Sahreen, Khan e Khan (2010) que constataram que os solventes que apresentaram melhor poder redutor de ferro foram água e metanol.

No caso da amêndoa, usando o trolox como referência, o extrato aquoso obteve melhor resultado. Já usando o sulfato ferroso, os melhores resultados foram os extratos aquoso e metanólico, não apresentando diferenças significativas ($p \geq 0,05$). Ghirardello et al. (2010) identificaram que os melhores extratos para quantificação da capacidade antioxidante a partir de ensaio FRAP foram os metanólicos e etanólicos para avelã.

Para polpa de macaíba as maiores médias de atividade antioxidante foram 1,31 $\mu\text{mol Tx/g}$ e 2,93 $\mu\text{mol Sf/g}$ nos extratos aquoso e metanólico, respectivamente, inferiores aos resultados encontrados por Denardin et al. (2015) que obtiveram para frutos brasileiros, como o butiá, 9,32 $\mu\text{mol Sf/g}$ e araçá, 89,09 $\mu\text{mol Sf/g}$ em extrato etanólico; também aos reportados por Zielinski et al. (2014), de 6,58-21,64 $\mu\text{mol Tx/g}$ para polpas de frutas em extrato aquoso;

e por Cândido, Silva e Agostini-Costa (2015) de 38,64 $\mu\text{mol Tx/g}$ para o buriti em extrato acetona: água: ácido acético.

Tabela 3 - Capacidade antioxidante pelo ensaio FRAP da polpa e amêndoa de macaíba para os diferentes extratos

Extrato	Capacidade antioxidante ($\mu\text{mol Tx/g}$)		Capacidade antioxidante ($\mu\text{mol Sf/g}$)	
	Polpa	Amêndoa	Polpa	Amêndoa
Metanólico	0,94 ^b \pm 0,09	0,68 ^b \pm 0,09	2,93 ^a \pm 0,27	2,14 ^a \pm 0,27
Hexânico	0,24 ^d \pm 0,05	0,18 ^d \pm 0,08	0,32 ^d \pm 0,09	0,22 ^b \pm 0,14
Etanólico	0,75 ^c \pm 0,06	0,38 ^c \pm 0,03	1,19 ^c \pm 0,11	0,57 ^b \pm 0,05
Aquoso	1,31 ^a \pm 0,08	1,09 ^a \pm 0,03	2,16 ^b \pm 0,14	1,78 ^a \pm 0,06

$\mu\text{mol Tx/g}$ - micromol de trolox por grama do extrato; $\mu\text{mol Sf/g}$ - micromol de sulfato ferroso por grama do extrato. Valores expressos em média e desvio padrão. Nas colunas, médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente (Teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Na amêndoa da macaíba as melhores atividades antioxidantes foram 1,09 $\mu\text{mol Tx/g}$ e 2,14 $\mu\text{mol Sf/g}$ e 1,78 $\mu\text{mol Sf/g}$ nos extratos aquoso e metanólico, respectivamente, ou seja, menores capacidades de reduzir o ferro do que o valor apresentado para a avelã, 220 $\mu\text{mol Sf/g}$ no extrato metanólico 80 °C (GHIRARDELLO et al., 2010).

Análises de correlação (R) foram realizadas no conteúdo de fenólicos totais e a capacidade antioxidante, nos ensaios de DPPH, ABTS e FRAP e extratos utilizados nesse trabalho na polpa e amêndoa. Observou-se correlação significativamente positiva entre os fenólicos totais e a capacidade antioxidante nos extratos metanólicos, $R = 0,87-0,99$, corroborando que os compostos fenólicos são as principais substâncias que contribuem para a capacidade antioxidante da macaíba, como constataram outros autores que verificaram significativa correlação positiva entre o conteúdo de fenólicos totais e a atividade antioxidante de frutas, principalmente nos ensaios de DPPH e FRAP (CÂNDIDO; SILVA; AGOSTINI-COSTA, 2015; DENARDIN et al., 2015; LOU; HSU; HO, 2014; SAHREEN; KHAN; KHAN, 2010).

Os extratos etanólicos demonstraram correlação positiva para a atividade antioxidante por FRAP ($R = 0,97$), e negativa para ABTS ($R = -0,98$). Os extratos aquosos mostraram correlação negativa tanto para análise de ABTS ($R = -0,93$) quanto FRAP ($R = -0,79$), sugerindo a existência de compostos com atividade antioxidante que não são fenólicos, contribuindo para a capacidade antioxidante nesses extratos, como já observado

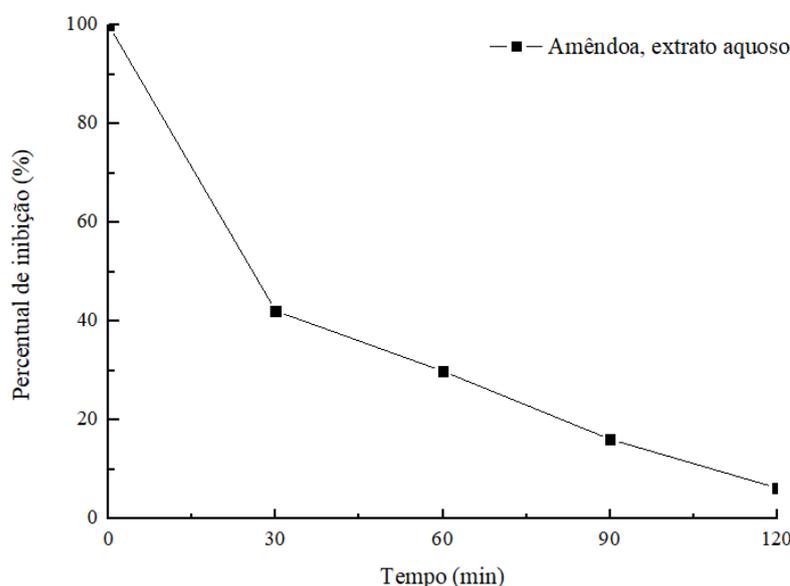
anteriormente, confirmando que um único método não é capaz de mensurar diferentes aspectos do comportamento antioxidante.

Verificou-se que no ensaio da atividade antioxidante pelo método de auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico não houve atividade para a polpa da macaíba em nenhuma das extrações realizadas, enquanto que na amêndoa a extração aquosa mostrou-se efetiva na inibição da oxidação do ácido linoleico, como pode ser observado na Figura 1.

González-Montelongo, Lobo e González (2010) constataram que o melhor extrato de casca de banana foi obtido com a mistura acetona:água. Sahreen, Khan e Khan (2010) destacaram que as extrações mais efetivas foram etílico acetato, metanólico e aquoso, para esse tipo de ensaio de capacidade antioxidante.

A amêndoa da macaíba apresentou um percentual de inibição da oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico variando de 42,11 à 6,25%, maior atividade antioxidante do que o relatado por Borges et al. (2013), para a fração lipídica da polpa de juçara (*Euterpe edulis*), 23,89-6,27%.

Figura 1 - Percentual de inibição da auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico no extrato aquoso da amêndoa



Diferenças observadas nos resultados de antioxidantes desse estudo comparados com outros trabalhos podem ser justificadas pelas diferenças nas matrizes alimentícias, alto conteúdo lipídico, tanto na polpa como na amêndoa de macaíba, diferentes solventes utilizados para extração e composição dos extratos antioxidantes, além das metodologias e condições de extração e dos ensaios de capacidade antioxidante.

Perfil de compostos fenólicos

O perfil de compostos fenólicos da polpa e da amêndoa de macaíba no extrato metanólico, por ter sido considerado o solvente que conseguiu extrair maior quantidade de fenólicos e antioxidantes, estão apresentados na Tabela 4. Foram identificados 9 compostos fenólicos na polpa de macaíba, dentre esses 6 ácidos fenólicos e 3 flavonoides. Na amêndoa foram identificados mais compostos fenólicos, 12 no total, sendo 8 ácidos fenólicos e 4 flavonoides.

Tabela 4 - Identificação e quantificação dos compostos fenólicos por HPLC na polpa e na amêndoa de macaíba no extrato metanólico

Compostos fenólicos	Polpa (mg/100 g)	Amêndoa (mg/100 g)
<i>Ácidos fenólicos</i>		
Ácido 3,4 Dihidroxi benzoico	4,69	0,48
Ácido 4 Hidroxi benzoico	4,69	0,97
Ácido <i>p</i> -Cumarico	0,94	0,97
Ácido Siringico	1,88	0,97
Ácido 2,5 Dihidroxi benzoico	71,29	2,42
Ácido Vanílico	10,32	ND
Ácido <i>Trans</i> cinamico	ND	0,48
Ácido Felurico	ND	0,97
Ácido Cafeico	ND	13,57
<i>Flavonoides</i>		
Quercetina	62,84	ND
Catequina	4,69	1,45
Crisina	5,63	2,91
Miricetina	ND	1,94
Hesperetina	ND	0,48
Total	166,97	27,61

ND - não detectado.

Na polpa os compostos fenólicos majoritários foram o ácido 2,5 dihidroxi benzoico (71,29 mg/100 g) e a quercetina (62,84 mg/100 g). Denardin et al. (2015) identificaram os seguintes compostos majoritários no butiá: derivados do ácido gálico, derivados do ácido

protocatecuico, derivados do ácido cafeico, derivados do ácido clorogênico, isoquercitrina, derivados da quercetina, hiperosídeo e rutina, diferentes dos encontrados neste estudo.

Na amêndoa da macaíba os compostos fenólicos majoritários foram o ácido cafeico (13,57 mg/100 g) e a crisina (2,91 mg/100 g). De acordo com John e Shahidi (2010) destacaram-se na castanha-do-Brasil os compostos: derivados do ácido protocatecuico, catequina, derivados de ácido gálico, ácido vanílico e quercetina, divergente aos encontrados neste estudo.

Diferenças no perfil de compostos fenólicos podem ser justificadas pelas diferentes espécies comparadas, condições de extração e metodologias de análise.

O teor total de fenólicos foi calculado somando as quantidades individuais dos compostos fenólicos identificados, de 166,97 mg/100 g na polpa e de 27,61 mg/100 g na amêndoa, justificando os maiores valores de capacidade antioxidante da polpa em relação a amêndoa. A discrepância entre esse valor e o teor de fenólicos totais determinados pelo método de Folin, de 651 mg EAG/100 g e 405 mg EAG/100 g na polpa e amêndoa, respectivamente, podem ser justificadas pelas peculiaridades inerentes de cada análise, que no caso do método de Folin utiliza como referência a curva padrão do ácido gálico, diferente no método cromatográfico que identifica e quantifica os fenólicos através de curvas de calibração de cada composto isolado e suas respectivas áreas dos picos. Resultados diferentes entre as duas metodologias também foram obtidos por Igual et al. (2012) para damasco secos.

Os compostos fenólicos apresentam diversas atividades biológicas, como por exemplo atividades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias, antitumorais, hepatoprotetoras, cardioprotetoras e neuroprotetoras. Além de estarem envolvidos na neutralização de espécies reativas que atacam moléculas celulares e na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo e nitrosativo, como câncer, doenças cardiovasculares, aterosclerose, distúrbios neurológicos, hipertensão e diabetes mellitus, entre outras (CALEJA et al., 2017).

Ácidos fenólicos e flavonoides têm demonstrado propriedades antifúngicas e antimicrobianas (MARTINS et al., 2015); além disso, compostos como catequinas e quercetinas têm exibido efeitos anticâncer (ALSHATWI, 2010; NAIR et al., 2004). Alguns estudos têm citado o potencial antioxidante de fenólicos, principalmente quercetina e ácido cafeico (SULAIMAN et al., 2011; WOJDYŁO; OSZMIAŃSKI; CZEMERYS, 2007). Além destes, efeitos hepatoprotetores especialmente do ácido cafeico, miricetina e quercetina também têm sido relatados. Todos esses compostos foram identificados na macaíba, corroborando para o potencial funcional desta fruta (PEREIRA et al., 2013).

Nas frutas, os compostos fenólicos são metabolizados em resposta contra a radiação solar intensa, entre outras condições ambientais adversas. Logo, sua composição fenólica depende de fatores ambientais e pode ser modificada por reações oxidativas durante o processamento e armazenamento. Diferenças observadas no presente estudo podem ser justificadas pela rota de formação desses compostos e fatores ambientais a que estão sujeitas cada fruta.

CONCLUSÕES

Tanto a polpa quanto a amêndoa da macaíba podem ser consideradas fontes naturais de compostos fenólicos, além de apresentarem atividade antioxidante, relacionada a estes compostos, que pode ser explorada como fonte potencial de antioxidantes naturais.

Os extratos mais eficientes para obtenção de compostos bioativos, conseqüentemente com maiores capacidades antioxidantes, foram os extratos metanólicos e aquosos, enquanto que o método de capacidade antioxidante mais eficiente foi o DPPH apresentando maiores valores de atividade antioxidante na polpa e amêndoa.

Diversos compostos fenólicos foram identificados na macaíba destacando-se os majoritários: ácidos fenólicos derivados do ácido protocatecuico, *p*-cumarico, siringico, vanílico e flavonoides quercetina, catequina e crisina na polpa e derivados do ácido protocatecuico, *p*-cumarico, siringico, *trans*-cinamico, felurico, cafeico, e flavonoides como catequina, crisina, miricetina e hesperetina na amêndoa, que contribuem para a capacidade antioxidante global da fruta.

REFERÊNCIAS

ALSHATWI, A. A. Catechin hydrate suppresses MCF-7 proliferation through TP53/Caspase-mediated apoptosis. **Journal of Experimental and Clinical Cancer Research**, v. 29, n. 1, p. 167, 2010.

AMARAL, F. P.; BROETTO, F.; BATISTELLA, C. B.; JORGE, S. M. A. Extraction and qualitative characterization of pulp and almonds oils of macauba fruits [*Acrocomia aculeata* (jacq) lodd. ex mart] collected in the region of Botucatu, SP. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 12-20, 2011.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.

BITTENCOURT, M. L. F.; RIBEIRO, P. R.; FRANCO, R. L. P.; HILHORST, H. W. M.; CASTRO, R. D.; FERNANDEZ, L. G. Metabolite profiling, antioxidant and antibacterial activities of Brazilian propolis: Use of correlation and multivariate analyses to identify potential bioactive compounds. **Food Research International**, v. 76, p. 449–457, 2015.

BORGES, G. S. C.; GOSNZAGA, L. V.; JARDINI, F.A.; MANCINI FILHO, J.; MICKE, G.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Protective effect of *Euterpe edulis* M. on Vero cell culture and antioxidant evaluation based on phenolic composition using HPLC-ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 51, n. 1, p. 363–369, 2013.

BRAND-WILLIAMS; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 25–30, 1995.

CALEJA, C.; RIBEIRO, A.; BARREIRO, M. F.; FERREIRA, I. C. F. R. Phenolic compounds as nutraceuticals or functional food ingredients. **Current Pharmaceutical Design**, v. 23, n. 19, p. 2787–2806, 2017.

CÂNDIDO, T. L. N.; SILVA, M. R.; AGOSTINI-COSTA, T. S. Bioactive compounds and antioxidant capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. **Food Chemistry**, v. 177, p. 313–319, 2015.

COIMBRA, M.; JORGE, N. Fatty acids and bioactive compounds of the pulps and kernels of Brazilian palm species, guariroba (*Syagrus oleraces*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 3, p. 679–684, 2012.

DENARDIN, C. C.; HIRSCH, G. E.; ROCHA, R. F.; VIZZOTTO, M.; HENRIQUES, A. T.; MOREIRA, J. C. F.; GUMA, F. T. C. R.; EMANUELLI, T. Antioxidant capacity and bioactive compounds of four Brazilian native fruits. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, n. 3, p. 387–398, 2015.

DO, Q. D.; ANGKAWIJAYA, A. E.; TRAN-NGUYEN, P. L.; HUYNH, L. H.; SOETAREDJO, F. E.; ISMADJI, S.; JU, Y. H. Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 22, n. 3, p. 296–302, 2014.

GHIRARDELLO, D.; PROSPERINI, S.; ZEPPA, G.; GERBI, V. Phenolic acid profile and antioxidant capacity of hazelnut (*Corylus avellana* L.) kernels in different solvent systems. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 49, n. 4, p. 195–205, 2010.

GIOVANNINI, C.; MASELLA, R. Role of polyphenols in cell death control. **Nutritional Neuroscience**, v. 15, n. 3, p. 134–149, 2012.

GONZÁLEZ-MONTELONGO, R.; GLORIA LOBO, M.; GONZÁLEZ, M. Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 119, n. 3, p. 1030–1039, 2010.

IGUAL, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MARTÍN-ESPARZA, M. E.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 284–290, 2012.

JOHN, J. A.; SHAHIDI, F. Phenolic compounds and antioxidant activity of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). **Journal of Functional Foods**, v. 2, n. 3, p. 196–209, 2010.

LEMOS, M. R. B.; SIQUEIRA, E. M. A.; ARRUDA, S. F.; ZAMBIAZI, R. C. The effect of roasting on the phenolic compounds and antioxidant potential of baru nuts [*Dipteryx alata* Vog.]. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 592–597, 2012.

LIMMONGKON, A.; JANHON, P.; AMTHONG, A.; KAWPANUK, M.; NOPPRANG, P.; POOHADSUAN, J.; SOMBOON, T.; SAIJEEN, S.; SURANGKUL, D.; SRIKUMMOOL, M.; BOONSONG, T. Antioxidant activity, total phenolic, and resveratrol content in five cultivars of peanut sprouts. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 4, p. 332–338, 2017.

LOU, S. N.; HSU, Y. S.; HO, C. T. Flavonoid compositions and antioxidant activity of calamondin extracts prepared using different solvents. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 22, n. 3, p. 290–295, 2014.

MAQSOOD, S.; BENJAKUL, S.; SHAHIDI, F. Emerging role of phenolic compounds as natural food additives in fish and fish products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, n. 2, p. 162–179, 2013.

MARTINS, N.; BARROS, L.; HENRIQUES, M.; SILVA, S.; FERREIRA, I. C. F. R. Activity of phenolic compounds from plant origin against *Candida* species. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 648–670, 2015.

NAIR, H. K.; RAO, K. V. K.; AALINKEEL, R.; MAHAJAN, S.; CHAWDA, R.; SCHWARTZ, S. A. Inhibition of prostate cancer cell colony formation by the flavonoid quercetin correlates with modulation of specific regulatory genes. **Clinical and diagnostic laboratory immunology**, v. 11, n. 1, p. 63–9, 2004.

NUNES, J. C.; LAGO, M. G.; CASTELO-BRANCO, V. N.; OLIVEIRA, F. R.; TORRES, A. G.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. **Food Chemistry**, v. 197, p. 881–890, 2016.

OLIVEIRA, D. M.; COSTA, J. P.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Characterization of grugru palm pulp for food applications. **Journal of food science and Engineering**, v. 3, p. 107–112, 2013.

PASSO TSAMO, C. V.; HERENT, M.; TOMEKPE, K.; EMAGA, T. H.; QUETIN-LECLERCQ, J.; ROGEZ, H.; LARONDELLE, Y.; ANDRE, C. Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa* sp.). **Food Chemistry**, v. 167, p. 197–204, 2015.

PASSOS, C. P.; SILVA, R. M.; SILVA, F. A.; COIMBRA, M. A.; SILVA, C. M. Supercritical fluid extraction of grape seed (*Vitis vinifera* L.) oil. Effect of the operating conditions upon oil composition and antioxidant capacity. **Chemical Engineering Journal**, v. 160, n. 2, p. 634–640, 2010.

PEREIRA, C.; CALHELHA, R. C.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Antioxidant properties, anti-hepatocellular carcinoma activity and hepatotoxicity of artichoke, milk thistle

and borututu. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 61–65, 2013.

RAMOS, M. I. L.; RAMOS FILHO, M. M.; HIANE, P. A.; BRAGA NETO, J. A.; SIQUEIRA, E. M. A. Nutritional quality of the pulp of bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 90–94, 2008.

ROCHA, M. S.; FIGUEIREDO, R. W.; ARAÚJO, M. A. M.; ARAÚJO, R. S. R. M. Physical and chemical Characterization and antioxidant activity (in vitro) of fruit of the Piauí Savanna. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 933–941, 2013.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; CALIXTO, F. D. S. Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS+. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado técnico 128**, p. 1–4, 2007.

RUFINO, M. DO S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; CALIXTO, F. D. S.; MANCINI-FLHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

SAHREEN, S.; KHAN, M. R.; KHAN, R. A. Evaluation of antioxidant activities of various solvent extracts of *Carissa opaca* fruits. **Food Chemistry**, v. 122, n. 4, p. 1205–1211, 2010.

SLINKARD, K.; SINGLETON, V. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 28, n. 1, p. 49–55, 1977.

SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. S. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, v. 134, n. 1, p. 381–386, 2012.

SULAIMAN, S. F.; SAJAK, A. A. B.; OOI, K. L.; SUPRIATNO, SEOW, E. M. Effect of solvents in extracting polyphenols and antioxidants of selected raw vegetables. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 4–5, p. 506–515, 2011.

WOJDYŁO, A.; OSZMIAŃSKI, J.; CZEMERYYS, R. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. **Food Chemistry**, v. 105, n. 3, p. 940–949, 2007.

ZIELINSKI, A. A. F.; ÁVILA, S.; ITO, V.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G.; HAMINIUK, C. W. I. The association between chromaticity, phenolics, carotenoids, and in vitro antioxidant activity of frozen fruit pulp in Brazil: an application of chemometrics. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 4, 2014.

EFEITO DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E NO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA POLPA DE MACAÍBA

Resumo: Estudos sobre a caracterização de frutas nativas do território brasileiro são importantes para a quantificação de macro e micronutrientes, além de compostos antioxidantes e seu comportamento quando submetidas aos processos tecnológicos, como a secagem. Esse trabalho avaliou o efeito da temperatura de secagem (50, 60, 70 e 80 °C) nas propriedades físico-químicas e no potencial antioxidante da polpa de macaíba (*Acrocomia intumescens*). O perfil de fenólicos foi determinado por HPLC, e a capacidade antioxidante foi determinada através dos ensaios *in vitro* de DPPH, ABTS, FRAP e auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico. A polpa de macaíba *in natura* é fonte de lipídeos (8,45 g/100 g), amido (21,97 g/100 g), fibra bruta (10,83 g/100 g), minerais (1,51 g/100 g), proteínas (1,99 g/100 g), ácido ascórbico (1,40 mg/100 g), carotenoides (0,83 mg/100 g), flavonoides (6,90 mg/100 g) e fenólicos (8,45 mg GAE/g). As temperaturas de secagem 70 °C e 80 °C apresentaram os menores tempos de secagem, e, por isso, preservaram melhor os nutrientes, como os lipídeos e os compostos bioativos. O ensaio de DPPH foi o método que determinou maior capacidade antioxidante de 54,45 e 79,86 $\mu\text{mol Trolox/g}$, na polpa em pó submetida a secagem a 70 e 80 °C, respectivamente. Os compostos fenólicos majoritários identificados na polpa em pó foram os ácidos 2,5 dihidroxibenzoico (337,17 mg/100 g), vanílico (33,98 mg/100 g) e sirínico (26,14 mg/100 g), além dos flavonoides kampferol (44,43 mg/100 g), quercetina (33,98 mg/100 g) e catequina (20,91 mg/100 g), substâncias essas associadas a diversos efeitos benéficos à saúde. Os resultados revelaram que a polpa de macaíba em pó é uma fonte potencial de nutrientes e de compostos bioativos com capacidade antioxidante natural.

Palavras-chave: *Acrocomia intumescens*. Compostos bioativos. Compostos fenólicos.

Abstract: Studies on the characterization of Brazilian native fruits are important for quantification of macro and micronutrients, as well as antioxidant compounds and their behavior when submitted to technological processes, such as drying. This work evaluated the effect of drying temperature (50, 60, 70 and 80 °C) on the physicochemical properties and the antioxidant potential of the macaíba pulp (*Acrocomia intumescens*). The phenolic profile was determined by HPLC, and the antioxidant capacity was determined by the *in vitro* assays of DPPH, ABTS, FRAP and auto-oxidation of the β -carotene/linoleic acid system. Macaiba *in*

natura pulp is a source of lipids (8.45 g/100 g), starch (21.97 g/100 g), crude fibers (10.83 g/100 g), minerals (1.51 g/100 g), proteins (1.99 g/100 g), ascorbic acid (1.40 mg/100 g), carotenoids (0.83 mg/100 g), flavonoids (6.90 mg/100 g) and phenolics (8.45 mg GAE/g). Drying temperatures of 70 °C and 80 °C showed shorter drying times and therefore better-preserved nutrients such as lipids and bioactive compounds. The DPPH assay was the method that determined higher antioxidant capacity 54.45 and 79.86 $\mu\text{mol Trolox/g}$, in the pulp powder subjected to drying at 70 and 80 °C, respectively. The major phenolic compounds identified in the powder pulp were 2,5-dihydroxybenzoic (337.17 mg/100 g), vanillic (33.98 mg/100 g) and syringe (26.14 mg/100 g). And flavonoids: kampferol (44.43 mg/100 g), quercetin (33.98 mg/100 g) and catechin (20.91 mg/100 g), which are associated with a variety of beneficial effects. The results revealed that macaíba powder is a potential source of nutrients and bioactive compounds with natural antioxidant capacity.

Keywords: *Acrocomia intumescens*. Biactive compounds. Phenolic compounds.

INTRODUÇÃO

A palmeira macaíba é nativa das Américas tropicais tendo sua ocorrência bastante comum no Nordeste do Brasil (AMARAL et al., 2011). O fruto possui grande potencial produtivo, sendo rico em proteínas, lipídeos, carboidratos, fibras, minerais, além de compostos bioativos como carotenoides, fenólicos, flavonoides e ácido ascórbico (RAMOS et al., 2008).

O aumento da demanda dos consumidores por diversidade de produtos alimentícios impulsionou a maior oferta de ingredientes e alimentos em pó (BHANDARI et al., 2013). Frutas em pó podem ser aplicados tanto em alimentos quanto em produtos farmacêuticos para melhorar sua cor e sabor, e ao mesmo tempo fornecer suas propriedades nutricionais e funcionais (JIANG; ZHANG; ADHIKARI, 2013).

A secagem convectiva é o método de conservação, com remoção de água, mais popular, e com eficiência satisfatória. No entanto, esse método é caracterizado por um tempo de duração relativamente longo e altas temperaturas. Como consequência, tem-se a degradação de importantes compostos termo sensíveis e alteração nas características sensoriais da fruta em pó (WOJDYŁO et al., 2016).

O processamento térmico de frutas, geralmente degradam, ou diminuem o teor de compostos antioxidantes, embora, contrariamente, alguns autores relataram um aumento da

capacidade antioxidante (IGUAL et al., 2012; MICHALSKA et al., 2016; PATRAS et al., 2009).

Não foram encontrados relatos científicos que avaliaram a influência das condições de secagem nas propriedades físico-químicas e capacidade antioxidante de macaíbas (*Acrocomia intumescens*). Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo investigar o efeito da temperatura de secagem nas propriedades físico-químicas e no potencial antioxidante das polpas de macaíba em pó.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizados os frutos da macaíba (*Acrocomia intumescens*) no estágio de maturação maduro, provenientes da cidade de Alagoa Nova, Paraíba, 07° 04' 15" S, 35° 45' 30" W. Inicialmente os frutos foram selecionados, lavados e sanitizados, as cascas foram quebradas e retiradas manualmente, procedeu-se o despulpamento em despulpadeira e homogeneização em liquidificador da polpa da fruta com incorporação de água até teor de sólidos solúveis totais de 7 °Brix para a completa homogeneização da matéria-prima. Por fim, foi acondicionada em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenada em freezer (-18 °C ± 1 °C) até a realização dos experimentos.

Reagentes

Para a execução das análises de atividade antioxidante foram utilizados os reagentes (±) 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico (Trolox), ácido linoleico, Tween 40, 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH), 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina)-6-ácido sulfônico (ABTS), 2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ), reagente de Folin-Ciocalteu adquiridos da marca Sigma-Aldrich®.

Os reagentes utilizados na extração de antioxidantes e perfil de fenólicos em HPLC foram metanol, etanol, hexano foram adquiridos das marcas Sigma-Aldrich® e Merck®. O metanol e acetonitrila grau HPLC adquiridos da J. T. Baker®.

Para análise cromatográfica dos compostos fenólicos foram usados os padrões de ácidos fenólicos obtidos da SigmaAldrich®: ácido 3,4 dihidroxibenzóico (protocatequímico), 4 hidroxibenzoico, salicílico, siríngico, ácido 2,5 dihidroxibenzóico (gentísico), vanílico, elágico, *p*-cumárico, sinápico, *trans*-cinâmico, caféico e ferúlico e flavonoides: rutina, miricetina, quercetina, naringina, kaempferol, catequina, hesperetina, crisina.

Caracterização física, físico-química e química da polpa de macaíba

A polpa de macaíba foi submetida à determinação do pH em pHmetro digital; a acidez total titulável foi determinada por titulometria com solução de hidróxido de sódio à 0,1 M, com os resultados expressos em % de ácido cítrico. Foram realizadas ainda, análises de teor de água/sólidos totais, açúcares totais, lipídeos, proteínas, resíduo mineral fixo, amido e fibra bruta (AOAC, 2012).

Foram determinados os compostos bioativos: ácido ascórbico (STROHECKER; HENNING, 1967); carotenoides (HIGBY, 1962); flavonoides amarelos (FRANCIS, 1982) e fenólicos totais (SLINKARD; SINGLETON, 1977).

Para a determinação da cor utilizou-se o espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus modelo 4500 L. A atividade de água foi determinada a 25 °C utilizando-se o higrômetro Aqualab modelo 3TE da Decagon Devices. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Os minerais (ferro, fósforo, cálcio, sódio, potássio, magnésio e cobre) foram quantificados por Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (FRX - Shimadzu modelo EDX-720) a partir do resíduo mineral fixo obtido. A amostra foi colocada em uma cubeta coberta por um filme de polipropileno de 5 µm de espessura. A energia de excitação utilizada foi de 15 a 50 keV e detector operando a -176 °C.

Condições de secagem

A polpa foi submetida à secagem convectiva em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C até o equilíbrio higroscópico, que foi atingido nos tempos de secagem de 910 min, 760 min, 520 min e 430 min, respectivamente, com espessura da camada de 0,5 cm e velocidade do ar de 0,55 m/s, em bandejas circulares (25 cm de diâmetro) de aço inoxidável. As amostras secas foram removidas das bandejas com espátula de aço inoxidável e trituradas em processador para obtenção do pó.

Rendimento

O rendimento, em porcentagem, foi determinado pela razão entre a massa do produto em pó e a massa da polpa de macaíba.

Caracterização física e físico-química da macaíba em pó

Os pós de macaíba, obtidos nas diferentes temperaturas de secagem, foram avaliados quanto aos parâmetros: teor de água/sólidos totais, lipídeos, índice de peróxido, proteínas, acidez total titulável, pH (AOAC, 2012); massa específica (em picnômetro), cor utilizando-se o espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus modelo 4500 L, atividade de água a 25 °C utilizando-se o higrômetro Aqualab modelo 3TE da Decagon Devices; ácido ascórbico (STROHECKER; HENNING, 1967); carotenoides (HIGBY, 1962); e flavonoides (FRANCIS, 1982).

Análises microbiológicas

As amostras de polpa de macaíba *in natura* e em pó foram avaliadas quanto as suas qualidades microbiológicas. Os parâmetros de avaliação da qualidade microbiológica seguiram recomendação da Instrução Normativa, nº 01 de 07 de janeiro de 2000 e Resolução RDC nº 12 de 02 de Janeiro de 2001, para polpas de frutas *in natura* e em pó, respectivamente, que são: coliformes termotolerantes, bolores e leveduras e *Salmonella* sp. (BRASIL, 2000; 2001). As análises foram realizadas seguindo as metodologias descritas pela American Public Health Association e Food and Drug Administration (APHA, 2001; FDA, 2007).

Potencial antioxidante dos pós de macaíba

Obtenção dos extratos antioxidantes

Amostras de polpa em pó (5 g) foram misturadas com o solvente metanol (40 mL) e em seguida sonicadas em banho de gelo (Unique, modelo USC-1400A) por 20 min. A mistura foi agitada por três horas a 25 °C, seguindo-se com a centrifugação do extrato à 8000 rpm por 10 minutos e a recuperação do sobrenadante. O processo de extração foi repetido e os dois sobrenadantes foram homogeneizados.

O extrato metanólico foi seco em estufa com circulação forçada de ar (Solab, modelo SL102) a 35 °C, e, em seguida armazenado ao abrigo da luz, à temperatura ambiente até o momento de sua utilização. Posteriormente, foi diluído com água destilada (10 mg/mL) e

armazenado em frasco âmbar, sob refrigeração antes das análises de capacidade antioxidante. Todo o procedimento de extração foi executado em iluminação de 4,8 lux.

Determinação dos compostos fenólicos totais

Os teores dos compostos fenólicos extraíveis totais foram determinados pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (SLINKARD; SINGLETON, 1977).

Determinação da capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante foi determinada por quatro ensaios distintos, atividade sequestrante do radical livre DPPH, atividade sequestrante do radical livre ABTS, poder antioxidante de redução do ferro (FRAP) e auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico.

Atividade sequestrante do radical livre DPPH

A metodologia de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), consiste na capacidade que os antioxidantes presentes nas amostras possuem de sequestrar o radical estável DPPH•. A partir de triagem preliminar, a solução de DPPH• (23,6 $\mu\text{g/mL}$ em EtOH) foi adicionada às amostras dos extratos, obtendo-se uma concentração final de 150 $\mu\text{g/mL}$. Em triplicata, alíquotas do extrato (90 μL) em etanol (210 μL) e solução de DPPH• (23,6 $\mu\text{g/mL}$ em EtOH, 2.700 μL) foram misturadas e após 30 minutos foi efetuada a leitura a 517 nm, em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S). O Trolox (0,25-10 $\mu\text{g/mL}$) foi utilizado como padrão para traçar as curvas de calibração ($R^2 = 0,9999$), e o etanol como branco. Os resultados da capacidade antioxidante foram expressos em μmol Trolox/g de amostra (capacidade antioxidante equivalente ao Trolox).

Atividade sequestrante do radical livre ABTS

A capacidade antioxidante pelo método ABTS•+ (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) foi determinada conforme a metodologia descrita por Rufino et al. (2007). O radical ABTS foi obtido pela reação de solução ABTS•+ 7 mM (5 mL) com solução de persulfato de potássio 140 mM (88 μL), mantidos a temperatura ambiente por 16 h. Após esse

período, o radical foi diluído em etanol até a obtenção do valor de absorvância de 0,705 a 734 nm. A partir do extrato (30 μL) foi adicionado o radical ABTS (3,0 mL), e a leitura foi feita após 6 minutos da reação a 734 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S), e o etanol foi utilizado como branco. O Trolox (0,25-10 $\mu\text{g}/\text{mL}$) foi utilizado como padrão para traçar as curvas de calibração ($R^2 = 0,9988$) e os resultados expressos em μmol Trolox/g de extrato.

Poder antioxidante de redução do ferro

A capacidade antioxidante dos extratos dos pós de macaíba foi estimada pelo ensaio do FRAP (Poder antioxidante de redução do ferro), que é baseado na capacidade de um antioxidante em reduzir o Fe^{3+} para Fe^{2+} , seguindo a metodologia descrita por Benzie e Strain (1996). A solução do reagente FRAP foi preparada com tampão acetato 0,3 M (25 mL), solução TPTZ 10 mM (2,4,6-tris(2-piridil)-s-triazina) (2,5 mL) e solução aquosa de cloreto férrico 20 mM (2,5 mL).

Ao abrigo da luz, foi adicionado o extrato em tubos (90 μL), água destilada (270 μL), seguido de reagente FRAP (2,7 mL); após homogeneização os tubos foram mantidos em banho-maria (37 °C). Após 30 min da mistura, as leituras da absorvância foram realizadas a 595 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S) e o reagente FRAP foi usado como branco. Foram traçadas dois tipos de curvas-padrão utilizando o Trolox (0,5-10 $\mu\text{g}/\text{mL}$) e o Sulfato Ferroso (2,5-10 $\mu\text{g}/\text{mL}$) ($R^2 = 0,9918-0,9985$) e os resultados expressos em μmol Trolox/g de extrato e μmol Sulfato Ferroso/g de amostra, respectivamente.

Auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico

A capacidade antioxidante pelo sistema de β -caroteno/ácido linoleico dos extratos foi determinada conforme método descrito por Rufino et al. (2010), que consiste na oxidação do β -caroteno induzida pelos produtos de degradação oxidativa do ácido linoleico. A solução sistema β -caroteno/ácido linoleico foi preparada adicionando ácido linoleico (40 μL), Tween 40 (530 μL), solução β -caroteno (50 μL) e clorofórmio (1 mL). Em seguida, o clorofórmio foi evaporado com auxílio do oxigenador, e em seguida foi adicionada água tratada com oxigênio até uma absorvância entre 0,6 e 0,7 nm a 470 nm. O extrato (0,4 mL) foi adicionado à solução sistema de β -caroteno/ácido linoleico (5 mL), sendo a mistura mantida em banho-maria a 40

°C. Após 2 min foi realizada a leitura inicial na absorvância de 470 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S) e depois em intervalos de 30 min até 120 min. A solução de Trolox (200 µg/mL) foi utilizada como controle negativo e a água como branco. Os resultados foram expressos como percentagens de inibição, Equação 1:

$$\% \text{ Inibição} = 100 - \frac{[(A_i - A_f) \times 100]}{C_i - C_f} \quad (1)$$

Em que: A_i - absorvância inicial da amostra; A_f - absorvância final da amostra; C_i - absorvância inicial do controle negativo; e C_f - absorvância final do controle negativo.

Identificação e quantificação dos compostos fenólicos na macaíba em pó

As análises cromatográficas foram realizadas em um cromatógrafo líquido de alto desempenho (HPLC) Shimadzu (Kyoto, Japão), equipado com um injetor automático Rheodyne 7125i e um detector UV/Vis. Foi utilizada uma coluna Shimadzu LC-18 (25 cm × 4,6 mm, 5 µm particle size, da Supelco, Bellefonte, PA) e uma pré-coluna C18 ODS Shimadzu. Os extratos metanólicos dos pós da macaíba foram eluídos com um sistema gradiente que consiste em solvente A (2% ácido acético, v/v) e solvente B (acetonitrila:metanol, 2:1, v/v), utilizados como fases móveis, com um fluxo de 1 mL/min, temperatura da coluna 25 °C e o volume de injeção de 20 µL. O sistema de gradiente iniciou-se a partir de 90% A a 0 min, 88% A em 3 min, 85% A em 6 min, 82% A em 10 min, 80% A em 12 min, 70% A em 15 min, 65% A em 20 min, 60% A em 25 min, 50% A em 30-40 min, 75% A em 42 min e 90% A em 44 min, e solvente B na proporção necessária para completar 100%. A corrida cromatográfica total foi de 50 min. Os picos dos compostos fenólicos foram monitorizados a 280 nm. O software LabSolutions (Shimadzu) foi usado para controlar o sistema de LC-UV e de processamento de dados.

Os compostos fenólicos foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção com os padrões de ácidos fenólicos e flavonoides, sendo quantificados em concentrações de mg/mL a partir de curvas de calibração e os cromatogramas foram registrados no software LabSolutions Data System.

Análise estatística

Os dados obtidos para as análises físico-químicas e de antioxidantes foram submetidos a tratamento estatístico utilizando o programa Origin 8. Os dados foram submetidos a análise

de variância (ANOVA) e as diferenças dos parâmetros analisados através teste de Tukey a 5% de significância. A homocedasticidade das variâncias de todos os parâmetros analisados foi confirmada utilizando o teste de Levene.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados as médias e os desvios padrão dos resultados encontrados para as propriedades físicas e físico-químicas da polpa de macaíba *in natura*.

Tabela 1 - Propriedades físicas e físico-químicas da polpa de macaíba *in natura*

Parâmetros	Polpa de macaíba
Acidez (% ácido cítrico)	1,88 ± 0,19
pH	5,49 ± 0,03
Atividade de água (25 °C)	0,970 ± 0,004
Luminosidade (L*)	52,35 ± 0,07
Intensidade de vermelho (+a*)	10,11 ± 0,08
Intensidade de amarelo (+b*)	48,18 ± 0,21
Teor de água (g/100 g)	54,78 ± 0,39
Sólidos totais (g/100 g)	45,22 ± 0,39
Resíduo mineral fixo (g/100 g)	1,51 ± 0,09
Proteínas (g/100 g)	1,99 ± 0,02
Lipídeos (g/100 g)	8,45 ± 0,35
Açúcares totais (g/100 g)	7,44 ± 0,28
Amido (g/100 g)	21,97 ± 0,06
Fibra bruta (g/100 g)	10,83 ± 0,83
Ácido ascórbico (mg/100 g)	1,40 ± 0,10
Carotenoides (mg/100 g)	0,83 ± 0,02
Flavonoides (mg/100 g)	6,90 ± 0,11
Fenólicos totais (mg GAE/g)	6,51 ± 0,35

Os resultados mostraram que a polpa de macaíba é caracterizada por ser não-suculenta, pois possui teor de água baixo (54,78 g/100 g), alta quantidade de lipídeos (8,45 g/100 g), além de ser rica em fibra bruta (10,83 g/100 g), amido (21,97 g/100 g), proteínas (1,99 g/100 g), açúcares (7,44 g/100 g) e resíduo mineral (1,51 g/100 g).

A polpa de macaíba é semelhante a polpa de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), no que se refere ao teor de água, com 46,25 g/100 g estudada por Silva et al. (2018). O alto teor de lipídeos torna a polpa de macaíba susceptível a oxidação e justifica seu potencial de extração para uso nas indústrias de alimentos, farmacêutica e na fabricação de biodiesel. Os resultados das análises físico-químicas possivelmente contribuem para as características sensoriais como, textura mucilaginosa, sabor doce e pouco ácido da fruta.

Ramos et al. (2008) apresentaram valores de composição centesimal para a polpa de macaíba (*A. aculeata*) semelhantes aos valores encontrados nesse trabalho: teor de água 52,99 g/100 g; resíduo mineral fixo 1,51 g/100 g; lipídeos 8,14 g/100 g; proteínas 1,50 g/100 g; açúcares 9,54 g/100 g; fibra 13,76 g/100 g, e menor conteúdo de amido 12,56 g/100 g. Comparando com frutos de outras palmeiras, coco catolé (*Syagrus cearensis*) e licuri (*Syagrus coronata*), a polpa de macaíba apresenta maiores teores de lipídeos do que a polpa dessas frutas, 3,1 g/100 g e 1,5 g/100 g, respectivamente, e menores teores de proteínas (catolé 4,3 g/100 g e licuri 20,6 g/100 g), resultados apresentados por Silva et al. (2015b). Além das discrepâncias naturais entre as espécies, estas diferenças também podem ser atribuídas a safra, estágio de maturação, região de cultivo, entre outros fatores.

Observou-se que o pH da polpa de macaíba é ácido (5,49) e de baixa acidez (1,88% ácido cítrico). Além disso, possui alta atividade de água e luminosidade (L^*) intermediária (52,35), entre o claro e o escuro, enquanto que os parâmetros de cromaticidade (a^* e b^*) apontaram intensidade de vermelho ($+a^*$) com pouca saturação (10,11) e alto grau de saturação para a intensidade de amarelo ($+b^*$, 48,18) coerentes com os resultados encontrados por Oliveira et al. (2013) estudando macaíba (*A. aculeata*).

Esses parâmetros estão associados a alta qualidade sensorial da polpa, cujo sabor é considerado agradável ao paladar, sendo pouco ácido. O primeiro parâmetro avaliado pelo consumidor é a cor do produto, considerada uma característica importante para estimar a qualidade sensorial de um alimento e até mesmo seu grau de frescor, que no caso da polpa de macaíba caracterizou-se por uma coloração amarelo-alaranjado intenso.

A baixa acidez e alta atividade de água encontradas implicou na alta perecibilidade da polpa de macaíba, favorecendo o crescimento de micro-organismos, principalmente fungos, entretanto, não foram observadas colônias de coliformes na contagem de coliformes termotolerantes. Constatou-se também ausência de *Salmonella sp.* em 25 g, como preconiza a legislação (BRASIL, 2000; 2001). Verificou-se a presença de bolores e leveduras, com uma contagem de $5,6 \times 10^4/g$, acima dos limites estipulados pela legislação, de $5 \times 10^3/g$ (BRASIL, 2000), entretanto, levando em consideração a RDC n° 12 de 02 de Janeiro de 2001

não exige a análise de bolores e leveduras (BRASIL, 2001). Esses resultados apontam que as polpas passaram por processos de higienização e sanitização que não foram suficientes para eliminar bolores e leveduras, necessitando de outros processos como pasteurização ou secagem.

A polpa de macaíba apresentou-se como fonte de compostos bioativos como ácido ascórbico (1,40 mg/100 g), carotenoides (0,83 mg/100 g), flavonoides (6,90 mg/100 g) e fenólicos (6,51 mg GAE/g).

O teor de ácido ascórbico de 1,40 mg/100 g foi superior aos encontrados por Denardin et al. (2015) para frutos nativos brasileiros, como o araçá (*Psidium cattleianum*) correspondendo a 0,09 mg/100 g e pitanga laranja (*Eugenia uniflora*) com média de 0,13 mg/100 g, e inferior ao butiá (*Butia eriospatha*), 9,35 mg/100 g e macaíba (*A. aculeata*) 14,7 mg/100 g (MOOZ; CASTELUCCI; SPOTO, 2012).

A polpa de macaíba apresentou concentração de carotenoides de 0,83 mg/100 g, valor próximo ao encontrado por Souza et al. (2012) para a polpa de jenipapo (*Genipa americana*), de 0,93 mg/100 g, superior a polpa de marolo (*Annona crassiflora*) de 0,57 mg/100 g e inferior a polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) de 1,25 mg/100 g. Essas diferenças podem ser explicadas pela variação qualitativa e quantitativa na composição em carotenoides dos alimentos, assim como, pelos fatores: espécie, variedade, estágio de maturação, clima/localização geográfica da produção, estação do ano, parte da planta analisada, condições de plantio, manuseio pós colheita, processamento e condições de estocagem (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

As frutas de palmeiras como buriti (*Mauritia flexuosa*), tucumã (*A. aculeatum*), macaíba (*A. aculeata*), bacuri (*Platonia insignis*) e umari (*Geoffroea spinosa*) são fontes ricas de β -caroteno, apresentando elevada biodisponibilidade destes compostos, graças ao seu alto teor de lipídeos, estimulando assim a absorção intestinal de carotenoides. Os carotenoides encontram-se naturalmente protegidos no tecido vegetal. O processamento dos frutos, como corte e trituração, acarreta a liberação de enzimas que oxidam os carotenoides, assim como a exposição ao oxigênio durante a estocagem, podendo ser a principal causa de perdas e destruição desses compostos, sugerindo que a polpa de macaíba possui quantidade maior de carotenoides quando o fruto está intacto diminuindo a partir do momento da retirada da casca e processamento (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

A polpa de macaíba mostrou-se uma rica fonte de flavonoides amarelos (6,9 mg/100 g). Lima et al. (2013) apresentaram valores próximos ao da pitaita, *Hylocereus costaricensis*, (6,03 mg/100 g), enquanto Silva et al. (2015a), para umbu-cajá (*Spondias* sp.), observaram

valores superiores de 8,10 mg/100 g. Também mostrou-se como fonte de fenólicos totais, apresentando resultado próximo ao do araçá (*Psidium cattleianum*) (6,60 mg GAE/g), o que sugere alto potencial antioxidante (DENARDIN et al., 2015).

O perfil de minerais revelou na composição da polpa da macaíba *in natura* a presença de 14 minerais (Tabela 2), destacando-se os macrominerais potássio (62,51%), cloro (12,54%), cálcio (10,12%), magnésio (6,31%), fósforo (3,06%), e os microminerais ferro (0,85%) e zinco (0,10), podendo a polpa ser considerada fonte desses minerais.

Tabela 2 - Composição mineral (%) da polpa de macaíba *in natura*

Minerais	Teor (%)
K	62,51
Cl	12,54
Ca	10,12
Mg	6,31
P	3,06
S	1,64
Na	1,17
Si	1,08
Fe	0,85
Rb	0,26
Sr	0,14
Al	0,11
Cu	0,11
Zn	0,10

Esses resultados foram semelhantes aos encontrados em trabalhos envolvendo macaíba da espécie *A. aculeata* (MACHADO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2013; RAMOS et al., 2008); e outras espécies do cerrado brasileiro como marolo (*Annona crassiflora*), murici (*Byrsonima crassifolia*), jenipapo (*Genipa americana*), graviola (*Annona muricata*) e maracujá (*Passiflora alata*) (SOUZA et al., 2012). Esses minerais estão associados a diversas funções no corpo humano, envolvendo a saúde de dentes e ossos, sistema imunológico, sistema nervoso, sistema muscular e circulatório, indicando que a ingestão da polpa de macaíba dentro de uma dieta balanceada auxilia na manutenção da saúde (GHARIBZAHEDI; JAFARI, 2017).

Caracterização dos pós de macaíba

Os parâmetros de caracterização física, físico-química e rendimento das polpas de macaíba em pó obtidas nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C estão descritos na Tabela 3. A polpa em pó apresentou alto rendimento (18,12-19,78%), baixo teor de água (4,24-7,56 g/100 g), alto teor de proteínas (3,89-4,04 g/100 g) e lipídeos (21,19-30,88 g/100 g). Santhalakshmy et al. (2015) encontraram menor rendimento do jamelão (*Syzygium cumini*) em pó (8,25%) comparados a este estudo. Song et al. (2018) observaram menor conteúdo de proteínas e lipídeos para abóbora desidratada, 3% e 0,64%, respectivamente.

Tabela 3 - Rendimento e propriedades físicas, físico-químicas da polpa de macaíba em pó

Parâmetros	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
Rendimento (%)	18,49 ^a ± 0,46	19,78 ^a ± 0,30	19,55 ^a ± 1,20	18,12 ^a ± 0,38
Acidez (% ácido cítrico)	11,33 ^b ± 0,54	10,84 ^b ± 0,06	13,71 ^a ± 0,19	13,19 ^a ± 0,64
pH	5,27 ^b ± 0,07	5,38 ^{ab} ± 0,05	5,41 ^a ± 0,04	5,28 ^b ± 0,04
Atividade de água	0,239 ^a ± 0,00	0,198 ^b ± 0,00	0,153 ^c ± 0,00	0,101 ^d ± 0,00
Luminosidade (L*)	48,57 ^d ± 0,21	54,72 ^a ± 0,27	51,48 ^b ± 0,48	49,53 ^c ± 0,22
Vermelho (+a*)	5,67 ^d ± 0,05	6,68 ^c ± 0,12	7,27 ^b ± 0,07	8,93 ^a ± 0,12
Amarelo (+b*)	40,51 ^c ± 0,29	44,78 ^a ± 0,51	41,84 ^b ± 0,55	36,99 ^d ± 0,16
Teor de água (g/100 g)	7,56 ^a ± 0,26	6,16 ^b ± 0,06	5,38 ^c ± 0,18	4,24 ^d ± 0,02
Sólidos totais (g/100 g)	92,44 ^d ± 0,26	93,84 ^c ± 0,06	94,62 ^b ± 0,18	95,76 ^a ± 0,02
Proteínas (g/100 g)	3,89 ^a ± 0,12	4,00 ^a ± 0,12	4,03 ^a ± 0,08	4,04 ^a ± 0,16
Lipídeos (g/100 g)	21,19 ^c ± 0,15	26,81 ^b ± 0,21	30,88 ^a ± 1,17	30,71 ^a ± 0,13
Ácido ascórbico (mg/100 g)	6,46 ^c ± 0,20	6,96 ^c ± 0,54	8,83 ^b ± 0,68	12,68 ^a ± 0,65
Carotenoides (mg/100 g)	1,52 ^c ± 0,11	1,93 ^b ± 0,01	2,53 ^a ± 0,03	1,03 ^d ± 0,09
Flavonoides (mg/100 g)	2,35 ^b ± 0,29	2,15 ^b ± 0,14	4,60 ^a ± 0,09	4,52 ^a ± 0,38
Fenólicos totais (mg GAE/g)	6,34 ^d ± 0,07	7,93 ^c ± 0,13	9,51 ^b ± 0,08	11,37 ^a ± 0,32
Índice de peróxido (meq/kg)	4,06 ^c ± 0,11	5,01 ^b ± 0,04	5,47 ^b ± 0,51	10,44 ^a ± 0,10

Nas linhas, médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente (ANOVA e Teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Os pós de macaíba apresentaram pH ácido (5,27-5,41), elevada acidez (10,84-13,71% ácido cítrico), baixa atividade de água (0,101-0,239), baixo índice de peróxido (4,06-10,44 meq/kg) e coloração próxima a encontrada na polpa *in natura*. Embora tenha alto teor de lipídeos e foi submetido ao tratamento térmico e a exposição ao oxigênio, pode-se considerar um produto estável do ponto de vista microbiológico e bioquímico, pois apresentaram baixa

atividade de água e índice de peróxido. Esses dados foram coerentes com os resultados encontrados por Sousa et al. (2015) em polpa de atemoia (*Annona cherimola* e *A. squamosa*); enquanto que, Coimbra e Jorge (2011) encontraram valores superiores de índice de peróxido para polpa de jerivá (*Syagrus romanzoffian*) que foi de 15,33 meq/kg.

Os valores obtidos de luminosidade mostraram que as temperaturas de secagem intermediárias (60 e 70 °C) apresentaram cor mais clara ($p < 0,05$) que as temperaturas extremas (50 e 80 °C), provavelmente pela longa duração de secagem na temperatura de 50 °C e alta temperatura no segundo caso. O pó submetido à secagem a 80 °C apresentou maior saturação de vermelho comparada aos demais e os pós secos a 60 e 70 °C apresentaram maior saturação de amarelo ($p < 0,05$).

O pó seco a 80 °C obteve o menor ($p < 0,05$) teor de água (4,24 g/100 g), e, conseqüentemente, menor ($p < 0,05$) atividade de água (0,101) em relação aos outros pós, por ter sido a maior temperatura de secagem. Os maiores ($p < 0,05$) valores de lipídeos (30,88 e 30,71 g/100 g) foram observados para os pós secos a 70 °C e 80 °C, respectivamente, justificando o maior índice de peróxido no pó a 80 °C (10,44 meq/kg), demonstrando que em alta temperatura de secagem o pó está mais susceptível a oxidação lipídica.

Os pós são fontes de compostos bioativos, pois apresentaram valores consideráveis de ácido ascórbico (6,46-12,68 mg/100 g), carotenoides (1,03-2,53 mg/100 g), flavonoides (2,15-4,60 mg/100 g) e fenólicos (6,34-11,37 mg GAE/g), embora tenham sido expostos a tratamento térmico.

O conteúdo de ácido ascórbico foi maior com o aumento da temperatura ($p < 0,05$), tendo seu valor máximo de 12,68 mg/100 g para temperatura de secagem de 80 °C; comportamento semelhante foi observado para o teor de fenólicos totais, com valores maiores do que tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) em pó, de 6,55 mg GAE/g (SILVA et al., 2018). No caso dos flavonoides não houve diferença entre as temperaturas de secagem de 70 e 80 °C ($p \geq 0,05$), mas os valores mais altos corresponderam às maiores temperaturas ($p < 0,05$). Sobre os carotenoides, o pó seco a uma temperatura de 70 °C apresentou maior quantidade ($p < 0,05$), o que levou a escolha da temperatura de 70 °C como melhor condição de secagem, visto que consegue conservar uma boa quantidade de compostos bioativos, boas características nutricionais, ótimo rendimento e com curto período de secagem.

Não foram observadas colônias de coliformes na contagem de coliformes termotolerantes na polpa em pó. Constatou-se também ausência de *Salmonella* sp. em 25 g, como preconiza a legislação (BRASIL, 2000; 2001). Verificou-se a presença de bolores e leveduras, com contagem de 4×10^2 /g, entretanto, esses valores são inferiores aos limites

estipulados pela legislação, de 2×10^3 /g para polpa submetida a tratamento térmico (BRASIL, 2000), enquanto a RDC n° 12 de 02 de Janeiro de 2001 não exige a análise de bolores e leveduras para polpa em pó (BRASIL, 2001). Pelos resultados microbiológicos pode-se inferir que o processo de secagem aconteceu a partir de práticas sanitárias satisfatórias, podendo os pós serem consumidos sem trazer risco à saúde.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da capacidade antioxidante da macaíba em pó submetida a diferentes temperaturas de secagens e metodologias, visto que devido às múltiplas características e mecanismos de reação, um único ensaio antioxidante não reflete com precisão todos os antioxidantes em um sistema complexo como uma matriz alimentícia (DENARDIN et al., 2015).

Tabela 4 - Capacidade antioxidante da macaíba em pó em diferentes metodologias e temperaturas de secagem

Capacidade antioxidante	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
DPPH*	41,07 ^c ± 0,46	43,40 ^c ± 0,30	54,45 ^b ± 1,20	79,86 ^a ± 0,38
ABTS*	9,49 ^b ± 0,26	16,36 ^a ± 0,06	12,64 ^a ± 0,18	13,86 ^a ± 0,02
FRAP _(TX) *	0,89 ^b ± 0,10	0,89 ^b ± 0,07	1,27 ^a ± 0,11	1,38 ^a ± 0,03
FRAP _(SF) **	2,76 ^b ± 0,29	2,79 ^b ± 0,22	3,91 ^a ± 0,34	4,26 ^a ± 0,10

Nas linhas, médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente (ANOVA e Teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

* Valores são expressos $\mu\text{mol Trolox/g}$. ** Valores são expressos em $\mu\text{mol Sulfato Ferroso/g}$

O ensaio de DPPH foi o que conseguiu registrar maior (41,07-79,86 $\mu\text{mol Trolox/g}$) capacidade antioxidante das amostras quando comparado aos outros métodos, sendo os valores obtidos maiores do que os observados por Borges et al. (2013) para pó de jussara (*Euterpe edulis*), de 8,36-13,32 $\mu\text{mol Trolox/g}$. O pó submetido a temperatura de secagem de 50 °C apresentou menor ($p < 0,05$) capacidade antioxidante, enquanto que os pós secos nas temperaturas de 70 e 80 °C apresentaram maior ($p < 0,05$) capacidade antioxidante em todos os ensaios, apontando que o uso de maiores temperaturas de secagem conseguem preservar melhor os compostos antioxidantes da polpa de macaíba, provavelmente devido ao menor tempo de secagem, enquanto que menores temperaturas expõem o material a temperaturas de aquecimento por tempos mais prolongados, causando a oxidação dos compostos com atividade antioxidante. Esses resultados sugerem que o tempo de exposição durante a secagem tem influência maior na capacidade antioxidante que a temperatura de secagem, concordando com os resultados de Michalska et al. (2016) na secagem de ameixas (*Euterpe edulis*), que

observaram maiores atividades antioxidantes nas maiores temperaturas de secagem para os ensaios de ABTS e FRAP.

Os pós de macaíba não apresentaram capacidade antioxidante para o ensaio de inibição da auto-oxidação do sistema β -caroteno/ácido linoleico.

Observando o conteúdo de fenólicos totais, ácido ascórbico e flavonoides dos pós secos nas temperaturas 50, 60, 70 e 80 °C e as capacidades antioxidantes nas mesmas condições, nota-se que quanto maior a temperatura de secagem do pó, maior é o teor de fenólicos e capacidade antioxidante, sugerindo que os compostos fenólicos contribuíram para a capacidade antioxidante da macaíba em pó. Alguns estudos apontam relação entre o conteúdo de fenólicos e a capacidade antioxidante (CÂNDIDO; SILVA; AGOSTINI-COSTA, 2015; DENARDIN et al., 2015).

A presença de bioativos, como os compostos fenólicos, é associada a diversos benefícios a saúde, caracterizando os alimentos que os possuem como alimentos funcionais, além de estarem entre os componentes mais importantes que incidem sobre a qualidade do fruto, contribuindo para características sensoriais como cor e sabor (GIOVANNINI; MASELLA, 2012; ZIELINSKI et al., 2014).

A quantificação individual de cada composto fenólico identificado no pó de macaíba obtido por secagem a 70 °C é apresentada na Tabela 5, escolhida como melhor condição de secagem, considerando o teor de carotenoides.

Foram identificados 15 compostos, sendo o ácido 2,5 dihidroxibenzoico o ácido fenólico predominante na macaíba em pó, seguido dos ácidos vanílico, siríngico e ácido 3,4 dihidroxibenzoico. Outros compostos fenólicos, como os flavonoides, presentes em maior quantidade foram o kampferol, quercetina, catequina e crisina.

Estudos têm apontado para o potencial antioxidante de compostos fenólicos como quercetina, kampferol, catequina e ácido *p*-cumárico, pois têm tendência de doar elétrons e por isso, têm a função de estabilizar os produtos alimentícios (DAR et al., 2017; HAMAUZU et al., 2006; SULAIMAN et al., 2011). Assim como, as propriedades antibacterianas e antifúngicas de ácidos fenólicos e flavonoides (DÍAZ-GÓMEZ et al., 2014); a atividade anti-inflamatória da hesperetina (WANG et al., 2016); o efeito protetor contra doenças coronárias de flavonoides, como a catequina e quercetina (AUGER et al., 2004); a atividade anti-câncer de ácidos fenólicos, kampferol, catequina e quercetina (ALSHATWI, 2010; NAIR et al., 2004; PEREIRA et al., 2013); e efeitos hepatoprotetores, especialmente da quercetina (PEREIRA et al., 2013). Todos esses compostos citados foram identificados nesse trabalho na

macaíba em pó, sugerindo o potencial funcional da polpa de macaíba, com base na atividade biológica dos fenólicos que ela contém.

Tabela 5 - Identificação e quantificação dos compostos fenólicos por HPLC na polpa de macaíba submetida a secagem a 70 °C

Compostos fenólicos	Macaíba pó (mg/100 g)
<i>Ácidos fenólicos</i>	
Ácido 3,4 Dihidroxibenzoico	26,14
Ácido 4 Hidroxibenzoico	7,84
Ácido <i>p</i> -Cumarico	2,61
Ácido Salicílico	10,45
Ácido Siringico	26,14
Ácido 2,5 Dihidroxibenzoico	337,17
Ácido Vanílico	33,98
Ácido <i>Trans</i> cinamico	2,61
Ácido Elágico	13,07
<i>Flavonoides</i>	
Quercetina	33,98
Rutina	5,23
Kampferol	44,43
Catequina	20,91
Crisina	20,91
Hesperetina	15,68
Total	601,15

O teor total de fenólicos foi calculado somando as quantidades individuais dos compostos fenólicos identificados (6,01 mg/g). A discrepância entre esse valor e o teor de fenólicos determinados pelo método de Folin (9,51 mg GAE/g), podem ser justificadas pelas peculiaridades inerentes de cada análise, que no caso do método de Folin utiliza como referência a curva padrão do ácido gálico, diferente no método cromatográfico que identifica e quantifica os fenólicos através de curvas de calibração de cada composto isolado e suas respectivas áreas dos picos. Resultados diferentes entre as duas metodologias também foram obtidos por Igual et al. (2012) para damascos secos. Reforça-se que a macaíba pode ser considerada como uma fruta com alto teor de fenólicos quando comparada com outras frutas, como a goiaba em pó, contendo 0,82 mg/g, por exemplo (NUNES et al., 2016).

CONCLUSÕES

A macaíba, tanto a polpa *in natura* quanto em pó, é fonte de lipídeos, amido, fibra bruta, proteínas e minerais (K, P, Mg, Fe e Zn), além de compostos bioativos como o ácido ascórbico, carotenoides, flavonoides e fenólicos, associados a efeitos benéficos à saúde, indicativo de que a polpa tem propriedades funcionais, contribuindo para seu poder antioxidante.

A secagem convectiva da polpa de macaíba resultou em pós com bom rendimento, boa qualidade nutricional e alta capacidade antioxidante, sofrendo influência da temperatura de secagem. As temperaturas de secagem (70 e 80 °C) resultaram em menor tempo de secagem, por isso, proporcionou melhor preservação dos nutrientes e compostos antioxidantes. A temperatura de 70 °C preservou a maior quantidade de carotenoides, além de apresentar alto rendimento, preservar as qualidades nutricionais e curto tempo de secagem, sendo considerada como a melhor condição de secagem convectiva da polpa de macaíba.

O método que registrou valores máximos de atividade antioxidante na polpa de macaíba em pó foi o DPPH, seguido do ABTS e FRAP. Diversos compostos fenólicos foram identificados como o ácido 2,5 dihidroxibenzoico, o vanílico, o siríngico e o 3,4 dihidroxibenzoico, além dos flavonoides kampferol, quercetina, catequina e crisina, os quais contribuem para a capacidade antioxidante da fruta.

REFERÊNCIAS

AMARAL, F. P.; BROETTO, F.; BATISTELLA, C. B.; JORGE, S. M. A. Extraction and qualitative characterization of pulp and almonds oils of macauba fruits [*Acrocomia aculeata* (jacq) lodd. ex mart] collected in the region of Botucatu, SP. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 12–20, 2011.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 ed. Washington, D C: American Public Health Association, 2001. 676p.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19. ed. Washington DC: Gaithersburg, 2012.

AUGER, C.; AL-AWWADI, N.; BORNET, A.; ROUANET, J. M.; GASC, F.; CROS, G.; TEISSEDRE, P. L. Catechins and procyanidins in Mediterranean diets. **Food Research International**, v. 37, n. 3, p. 233–245, 2004.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of

“antioxidant power”: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70–76, 1996.

BHANDARI, B.; BANSAL, N.; ZHANG, M.; SCHUCK, P. **Handbook of food powders**. 1 ed. Woodhead Publishing Limited, 2015.

BORGES, G. D. S. C.; GOSNZAGA, L. V.; JARDINI, F.A.; MANCINI FILHO, J.; MICKE, G.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Protective effect of *Euterpe edulis* M. on Vero cell culture and antioxidant evaluation based on phenolic composition using HPLC-ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 51, n. 1, p. 363–369, 2013.

BRAND-WILLIAMS; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 25–30, 1995.

BRASIL. Instrução Normativa nº1, 07 de janeiro de 2000. Aprova o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta e suco de fruta. *In:* . **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, , Brasília, Brasil, 2000.

BRASIL. Resolução - RDC Nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, 2001. Disponível em:
<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0018_03_04_2013.html>

CÂNDIDO, T. L. N.; SILVA, M. R.; AGOSTINI-COSTA, T. S. Bioactive compounds and antioxidant capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. **Food Chemistry**, v. 177, p. 313–319, 2015.

COIMBRA, M.; JORGE, N. Characterization of the pulp and kernel oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 8, p. C1156-61, 2011.

DAR, R. A.; BRAHMAN, P. K.; KHURANA, N.; WAGAY, J. A.; LONE, Z. A.; GANAIE, M. A.; PITRE, K. S. Evaluation of antioxidant activity of crocin, podophyllotoxin and kaempferol by chemical, biochemical and electrochemical assays. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, p. S1119–S1128, 2017.

DENARDIN, C. C.; HIRSCH, G. E.; ROCHA, R. F.; VIZZOTTO, M.; HENRIQUES, A. T.; MOREIRA, J. C. F.; GUMA, F. T. C. R.; EMANUELLI, T. Antioxidant capacity and bioactive compounds of four Brazilian native fruits. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, n. 3, p. 387–398, 2015.

DÍAZ-GÓMEZ, R.; TOLEDO-ARAYA, H.; LÓPEZ-SOLÍS, R.; OBREQUE-SLIER, E. Combined effect of gallic acid and catechin against *Escherichia coli*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 2P1, p. 896–900, 2014.

FDA. Food and Drug Administration. **Bacteriological Analytical Manual- BAM**. 2007. Disponível em:

<<http://www.fda.gov/downloads/food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/UCM244774.pdf>> Acesso em: 17 ago. 2016.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. *In*: MARKAKIS, P. (ed.). **Anthocyanins As Food Colors**. New York: Academic Press, p. 181–207, 1982.

GIOVANNINI, C.; MASELLA, R. Role of polyphenols in cell death control. **Nutritional Neuroscience**, v. 15, n. 3, p. 134–149, 2012.

HAMAUZU, Y.; INNO, T.; KUME, C.; IRIE, M.; HIRAMATSU, K. Antioxidant and antiulcerative properties of phenolics from Chinese quince, quince, and apple fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 3, p. 765–772, 2006.

HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. **Journal of Food Science**, v. 27, n. 1, p. 42–49, 1962.

IGUAL, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MARTÍN-ESPARZA, M. E.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 284–290, 2012.

JIANG, H.; ZHANG, M.; ADHIKARI, B. Fruit and vegetable powders. *In*: BHANDARI, B.; BANSAL, N.; Zhang, M.; SCHUCK, P. (Eds.) **Handbook of Food Powders: Processes and Properties**. Woodhead Publishing Limited, p. 532–552, 2013.

LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; COHEN, K. O.; GUIMARÃES, T. G. Physico-chemical characteristics, polyphenols and yellow flavonoids in fruits of commercial and wild pitaya species from the Brazilian Savannas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 565–570, 2013.

MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; LECH, K.; ŁYSIAK, G. P.; FIGIEL, A. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. **Food Chemistry**, v. 207, p. 223–232, 2016.

MOOZ, E. D.; CASTELUCCI, A. C. L.; SPOTO, M. H. F. Potencial tecnológico e alimentício de frutos de macaúba *Acrocomia aculeata* (jacq.) Lodd. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 3, n. 2, p. 86–89, 2012.

NUNES, J. C.; LAGO, M. G.; CASTELO-BRANCO, V. N.; OLIVEIRA, F. R.; TORRES, A. G.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. **Food Chemistry**, v. 197, p. 881–890, 2016.

OLIVEIRA, D. M.; COSTA, J. P.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Characterization of grugru palm pulp for food applications. **Journal of food science and Engineering**, v. 3, p. 107–112, 2013.

PATRAS, A.; TIWARI, B. K.; BRUNTON, N. P.; BUTLER, F. Modelling the effect of different sterilisation treatments on antioxidant activity and colour of carrot slices during storage. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 484–491, 2009.

PEREIRA, C. CALHELHA, R. C.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Antioxidant properties, anti-hepatocellular carcinoma activity and hepatotoxicity of artichoke, milk thistle and borututu. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 61–65, 2013.

RAMOS, M. I. L.; RAMOS FILHO, M. M.; HIANE, P. A.; BRAGA NETO, J. A.; SIQUEIRA, E. M. A. Nutritional quality of the pulp of bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 90–94, 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. Fontes Brasileiras de carotenóides: Tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos. Brasília: MMA/SBF, 2008.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; CALIXTO, F. D. S.; MANCINI-FLHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; CALIXTO, F. D. S. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS+. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado técnico 128**, p. 1–4, 2007.

SANTHALAKSHMY, S.; DON BOSCO, S. J.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37–43, 2015.

SILVA, L. R.; ALVES, R. E.; SILVA, S. M.; NOGUEIRA, D. H. Umbu-cajazeiras physical-chemistry in the southern region of Iguatu, CE. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 9, n. 1, p. 1647–1659, 2015a.

SILVA, R. B.; SILVA-JÚNIOR, E. V.; RODRIGUES, L. C.; ANDRADE, L. H. C.; SILVA, S. I.; HARAND, W.; OLIVEIRA, A. F. M. A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 3, p. 1701–1709, 2015b.

SILVA, R. S.; SANTOS, C. L.; MAR, J. M.; KLUCZKOVSKI, A. M.; FIGUEIREDO, J. A.; BORGES, S. V.; BAKRY, A. M.; SANCHES, E. A.; CAMPELO, P. H. Physicochemical properties of tucumã powders with different carbohydrate biopolymers. **LWT - Food Science and Technology**, v. 94, p. 79–86, 2018.

SLINKARD, K.; SINGLETON, V. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 28, n. 1, p. 49–55, 1977.

SONG, J.; WEI, Q.; WANG, X.; LI, D.; LIU, C.; ZHANG, M.; MENG, L. Degradation of carotenoids in dehydrated pumpkins as affected by different storage conditions. **Food Research International**, v. 107, p. 130–136, 2018.

SOUSA, K. S. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S. Production and characterization of atemoya pulp powder. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 718–728, 2015.

SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. S. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, v. 134, n. 1, p. 381–386, 2012.

STROHECKER, R.; ZARAGOZA, F. M.; HENINING, H. M. Análisis de vitaminas: métodos comprobados. Madrid: **Paz Montalvo**, 428 p., 1967.

SULAIMAN, S. F.; SAJAK, A. A. B.; OOI, K. L.; SUPRIATNO, SEOW, E. M. Effect of solvents in extracting polyphenols and antioxidants of selected raw vegetables. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 4–5, p. 506–515, 2011.

WANG, Q.-Q.; SHI, J.-B.; CHEN, C.; HUANG, C.; TANG, W.-J.; LI, J. Hesperetinderivatives: Synthesis and anti-inflammatory activity. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 26, n. 5, p. 1460–1465, 2016.

WOJDYŁO, A.; OSZMIAŃSKI, J.; CZEMERYYS, R. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. **Food Chemistry**, v. 105, n. 3, p. 940–949, 2007.

ZIELINSKI, A. A. F.; ÁVILA, S.; ITO, V.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G.; HAMINIUK, C. W. I. The association between chromaticity, phenolics, carotenoids, and in vitro antioxidant activity of frozen fruit pulp in Brazil: An application of chemometrics. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 4, 2014.

PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DA MACAÍBA EM PÓ: PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E ESTABILIDADE AO LONGO DO ARMAZENAMENTO

Resumo: A polpa de macaíba (*Acrocomia intumescens*) tem características que a tornam perecível e susceptível a oxidação. A estabilidade ao longo do armazenamento de pó de frutas é uma preocupação importante na indústria. Este estudo teve como objetivo obter a macaíba em pó através da secagem convectiva (70 °C) e caracterizar o pó obtido quanto a parâmetros físicos e químicos (densidades, fator de Hausner, índice de Carr, porosidade, molhabilidade, solubilidade e MEV), além de avaliar as isotermas de adsorção de água (20, 30 e 40 °C) e a estabilidade no armazenamento (25 °C e 35 °C, 90 dias, UR 94%). A macaíba em pó apresentou densidade absoluta de 1,59 g/cm³, boa molhabilidade (0,23 g/min), coesividade e fluidez intermediária (fator de Hausner de 1,37 e índice de Carr de 26,9%), solubilidade de 53,8% e porosidade de 76,1%, além da análise de microscopia eletrônica de varredura revelar a presença de fibras no pó, e aglomerações de formato irregular e porosas, com distribuição não-uniforme. As isotermas de adsorção foram consideradas sigmoidais do tipo II e os dados experimentais foram ajustados a modelos matemáticos (GAB, Oswin, Peleg e Iglesias & Chirife), sendo os de GAB ($R^2 > 0,9914$ e $P < 5,63\%$) e Iglesias e Chirife ($R^2 > 0,9897$ e $P < 6,60\%$) obtiveram os melhores ajustes. Os pós estocados apresentaram alterações ao longo do armazenamento que não comprometeram a qualidade ao final do período avaliado, mostrando diferenças ao longo do armazenamento e entre as temperaturas ($p \leq 0,05$) nos parâmetros de acidez, lipídeos, índice de peróxido, cor e solubilidade. O teor de carotenoides mostrou tendência de diminuição ao longo do armazenamento (3,04-0,32 mg/100 g) e com o aumento da temperatura (1,02 mg/100 g na temperatura de 25 °C e 0,82 mg/100 g a 35 °C). A macaíba em pó possui importantes características físicas e químicas, como boa molhabilidade, coesividade, fluidez e solubilidade intermediária, além de estabilidade ao longo do armazenamento.

Palavras-chave: *Acrocomia intumescens*. Isotermas de adsorção de água. Qualidade do pó.

Abstract: The macaíba pulp (*Acrocomia intumescens*) has characteristics that make it perishable and susceptible to oxidation. Stability over storage of fruit powder is a major concern in the industry. The objective of this study was to obtain macaíba powder by convective drying (70 °C) and characterize the powder obtained for physical and chemical parameters (densities, Hausner factor, Carr index, porosity, wettability, solubility and SEM),

as well as water adsorption isotherms (20, 30 and 40 °C) and storage stability (25 °C and 35 °C, 90 days, 94% RH). Macaíba powder had absolute density of 1.59 g/cm³, good wettability (0.23 g/min), cohesiveness and intermediate fluidity (Hausner factor of 1.37 and Carr index of 26.9%), solubility of 53,8% and porosity of 76.1%, besides the scanning electron microscopy analysis revealed the presence of fibers in the powder, and agglomerations of irregular shape and porous. The adsorption isotherms were considered sigmoidal from type II and the experimental data were fitted to mathematical models (GAB, Oswin, Peleg and Iglesias & Chirife), with GAB ($R^2 > 0.9914$ and $P < 5.63\%$) and Iglesias & Chirife ($R^2 > 0.9897$ and $P < 6.60\%$) had better adjustments. The stored powders showed changes throughout the storage that did not compromise the quality at the end of the period evaluated, showing differences along the storage and between the temperatures ($p \leq 0.05$) in the parameters of acidity, lipids, peroxide index, color and solubility. The carotenoid content showed a decreasing trend along the storage (3.04-0.32 mg/100 g) and the increase in temperature (mean of 1.02 mg/100 g at 25 °C and 0,82 mg/100 g at 35 °C). Macaíba powder has important physical and chemical characteristics, such as good wettability, cohesiveness, fluidity and solubility intermediate, as well as stability throughout storage.

Keywords: *Acrocomia intumescens*. Moisture adsorption isotherms. Powder quality.

INTRODUÇÃO

A palmeira macaíba é nativa das Américas tropicais tendo sua ocorrência bastante comum no Nordeste do Brasil (AMARAL et al., 2011). O fruto possui grande potencial produtivo, sendo rico em proteínas, lipídeos, carboidratos, fibras, minerais, além de compostos bioativos como carotenoides, fenólicos, flavonoides e ácido ascórbico (RAMOS et al., 2008).

O aumento da demanda dos consumidores por diversidade de produtos alimentícios impulsionou a maior oferta de ingredientes e alimentos em pó (BHANDARI et al., 2013). Frutas em pó podem ser aplicados tanto em alimentos quanto em produtos farmacêuticos para melhorar sua cor e sabor, e ao mesmo tempo fornecer suas propriedades nutricionais e funcionais (JIANG; ZHANG; ADHIKARI, 2013).

A secagem convectiva é o método de conservação, com remoção de água, mais popular, simples e de baixo custo, e com eficiência satisfatória, capaz de promover a extensão da vida útil e permitir o armazenamento em temperatura ambiente, suprimindo a demanda fora

da safra e, quando corretamente conduzida, mantém atrativas as características sensoriais e nutricionais (WOJDYŁO et al., 2016). Como a macaíba é uma fruta que apresenta rápida deterioração depois que amadurece e está disponível em curtas épocas do ano e em regiões geograficamente limitadas. Sua exploração pela indústria processadora envolve necessariamente o emprego de técnicas de conservação e que favoreça, preferencialmente, o emprego de embalagens economicamente atrativas.

Frutas em pó costumam ser ricas em açúcares, o que as torna particularmente higroscópicas e sensíveis ao armazenamento, à exposição aos fatores ambientais, como temperatura, umidade, oxigênio, luz e aos fatores intrínsecos, como a atividade de água. Alterações nos alimentos durante o armazenamento podem afetar a qualidade do produto a ponto de tornar prejudicial a sua ingestão, reduzir o valor nutricional e alterar os parâmetros sensoriais, impactando na aceitação pelos consumidores (SHISHIR et al., 2017). Uma linha de estudos é dedicada a observação do efeito de diferentes processamentos e condições de armazenamento nas propriedades físicas e químicas de polpas submetidas a secagem, citando-se como exemplos para frutos os estudos com tamarindo (MUZAFFAR; KUMAR, 2016), tomate (LIU et al., 2010), cacau (PETIT et al., 2017), goiaba rosa (SHISHIR et al., 2017) e jaca (*Artocarpus heterophyllus*) (PUA et al., 2008).

A relação entre a atividade da água (a_w) e o teor de água em temperatura e pressão constantes representa o estado termodinâmico da água no alimento, sendo essa relação representada por uma isoterma de sorção de água. Descreve uma propriedade de estado que possibilita determinar a higroscopicidade dos alimentos, prever sua estabilidade, selecionar ingredientes e materiais de embalagem adequados, sendo de grande interesse industrial, visto que pode fornecer informações sobre a vida útil do produto, etapas do processamento e otimização da secagem e de projetos de equipamentos (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2002; FANG; COMINO; BHANDARI, 2013; SPADA et al., 2012).

As isotermas de sorção são particulares de cada alimento, podendo sofrer influência não apenas da composição, mas também da estrutura da matriz celular e por isso devem ser avaliadas experimentalmente para cada material específico. Assim, este trabalho teve como objetivo produzir a polpa de macaíba em pó a 70 °C, caracterizando com relação aos parâmetros físicos e químicos, avaliar as isotermas de adsorção de água e a estabilidade do produto durante o armazenamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizados os frutos da macaíba (*Acrocomia intumescens*) no estágio de maturação maduro, proveniente da cidade de Alagoa Nova, Paraíba, 07° 04' 15" S, 35° 45' 30" W. Inicialmente os frutos foram selecionados, lavados e sanitizados, as cascas foram quebradas e retiradas manualmente, procedeu-se o despulpamento em despulpadeira (Max Machine®) e homogeneização em liquidificador da polpa da fruta com incorporação de água até teor de sólidos solúveis totais de 7 °Brix para a completa homogeneização da matéria-prima. Por fim, foi acondicionada em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenada em freezer (-18 °C ± 1 °C) até a realização dos experimentos.

Condição de secagem

A polpa foi submetida à secagem convectiva em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 70 °C até o equilíbrio higroscópico, que foi atingido no tempo de secagem de 520 min, com espessura da camada de 0,5 cm e velocidade do ar de 0,55 m/s, em bandejas circulares (25 cm de diâmetro) de aço inoxidável. As amostras secas foram removidas das bandejas com espátula de aço inoxidável e trituradas em processador para obtenção do pó.

Caracterização física da macaíba em pó

Densidades aparente e compactada

A densidade aparente foi determinada, em triplicata, utilizando-se uma massa de pó conhecida a qual foi transferida para uma proveta graduada, na qual o volume foi usado no cálculo da densidade aparente pela relação entre a massa e o volume. A densidade compactada (ρ_{ap}) foi determinada, em triplicata, utilizando a metodologia de Tonon, Brabet e Hubinger (2013) batendo a proveta com a amostra na bancada por 50 vezes de uma altura de 6,5 cm, sendo a densidade calculada pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada na proveta.

Densidade absoluta

A densidade absoluta foi determinada utilizando picnômetro de 25 mL, a partir do deslocamento causado pelo pó de um volume conhecido de hexano. O volume do pó foi determinado pela diferença entre o volume total do picnômetro e o volume de hexano adicionado. A densidade da macaíba em pó foi obtida pela relação entre a massa de pó e o volume de pó.

Fator de Hausner (FH)

O fator de Hausner (Equação 1) consiste na relação entre a densidade compactada e a densidade aparente segundo a metodologia de Hausner (1967).

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_{ap}} \quad (1)$$

Em que: FH - fator de Hausner; ρ_c - densidade compactada (g/cm^3); ρ_{ap} - densidade aparente (g/cm^3)

Índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC)

O índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC) foi determinado por meio da Equação 2, conforme a metodologia de Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014).

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_{ap}}{\rho_c} \times 100 \quad (2)$$

No qual: IC - índice de Carr (%); ρ_c - densidade compactada (g/cm^3); ρ_{ap} - densidade aparente (g/cm^3).

Porosidade

A porosidade foi calculada pela relação entre as densidades aparente e absoluta, de acordo com a Equação 3.

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}}\right) \times 100 \quad (3)$$

Sendo: ε - porosidade (%); ρ_{ap} - densidade aparente (g/cm^3); ρ_{abs} - densidade absoluta (g/cm^3).

Molhabilidade

Para a determinação a molhabilidade foi utilizado a metodologia de Lannes e Medeiros (2003), onde foi pesado cerca de 1,0 g do pó e, sob queda, foi adicionado em um bécker contendo 200 mL de água (25 °C), sem agitação, medindo-se o tempo gasto até que a amostra fosse totalmente imersa.

Solubilidade

O índice de solubilidade foi determinado de acordo com o método descrito por Schoch (1964). Para esta análise foi pesado 1 g do pó em tubos de Falcon, adicionando-se 40 mL de água destilada, seguido de homogeneização da suspensão que foi levada ao banho-maria (70° C/ 30 min). Em seguida a amostra foi centrifugada a 3200 rpm por 15 min. O sobrenadante foi removido e colocado em um becker previamente pesado, levado à estufa a 105 ° C por 24 h, para a determinação da massa do resíduo solúvel, Equação 4.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{massa de pó no sobrenadante}}{\text{massa de pó total}} \times 100 \quad (4)$$

Microscopia Eletrônica de Varredura

A morfologia do pó de macaíba foi analisada empregando-se a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A amostra foi metalizada com uma liga de ouro/paládio e em seguida observada no Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 1430 com EDS, com aumentos de 100 a 500×.

Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água do pó foram determinadas nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, em triplicata, utilizando-se o método estático-indireto, conforme Crapiste e Rotstein (1982). As medidas das atividades de água das amostras em pó foram determinadas por meio do higrômetro Aqualab (3TE - Decagon). O teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca da amostra.

Os modelos matemáticos de GAB (Eq. 5), Oswin (Eq. 6), Peleg (Eq. 7) e Iglesias e Chirife (Eq. 8) foram ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó através de regressão não linear pelo método Quasi-Newton, com auxílio do programa computacional Statistica 7.0. Foram usados para avaliar os modelos os seguintes parâmetros de ajuste o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 9.

$$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (5)$$

$$X_e = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b \quad (6)$$

$$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (7)$$

$$X_e = a + b \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right) \quad (8)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|X_{\text{exp}} - X_{\text{teor}}|}{X_{\text{exp}}} \quad (9)$$

Em que,

X_e – teor de água de equilíbrio, % b.s. (base seca); a_w – atividade de água; X_m – teor de água na monocamada molecular, % b.s.; a, b, C, K, K_1 , K_2 , n_1 , n_2 – constantes de ajuste dos modelos; P - desvio percentual médio (%); X_{exp} - valores obtidos experimentalmente; X_{teor} - valores preditos pelo modelo; n - número de dados experimentais.

Avaliação da estabilidade do pó durante o armazenamento

O armazenamento da macaíba em pó, obtido na condição de secagem de 70 °C foi realizado em um período de 90 dias em câmara tipo BOD nas temperaturas de 25 e 35 °C com umidade relativa de aproximadamente 84%.

As amostras em pó (25 g) foram acondicionadas em embalagens laminadas compostas de uma camada de PET cristal (polietileno de baixa densidade cristal) e outra camada de PET metal (polietileno tereftalato metal) com as dimensões de 12 × 8 cm; três embalagens contendo as amostras foram lacradas com seladora e em seguida colocadas em recipientes de vidro hermético, contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl) correspondendo à umidade relativa de aproximadamente 84%; a seguir, os recipientes foram acondicionados nas câmaras com temperatura controlada. A cada 15 dias foram realizadas análises químicas e físicas nas amostras em pó quanto ao teor de água, pH, acidez total titulável, índice de

peróxido, lipídeos, carotenoides, cor, atividade de água, densidade aparente, densidade compactada e Fator de Hausner.

As seguintes metodologias foram utilizadas para as análises de composição e físico-químicas: teor de água obtido por secagem em estufa a 105 °C; lipídeos pelo método de Blich-Dyer; pH em pHmetro digital; acidez total titulável por titulometria com solução de NaOH 0,1 M (AOAC, 2012); índice de peróxido (AOCS, 1993). Para a determinação da cor as amostras foram submetidas à avaliação utilizando-se o espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus modelo 4500 e os resultados foram lidos na escala em L* a* e b*. Os carotenoides foram determinados pelo método de Higby (1962), utilizando-se o espectrofotômetro. As demais análises foram avaliadas de acordo com as metodologias já reportadas.

Análise estatística

Os dados obtidos para cada análise foram submetidos a tratamento estatístico utilizando o programa Origin 8, utilizando a análise de variância ANOVA, disposto em esquema fatorial 6 × 2 (6 tempos e 2 temperaturas) com três repetições e teste a posteriori de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização física da macaíba em pó

Na Tabela 1 estão apresentadas as propriedades físicas da macaíba em pó. A polpa de macaíba em pó apresentou densidade absoluta de 1,59 g/cm³, densidade aparente de 0,38 g/cm³ e densidade compactada de 0,52 g/cm³. O valor de densidade absoluta foi próxima ao valor encontrado por Michalska et al. (2016) para pó de ameixa (*Prunus domestica*), de 1,46-1,51 g/cm³. O valor de densidade aparente encontrado neste trabalho foi superior ao encontrado por Santhalakshmy et al. (2015) para suco de jamelão em pó (0,24-0,29 g/cm³), o que pode ser justificado pelo maior teor de água da macaíba em pó (5,38 g/100 g) comparada com a do jamelão em pó (3,22-4,18 g/100 g), tendo em vista que a água é consideravelmente mais densa do que os sólidos secos e que ocupa espaços no interior das partículas, resultando em maiores valores de densidade aparente.

Tabela 1 - Propriedades físicas da macaíba em pó

Parâmetros	Macaíba em pó
Densidade absoluta (g/cm ³)	1,60 ± 0,00
Densidade aparente (g/cm ³)	0,38 ± 0,01
Densidade compactada (g/cm ³)	0,52 ± 0,01
Fator de Hausner	1,37 ± 0,05
Índice de Carr (%)	26,95 ± 2,67
Ângulo de repouso (°)	11,90 ± 0,59
Molhabilidade (g/min)	0,23 ± 0,03
Solubilidade (%)	53,81 ± 0,53
Porosidade (%)	76,14 ± 0,51

A densidade compactada obtida nesse estudo, foi mais alta do que a do jamelão em pó (0,38-0,48 g/cm³), pode ser um fator positivo, pois quanto menor a densidade aparente, maior a quantidade de ar ocluso no interior dos pós e, portanto, maior possibilidade de oxidação do produto e menor estabilidade no armazenamento, além do maior volume para embalagem (LEWIS, 1987). Por outro lado, produtos muito compactados apresentam dificuldade para reidratação, sendo um obstáculo para a difusão da água através da estrutura do pó (BOTREL et al., 2016).

A fluidez e a coesividade da macaíba em pó foram determinadas pelo índice de Carr e o Fator de Hausner, respectivamente. São desejáveis baixos valores desses parâmetros para o melhor processamento dos produtos em pó (TONTUL et al., 2018). A macaíba em pó apresentou razoável fluidez (Índice de Carr de 26,95%) e coesividade (Fator de Hausner de 1,37) baseado na classificação de Jinapong, Suphantharika e Jamnong (2008).

A fluidez dos alimentos em pó é prejudicada pela presença de gordura superficial, uma vez que promove a aglomeração das partículas, além da forma irregular, rugosidade superficial e alto teor de lipídeos são responsáveis pela coesão, características estas identificadas na macaíba em pó. Santhalakshmy et al. (2015) encontraram alta coesão (Fator de Hausner de 1,57-1,72) e pobre fluidez (índice de Carr de 36,10-41,58%) para o pó de jamelão (*Syzygium cumini*), enquanto que menores valores foram encontrados neste estudo, mostrando maior qualidade tecnológica da macaíba em comparação ao jamelão.

A molhabilidade é a habilidade de um material em pó de penetrar através de forças capilares (SETH; MISHRA; DEKA, 2017). A macaíba em pó apresentou boa molhabilidade (0,23 g/min), indicando fortes propriedades de reconstituição, próximo aos valores

encontrados para os pós de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) de aproximadamente 0,27 g/min (SILVA et al., 2018).

A solubilidade é um parâmetro importante, especialmente para produtos instantâneos (TONTUL et al., 2018). A macaíba apresentou solubilidade de 53,81%, maior do que para polpa de araticum (*Annona crassiflora*) em pó (29%) (BOTREL et al., 2016).

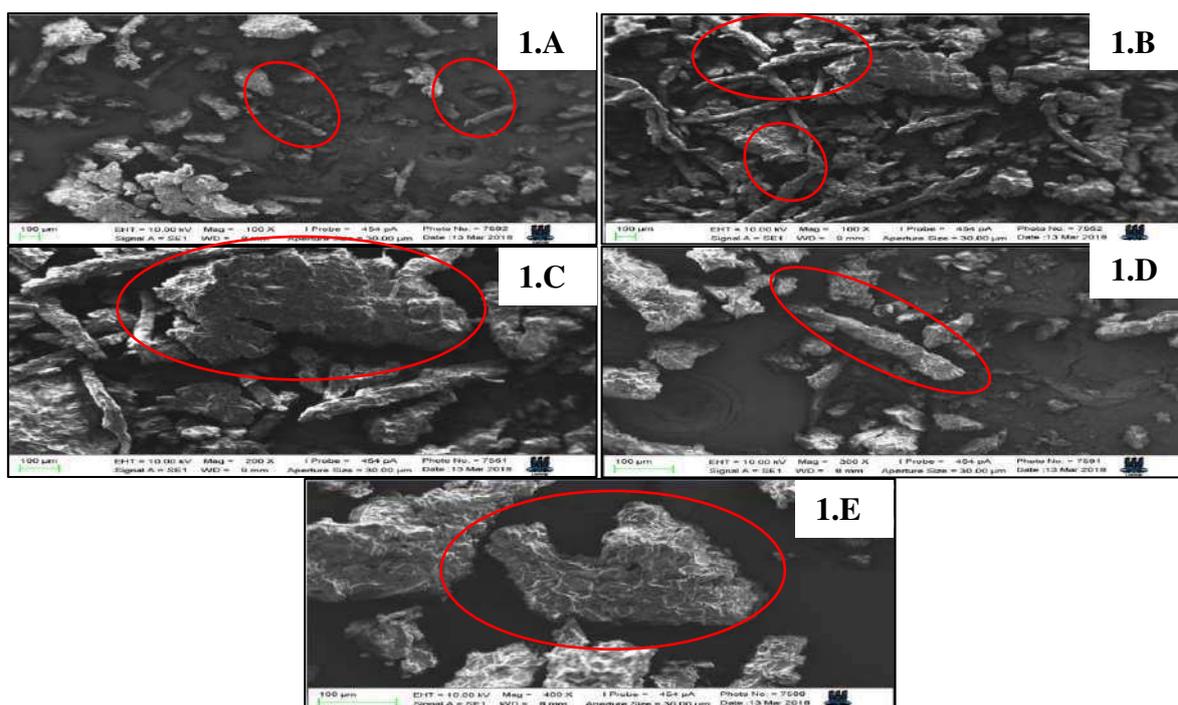
Porosidade maior foi determinada no pó de macaíba (76,14%) comparada ao valor encontrado por Michalska et al. (2016) para pó de ameixa (*Prunus domestica*) de 61-63%, enquanto que Santhalakshmy et al. (2015) encontraram maiores valores de porosidade para o jamelão em pó (90-93%), justificado pelo maior teor de água na macaíba, indicando possivelmente uma maior estabilidade desta, visto que quanto maior a porosidade maior é o número/dimensão dos espaços entre as partículas, conseqüentemente mais oxigênio disponível para as reações de degradação.

Diante desses resultados, pode-se afirmar que a secagem convectiva de polpa de macaíba a 70 °C, em camada de 0,5 cm, é um método efetivo para a obtenção da polpa em pó, sem necessidade de acréscimo de aditivos, com importantes características físicas.

Microscopia Eletrônica de Varredura

As características morfológicas do pó de macaíba seco por secagem convectiva na temperatura de 70 °C são mostradas na Figura 1. É possível observar que o pó formou partículas aglomeradas de formato irregular e porosas, com distribuição não-uniforme (Figura 1.C e 1.E), comportamento típico de materiais amorfos como polpas em pó, como tucumã (*A. aculeatum*) e jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) observadas por outros autores (GURAK et al., 2014; SILVA et al., 2018). As irregularidades na superfície provavelmente são resultantes do processo de raspagem e trituração do pó, processos realizados durante a retirada do pó da bandeja de secagem e homogeneização; também podem ser identificadas fibras (Figura 1.A, 1.B e 1.D), corroborando visualmente a presença dessas estruturas na polpa de macaíba.

Figura 1 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de macaíba em pó



Na secagem convectiva a difusão de água é mais lenta e as partículas estão sujeitas por mais tempo às ações de deformação, encolhimento e colapso, contribuindo para a tendência de aglomeração. A formação de aglomerados contribui para os baixos valores de densidade aparente e para higroscopicidade do pó de macaíba. Diferenças na morfologia de partículas de pó seco podem ocorrer devido a diferenças na temperatura de secagem, tempo de secagem, características físico-química do fruto e moagem do pó.

Isotermas de adsorção de água

Os modelos matemáticos de GAB, Oswin, Iglesias & Chirife e Peleg foram utilizados para descrever o comportamento higroscópico do pó de macaíba. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros dos modelos de isotermas de adsorção ajustados aos dados experimentais de adsorção do pó de macaíba. Os modelos são considerados de bom ajuste, com altos valores de coeficiente de determinação (R^2) e baixos desvios percentuais médios (P).

Os modelos de GAB e Iglesias & Chirife, dentre os modelos testados, descreveram com maior precisão as isotermas de adsorção de água da macaíba em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, com os maiores valores de R^2 , 0,9897-0,9992, e desvios percentuais médios menores do que 10% (1,35-6,60%). No entanto, o modelo de Peleg também apresentou um

ajuste satisfatório para as isotermas em todas as temperaturas e o modelo de Oswin apenas na temperatura de 20 °C, já que as demais apresentaram $P > 10\%$. Resultados similares foram encontrados por Silva et al. (2018), por Muzaffar e Kumar (2016) e por Botrel et al. (2016) estudando isotermas de adsorção de água dos pós de polpa de tucumã, polpa de tamarindo e polpa de araticum, respectivamente.

Tabela 2-Valores dos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados as isotermas de adsorção de água da macaíba em pó

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro			R ²	P (%)	
		X _m	C	K			
GAB	20	7,60	8,36	0,9881	0,9914	5,63	
	30	7,41	235,04	1,0050	0,9992	2,33	
	40	6,59	15,68	1,0086	0,9988	3,41	
Oswin	Temperatura (°C)	a	b	R ²	P (%)		
	20	12,82	0,75	0,9892	8,20		
	30	13,71	0,78	0,9897	10,96		
	40	10,91	0,85	0,9931	11,80		
Iglesias & Chirife	Temperatura (°C)	a	b	R ²	P (%)		
	20	6,24	6,92	0,9897	6,60		
	30	7,01	7,80	0,9989	2,26		
	40	4,67	7,38	0,9989	1,35		
Peleg	Temperatura (°C)	k ₁	n ₁	k ₂	n ₂	R ²	P (%)
	20	22,61	0,81	112,03	8,34	0,9903	7,35
	30	34,01	1,06	190,88	13,28	0,9968	5,48
	40	150,53	10,32	23,74	0,88	0,9964	6,42

X_m – teor de água na monocamada molecular, %; a, b, C, K, k₁, k₂, n₁, n₂ – constantes de ajuste dos modelos.

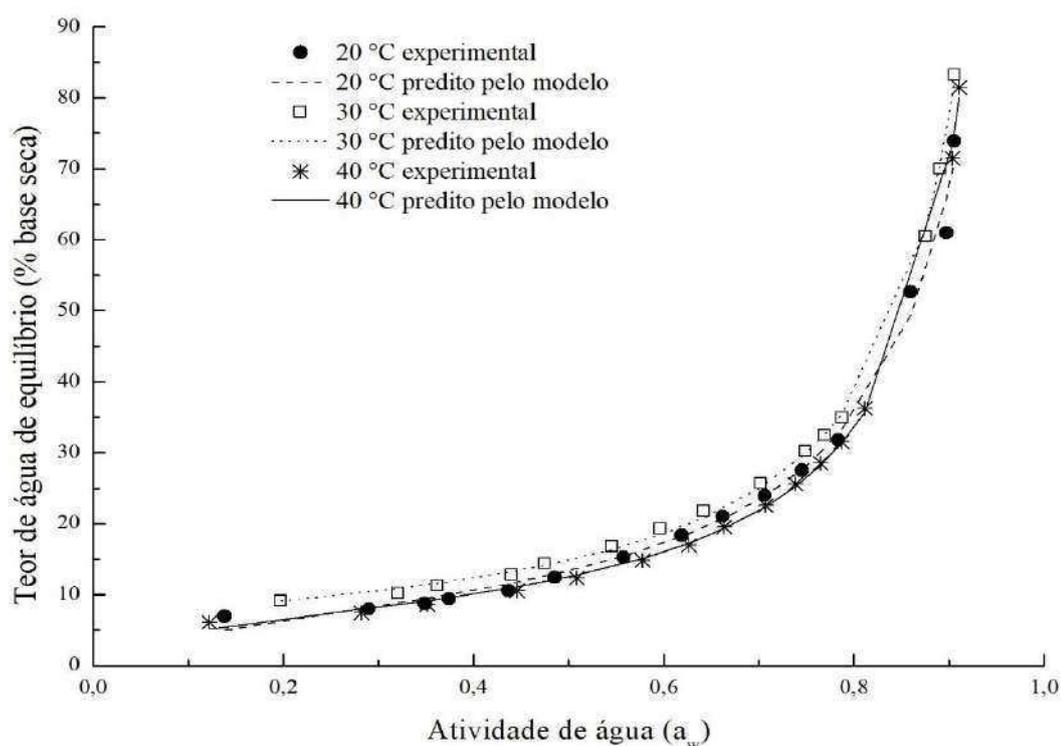
O modelo GAB é baseado no conceito de umidade na monocamada e fornece o valor do teor de água na monocamada do material (X_m), considerado como o teor de água seguro para alimentos secos durante a conservação; tem a vantagem de ser um modelo simples, onde seus parâmetros têm significado físico, e amplamente utilizado para descrever o comportamento de sorção de alimentos ($a_w < 0,9$) (ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011; GOULA et al., 2008).

O teor de água na monocamada do pó de macaíba diminuiu com o aumento da temperatura, coerente com Botrel et al. (2016) e com Muzaffar e Kumar (2016). Por outro

lado, os valores do parâmetro C não apresentaram tendência definida. Este parâmetro está relacionado com a força de ligação das moléculas de água, quanto maior seu valor, mais fortes são as ligações entre as moléculas de água na monocamada. O parâmetro K teve tendência de aumento com o aumento da temperatura, mantendo-se próximo a 1. As isotermas da macaíba em pó podem ser classificadas como tipo II por apresentarem $0 < K \leq 1$ e $C > 2$ (BLAHOVEC, 2004).

A Figura 2 mostra os valores experimentais para cada temperatura estudada (20, 30 e 40 °C) e as curvas de isotermas de adsorção de água preditas pelo modelo de GAB, modelo escolhido para representar as isotermas.

Figura 2 - Isotermas de adsorção de água da macaíba em pó em diferentes temperaturas com ajustes com o modelo de GAB



Segundo Lewicki (1997), para a representação de uma isoterma de sorção do tipo sigmoidal, os parâmetros das equações de GAB devem ser $C > 5,67$ e $0 < K < 1$, e o mesmo foi observado pelos parâmetros de GAB para a macaíba em pó e confirmado pelas curvas. As isotermas mostraram que quanto maior o teor de água de equilíbrio maior a atividade de água a uma temperatura constante, comportamento típico de materiais amorfos ricos em compostos hidrofílicos. Todos os ensaios apresentaram baixos valores de adsorção de água até uma

atividade de água inferior a 0,6, e após esse valor a curva aponta para maiores ganhos de teor de água. Além disso, os ensaios descrevem comportamento semelhante para todas as condições, no entanto, na temperatura de 30 °C o pó de macaíba apresentou comportamento mais higroscópico, apresentando maior teor de água do que os demais.

O estudo do efeito da temperatura na isoterma de adsorção é de grande importância, pois os alimentos são expostos a variações de temperaturas durante o transporte e armazenamento, e a temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio dinâmico entre o vapor e a fase adsorvida (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2004).

Estabilidade durante o armazenamento do pó

Durante o armazenamento a macaíba em pó está sujeita a alterações das suas características físico-químicas. Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios das caracterizações físicas e físico-químicas da macaíba em pó durante 90 dias de armazenamento. Os parâmetros que não têm estatística significam que não foi aplicado o teste de comparação de médias porque o F de interação não foi significativo.

Observando os resultados é possível verificar, de modo geral, a macaíba em pó pode ser considerada um produto estável durante os 90 dias, pois sofreu poucas variações ao longo do tempo e entre as temperaturas de armazenamento. Apenas os parâmetros de acidez, lipídeos, índice de peróxido, cor e solubilidade apresentaram comportamento variável, mesmo assim mostraram valores finais que não comprometeram a qualidade física do pó.

O teor de água não sofreu variações ($p \geq 0,05$) ao longo do armazenamento mesmo sob elevada umidade relativa do ar, indicando que a embalagem laminada conservou o teor de água do pó, impedindo que a umidade externa ultrapassasse a barreira constituída pela embalagem, entretanto, com relação as temperaturas de armazenamento em 35 °C o pó apresentou maior ($p < 0,05$) teor de água (7,26 a 25 °C e 7,66 a 35 °C). A atividade de água nas duas condições de armazenamento apresentou tendência de aumento com o tempo, sendo a temperatura de 35 °C a que mostrou maiores valores, o que pode ser justificado por não estarem embaladas sob vácuo, o que pode ter causado absorção da umidade do ar residual presente no interior das embalagens. Mesmo assim os valores do teor de água e atividade de água permaneceram baixos no período de armazenamento ($a_w < 0,6$), o que induz a estabilidade microbiológica e oxidativa, fatores fundamentais para a comercialização de alimentos desidratados (SHISHIR et al., 2017).

Tabela 3 - Parâmetros de qualidade avaliados durante o armazenamento do pó de macaíba temperaturas de 25 °C e 35 °C com umidade relativa de 84%

Parâmetro	Temp. (°C)	Tempo (dias)						
		15	30	45	60	75	90	
Teor de água (g/100 g)	25	7,14	6,44	7,37	7,47	7,50	7,65	
	35	6,87	7,89	7,87	7,78	7,67	7,89	
Aw	25	0,218	0,213	0,231	0,253	0,296	0,322	
	35	0,209	0,262	0,289	0,340	0,359	0,359	
pH	25	5,73	5,72	5,66	5,64	5,65	5,75	
	35	5,73	5,66	5,62	5,63	5,52	5,72	
Acidez (% ácido cítrico)	25	12,44 ^{bcA}	12,15 ^{cA}	11,79 ^{cA}	12,64 ^{bcA}	13,07 ^{bA}	16,41 ^{aA}	
	35	10,74 ^{cB}	11,98 ^{bA}	11,90 ^{bA}	11,60 ^{bB}	10,47 ^{cB}	13,40 ^{aB}	
Lipídeos (g/100 g)	25	30,79 ^{aA}	30,94 ^{aA}	28,98 ^{bcA}	28,83 ^{cA}	29,11 ^{bcA}	29,95 ^{abA}	
	35	28,79 ^{aB}	28,66 ^{aB}	27,79 ^{aB}	28,07 ^{aB}	27,82 ^{aB}	28,12 ^{aB}	
Índice de peróxido (meq/kg)	25	6,48 ^{aA}	7,04 ^{aA}	5,13 ^{bA}	5,71 ^{abB}	5,99 ^{abB}	6,26 ^{abB}	
	35	5,57 ^{bB}	6,38 ^{bA}	5,65 ^{bA}	6,91 ^{bA}	8,86 ^{aA}	9,71 ^{aA}	
Cor	L*	25	58,13 ^{aA}	58,40 ^{aA}	58,16 ^{aA}	58,32 ^{aA}	58,54 ^{aA}	58,64 ^{aA}
		35	58,26 ^{aA}	58,45 ^{aA}	58,25 ^{aA}	57,64 ^{abA}	57,11 ^{bB}	57,13 ^{bB}
	+a*	25	6,73 ^{abA}	6,95 ^{aA}	6,99 ^{aA}	5,88 ^{cB}	6,01 ^{cB}	6,17 ^{bcB}
		35	6,51 ^{dA}	6,86 ^{dA}	6,96 ^{dA}	8,21 ^{cA}	10,95 ^{bA}	15,38 ^{aA}
	+b*	25	44,05 ^{abA}	44,42 ^{aA}	44,81 ^{aA}	43,48 ^{bA}	44,01 ^{abA}	44,18 ^{abA}
		35	40,99 ^{bB}	42,51 ^{aB}	42,70 ^{aB}	41,00 ^{bB}	39,82 ^{cB}	40,23 ^{bcB}
Fator Hausner	25	1,51	1,52	1,31	1,30	1,29	1,27	
	35	1,46	1,45	1,34	1,31	1,25	1,26	
Solubilidade (%)	25	36,95 ^{cB}	42,02 ^{bB}	46,25 ^{aA}	45,33 ^{aA}	46,18 ^{aA}	45,87 ^{aA}	
	35	41,75 ^{cA}	43,06 ^{bcA}	44,84 ^{aB}	43,66 ^{abB}	43,16 ^{bcB}	44,34 ^{abB}	

As médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($p \geq 0,05$). Os parâmetros que não têm médias seguidas de letra significam que não foi aplicado o teste de comparação de médias porque o F de interação não foi significativo.

O pH manteve-se praticamente constante nas condições de armazenamento e ao longo do período armazenado, estando numa faixa de 5,64-5,75 a 25 °C e 5,52-5,73 a 35 °C. Já a acidez mostrou aumento com o tempo de armazenamento ($p \geq 0,05$), variando de 11,79-16,42% em 25 °C e de 10,47-13,40% em 35 °C, comportamento similar ao encontrado para o tomate em pó armazenado nas temperaturas de 25 °C (7,58-8,02%) e 37 °C (7,61-9,18%)

durante 5 meses de armazenamento (LIU et al., 2010). As amostras armazenadas a 25 °C mostraram-se mais ácidas ($p < 0,05$) a partir do 60º dia, com valores na faixa de 12,64-16,41% e 10,47-13,40% em 35 °C, sugerindo que aconteceram reações químicas entre os constituintes, resultando em ácidos.

O teor de lipídeos se manteve constante ao longo do armazenamento a 35 °C, enquanto a 25 °C houve variação, estando na faixa de 28,83-30,94 g/100 g, sendo superiores ($p < 0,05$) aos do pó armazenado a 35 °C (27,79-28,79 g/100 g). Os menores valores de lipídeos no pó armazenado a 35 °C. Tal alteração pode ser, possivelmente, pela ação do calor que proporcionou reações de degradação oxidativas dos lipídeos, que produzem radicais livres e peróxido de hidrogênio, podendo ser confirmado pelo maior índice de peróxido do pó armazenado nesta temperatura principalmente a partir de 60 dias (5,57-9,71 meq/kg). O índice de peróxido aumentou ($p < 0,05$) com o tempo na temperatura de 35 °C, especialmente após o 60º dia, com os maiores valores no pó armazenado a 35 °C, enquanto a 25 °C o índice de peróxido apresentou comportamento variável ao longo do tempo, mantendo-se na faixa de 5,13-7,04 meq/kg, mostrando que a temperatura influenciou os processos de rancidez da macaíba em pó, sendo os processos oxidativos mais acelerados em 35 °C.

A cor é um importante parâmetro de qualidade, sendo uma das primeiras características identificadas pelo consumidor. Observando o parâmetro de luminosidade (L^*) percebeu-se que na temperatura de 25 °C não houveram mudanças no armazenamento ($p \geq 0,05$), sendo mais claro a partir do 75º dia em comparação com o armazenamento a 35 °C. Já na temperatura de 35 °C observou-se diminuição ($p < 0,05$) da luminosidade da macaíba em pó a partir do 60º dia, que aponta para o escurecimento do pó caracterizando a ocorrência de reação de escurecimento não-enzimática durante o armazenamento, concordante com Liu et al. (2010), Muzaffar e Kumar (2016), bem como Pua et al. (2008). Mudanças na intensidade de vermelho ($+a^*$) foram percebidas a partir do 60º dia de armazenamento no pó armazenado na maior temperatura, sendo as com coloração de vermelho mais acentuada. Maiores valores de intensidade de amarelo ($+b^*$) foram observados para o pó armazenado a 25 °C, sem tendência definida durante o período de armazenamento. Muzaffar e Kumar (2016) também verificaram que o período de armazenamento afetou a cor da polpa de tamarindo em pó, em função do tipo de embalagem e das condições de armazenamento (temperatura, umidade relativa, luz e oxigênio), e que essa pequena variação na cor pode ser devida à baixa permeabilidade ao vapor d'água das embalagens utilizadas.

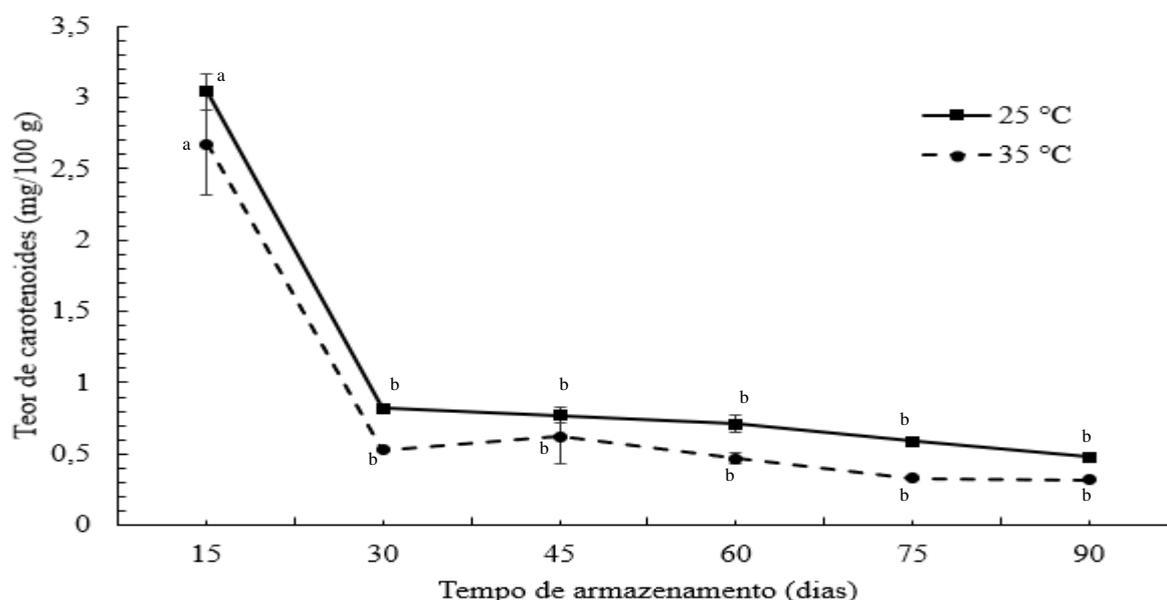
O fator de Hausner mostrou tendência de diminuição durante o armazenamento com valores de 1,51 a 1,27 em 25 °C e de 1,46 a 1,26 em 35 °C, consequência da diminuição da

densidade compactada e aumento da densidade aparente ao longo dos 90 dias, concordante com Chauhan e Patil (2013), podendo ser atribuído ao aumento do teor de água que incrementa a coesão entre as partículas do pó (MUZAFFAR; KUMAR, 2016). Esse fator fornece o índice de fluidez do pó, e no caso da macaíba em pó este tem fluidez pobre no início do armazenamento e fluidez razoável ao final do período estudado (JINAPONG; SUPHANTHARIKA; JAMNONG, 2008).

A solubilidade do pó apresentou aumento ($p < 0,05$) com o tempo de armazenamento de 36,95% a 46,18% em 25 °C e de 41,75% a 44,84% em 35 °C, sendo os pós mais solúveis aqueles armazenados a 25 °C, podendo ser atribuído à formação de compostos solúveis em água, repetindo o observado no tomate em pó, que obteve aumento da solubilidade no primeiro mês de armazenamento, de 60,9% para 72,8% em 25 °C (LIU et al., 2010).

A degradação dos carotenoides durante o armazenamento está exposta na Figura 3. Embora não tenha sido observado interação entre os fatores tempo \times temperatura, individualmente os fatores influenciaram o teor de carotenoides ($p < 0,05$). A maior temperatura de armazenamento ($p < 0,05$) afetou o teor de carotenoides, apresentando a menor média levando em consideração apenas essa variável (0,82 mg/100 g) em comparação ao armazenamento a 25 °C (1,07 mg/100 g). Além de apresentar diminuição acentuada nos primeiros 15 dias de armazenamento e manteve-se constante durante o período posterior, sendo observado uma perda de 73% a 25 °C e 80% a 35 °C. Uma das causas pode ser atribuída à presença de atmosfera residual no interior da embalagem, expondo esse composto bioativo ao oxigênio e à consequente degradação oxidativa. São resultados concordantes com Giuffrida et al. (2014) analisando o teor de carotenoides em pó de pimenta vermelha (*Capsicum annuum* sp.) os quais diminuíram de 103,9 $\mu\text{g/g}$ para 20,9 $\mu\text{g/g}$ ao final de 12 meses de armazenamento. Do mesmo modo, Song et al. (2018) estudando a degradação dos carotenoides em abóboras desidratadas em diferentes condições de armazenamento observaram que houve 85,5% de perdas no teor de carotenoides após 210 dias a 25 °C, onde constataram também que os carotenoides sofrem reações de isomeração e auto-oxidação, e que essas degradações são dependentes da temperatura, tempo de armazenamento e presença de oxigênio.

Figura 3 - Estabilidade dos carotenoides da macaíba em pó em diferentes condições de armazenamento, 25 e 35 °C, UR 84%



Não foi aplicado o teste de comparação de médias porque o F de interação não foi significativo a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

A polpa de macaíba submetida a secagem convectiva a 70 °C obteve um pó com importantes características físicas, como boa molhabilidade, coesividade, fluidez e solubilidade intermediárias, com propriedades morfológicas particulares, com partículas aglomeradas, irregulares, porosas, com distribuição não-uniforme e com presença de fibras.

Os modelos matemáticos de GAB ($R^2 > 0,9914$ e $P < 5,63\%$) e Iglesias & Chirife ($R^2 > 0,9897$ e $P < 6,60\%$) proporcionaram bons ajustes aos dados das isotermas de adsorção de água da macaíba em pó, dentre os modelos testados. A temperatura afetou o comportamento de adsorção, com diminuição do teor de água na monocamada com o aumento da temperatura.

O pó de macaíba acondicionado em embalagens de polietileno de baixa densidade laminadas mostrou-se estável, com boa estabilidade durante o armazenamento sofrendo poucas alterações ao longo de 90 dias, nos parâmetros físico-químicos avaliados. A temperatura de 25 °C preservou melhor a qualidade física e físico-química, apresentado menores valores de teor de água, atividade de água e índice de peróxido, e maiores valores de acidez, lipídeos e solubilidade, além de coloração mais clara nos pós.

O teor de carotenoides apresentou degradação sob as condições de armazenamento, período e temperatura estudadas, sendo o parâmetro de maior perda de qualidade da polpa de macaúba em pó, principalmente na temperatura de 35 °C.

REFERÊNCIAS

- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: A Review. **Food and Bioproducts Processing**, v. 80, n. 2, p. 118–128, 2002.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders: Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 297–307, 2004.
- AMARAL, F. P.; BROETTO, F.; BATISTELLA, C. B.; JORGE, S. M. A. Extraction and qualitative characterization of pulp and almonds oils of macaúba fruits [*Acrocomia aculeata* (jacq) lodd. ex mart] collected in the region of Botucatu, SP. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 12–20, 2011.
- ANDRADE P, R. D.; LEMUS M, R.; PÉREZ C, C. E. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. **Vitae**, v. 18, n. 3, p. 325–334, 2011.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19. ed. Washington DC: Gaithersburg, 2012.
- AOCS. Peroxide value acetic acid-chloroform method—AOCS Official Method Cd 8-53. In: **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. (4th ed.). Champaign, IL: AOCS Press, 1993.
- BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354–364, 2014.
- BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489–495, 2004.
- BOTREL, D. A.; RODRIGUES, I. C. B.; SOUZA, H. J. B.; FERNANDES, R. V. B. Application of inulin in thin-layer drying process of araticum (*Annona crassiflora*) pulp. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, p. 32–39, 2016.
- CHAUHAN, A. K.; PATIL, V. Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink. **Powder Technology**, v. 239, p. 86–93, 2013.
- CRAPISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of Sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501–1507, 1982.

- FANG, Z.; COMINO, P. R.; BHANDARI, B. Effect of encapsulation of d-limonene on the moisture adsorption property of β -cyclodextrin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, n. 1, p. 164–169, 2013.
- FITZPATRICK, J. Powder properties in food production systems. *In: Handbook of Food Powders: Processes and Properties*. Cambridge, UK. Woodhead Publishing Limited, p. 285-308, 2013.
- GIUFFRIDA, D.; DUGO, P.; TORRE, G.; BIGNARDI, C.; CAVAZZA, A.; CORRADINI, C.; DUGO, G. Evaluation of carotenoid and capsaicinoid contents in powder of red chili peppers during one year of storage. **Food Research International**, v. 65, p. 163–170, 2014.
- GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 73–83, 2008.
- GURAK, P. D.; DE BONA, G. S.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Jaboticaba pomace powder obtained as a co-product of juice extraction: A comparative study of powder obtained from peel and whole fruit. **Food Research International**, v. 62, p. 786–792, 2014.
- HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metall**, v. 3, p. 7–13, 1967.
- HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. **Journal of Food Science**, v. 27, n. 1, p. 42–49, 1962.
- JIANG, H.; ZHANG, M.; ADHIKARI, B. Fruit and vegetable powders. *In: BHANDARI, B.; BANSAL, N.; Zhang, M.; SCHUCK, P. (Eds.) Handbook of Food Powders: Processes and Properties*. Woodhead Publishing Limited, p. 532–552, 2013.
- JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 2, p. 194–205, 2008.
- LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray dryer. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 39, n. 1, p. 115–123, 2003.
- LEWICKI, P. P. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 32, n. 6, p. 553–557, 1997.
- LEWIS, M. J. **Properties of Foods and Food Processing Systems**. Chichester, UK: Ellis Horwood Ltd., 1987.
- LIU, F.; CAO, X.; WANG, H.; LIAO, X. Changes of tomato powder qualities during storage. **Powder Technology**, v. 204, n. 1, p. 159–166, 2010.
- MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; LECH, K.; ŁYSIAK, G. P.; FIGIEL, A. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. **Food Chemistry**, v. 207, p. 223–232, 2016.

- MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p. 322–327, 2016.
- PETIT, J.; MICHAUX, F.; JACQUOT, C.; CHÁVEZ-MONTES, E.; DUPAS, J.; GIRARD, V.; GIANFRANCESCO, A.; SCHER, J.; GAIANI, C. Storage-induced caking of cocoa powder. **Journal of Food Engineering**, v. 199, p. 42–53, 2017.
- PUA, C. K.; SHEIKH, N.; TAN, C. P.; MIRHOSSEINI, H.; ABDUL RAHMAN, R.; RUSUL, G. Storage stability of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder packaged in aluminium laminated polyethylene and metallized co-extruded biaxially oriented polypropylene during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 4, p. 419–428, 2008.
- QUIRIJNS, E. J.; VAN BOXTTEL, A. J. B.; VAN LOON, W. K. P.; VAN STRATEN, G. Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 11, p. 1805–1814, 2005.
- RAMOS, M. I. L.; RAMOS FILHO, M. M.; HIANE, P. A.; BRAGA NETO, J. A.; SIQUEIRA, E. M. A. Nutritional quality of the pulp of bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 90–94, 2008.
- SANTHALAKSHMY, S.; DON BOSCO, S. J.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37–43, 2015.
- SCHOCH, J. T. Swelling power and solubility of starch. In: **Methods in Carbohydrate Chemistry**. Londres: BeMiller (eds.) Academic Press, 1964. p. 106–108.
- SETH, D.; MISHRA, H. N.; DEKA, S. C. Functional and reconstitution properties of spray-dried sweetened yogurt powder as influenced by processing conditions. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 7, p. 1603–1611, 2017.
- SHISHIR, M. R. I.; TAIP, F. S.; SAIFULLAH, M.; AZIZ, N. A.; TALIB, R. A. Effect of packaging materials and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 12, n. October 2016, p. 83–90, 2017.
- SILVA, R. S.; SANTOS, C. L.; MAR, J. M.; KLUCZKOVSI, A. M.; FIGUEIREDO, J. A.; BORGES, S. V.; BAKRY, A. M.; SANCHES, E. A.; CAMPELO, P. H. Physicochemical properties of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) powders with different carbohydrate biopolymers. **LWT - Food Science and Technology**, v. 94, p. 79–86, 2018.
- SONG, J.; WEI, Q.; WANG, X.; LI, D.; LIU, C.; ZHANG, M.; MENG, L. Degradation of carotenoids in dehydrated pumpkins as affected by different storage conditions. **Food Research International**, v. 107, p. 130–136, 2018.
- SPADA, J. C.; NOREÑA, C. P. Z.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Study on the stability of B-carotene microencapsulated with pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, n. 4, p. 1166–1173, 2012.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização

para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70–76, 2013.

TONTUL, İ.; ERGIN, F.; EROGLU, E.; KÜÇÜKCETIN, A.; TOPUZ, A. Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. **International Dairy Journal**, v. 85, p. 169–176, 2018.

WOJDYŁO, A.; FIGIEL, A.; LEGUA, P.; LECH, K.; CARNONELL-BORRACHINA, A. A.; HERNÁNDEZ, F. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. **Food Chemistry**, v. 207, p. 170–179, 2016.

POLPA DE MACAÍBA APLICADA NA ELABORAÇÃO DE SORVETES

Resumo: O sorvete é um alimento amplamente difundido, com elevada aceitação sensorial, sendo este uma matriz alimentícia em potencial para agregar fontes de novos sabores e valor nutricional, como a macaíba (*Acrocomia intumescens*). Nesse estudo, a polpa de macaíba, tanto *in natura* a 7 °Brix quanto em pó obtida da secagem convectiva em camada fina na temperatura de 70 °C, foi caracterizada quanto ao perfil de ácidos graxos, através de cromatografia gasosa, e aplicada na elaboração de sorvetes F1 e F2, respectivamente. A polpa de macaíba é fonte de ácidos graxos essenciais como o ácido linoleico (9,25% *in natura* e 11,77% no pó) e ácido oleico (48,84% *in natura* e 55% no pó), com prevalência de ácidos graxos insaturados. As formulações de sorvetes desenvolvidas, F1 e F2, apresentaram boa qualidade microbiológica, não sendo detectadas contaminações microbianas de coliformes, *Salmonella* sp. e *Staphylococcus aureus*. Os sorvetes apresentaram *overrun* de 62,17% para F1 e 86,03% para F2, e derretimento total em 75 min para F1 e 60 min para F2. As duas formulações de sorvetes foram avaliadas em teste de aceitação e intenção de compra, onde a nota da aceitação global foi de 6,7 para F1 e 6,5 para F2 (escala de 9 pontos), mostrando boa aceitação sensorial e atitude de compra de 3,4 para os dois sorvetes, correspondendo a “talvez compraria/talvez não compraria” baseando-se numa escala de 5 pontos. Os sorvetes de macaíba, seja com a polpa *in natura* ou em pó, mostraram-se promissores pela sua boa aceitabilidade e pelo alto valor nutricional da fruta.

Palavras-chave: *Acrocomia intumescens*. *Overrun*. Tempo de derretimento. Ácidos graxos.

Abstract: Ice cream is a widely spread food with high sensory acceptance, being a potential food matrix to add sources of new flavors and nutritional value, such as macaiba (*Acrocomia intumescens*). In this study, the macaiba pulp, both *in natura* at 7 ° Brix and powdered obtained from thin layer convective drying at 70 °C, was fatty acids profile characterized by gas chromatography and applied in the elaboration of ice creams F1 and F2, respectively. Macaiba pulp is a source of essential fatty acids such as linoleic acid (9.25% *in natura* and 11.77% in powder) and oleic acid (48.84% *in natura* and 55% in powder), with prevalence of acids unsaturated fatty acids. The developed ice cream formulations, F1 and F2, presented good microbiological quality, no microbial contamination of coliforms, *Salmonella* sp. and *Staphylococcus aureus*. The ice cream presented an *overrun* of 62.17% for F1 and 86.03% for F2, and total melting in 75 min for F1 and 60 min for F2. The two ice cream formulations

were evaluated in the acceptance test and purchase intention, where the overall acceptance score was 6.7 for F1 and 6.5 for F2 (9 point scale), showing good sensory acceptance and buying attitude of 3.4 for the two ice creams, corresponding to "maybe buy/maybe not buy" based on a 5-point scale. Macaiba ice cream, either with fresh or powdered pulp, has shown promise for its good acceptability and the high nutritional value of the fruit.

Keywords: *Acrocomia intumescens*. Overrun. Melting time. Fatty acids.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos práticos, nutritivos e saudáveis, aliado a um mercado consumidor cada vez mais informado e exigente contribui para o desenvolvimento de produtos alimentícios e para a oferta de produtos diferenciados, atendendo nichos e tendências de consumo. Diversos fatores contribuem para a escolha de um produto alimentício, mas a percepção sensorial (cor, sabor, textura, aroma, aparência, entre outros atributos) é fundamental para definir a decisão de compra do consumidor.

A análise sensorial exerce um importante papel no desenvolvimento de novos produtos visto que pode ser utilizada com diversas finalidades como otimizar formulações e processos, determinar o perfil do consumidor, controle de qualidade, comparações entre produtos, aceitação e preferência, entre outras

A macaíba, por sua qualidade nutricional e sabor exótico, é uma matéria-prima comercialmente inédita e pode ser introduzida como elemento inovador na elaboração de novos produtos. Suas características sensoriais peculiares podem ser aproveitadas em apresentações tradicionais e pesquisas de novos sabores em congelados, como uma estratégia para valorização dessa matéria-prima. Pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novos produtos usando a macaíba como matéria-prima têm sido realizadas com biscoitos tipo *cookie* (KOPPER et al., 2009) e barras de cereais (MUNHOZ et al., 2014), demonstrando atributos sensoriais com boa aceitação.

O sorvete é uma emulsão coloidal complexa que contém gordura, proteínas, açúcar, estabilizantes, emulsificantes, aromatizantes, bolhas de ar e cristais de gelo dispersos em solução aquosa, submetido a processos de homogeneização, pasteurização, maturação e congelamento (KARAMAN; KAYACIER, 2012). Diversas pesquisas têm sido conduzidas tratando da elaboração de sorvetes com polpas de frutas típicas, para agregar sabores inexplorados e valor nutricional, todos com boa aceitação sensorial, como: sorvetes de butiá

(*Butia odorata*) (CRUXEN et al., 2017); de frutos do cerrado, mangaba, (*Hancornia speciosa*), corriola, (*Pouteria ramiflora*), araticum (*Annona crassiflora*) e pequi (*Caryocar brasiliense*) (MORZELLE et al., 2012); de caqui (KARAMAN et al., 2014); de physalis (*Physalis peruviana* L.) (ERKAYA; DAĞDEMİR; SENGÜL, 2012).

A composição de ácidos graxos afeta as propriedades tecnológicas dos alimentos, e consequentemente as características sensoriais como aparência (brilho, translucidez, coloração, uniformidade da superfície e cristalinidade), textura (viscosidade, elasticidade e dureza), sabor (intensidade de *flavor*, liberação de *flavor*, perfil de sabor e desenvolvimento de *flavor*) e o *mouthfeel* (derretimento, cremosidade, lubricidade, espessura e grau de *mouth-coating*), sendo influenciadas pelo perfil de ácidos graxos saturados e insaturados da gordura, exercendo importante papel nas propriedades dos sorvetes (CHAVES; BARRERA-ARELLANO; RIBEIRO, 2018).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo caracterizar a polpa e o pó de macaíba quanto ao perfil de ácidos graxos, e avaliar a aceitação sensorial de sorvetes elaborados com polpas de macaíba *in natura* e em pó.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos ensaios foram utilizadas macaíbas (*Acrocomia intumescens*) no estágio de maturação maduro, provenientes da cidade de Alagoa Nova, Paraíba, 07° 04' 15" S, 35° 45' 30" W. Inicialmente os frutos foram selecionados, lavados e sanitizados, as cascas foram quebradas e retiradas manualmente, procedeu-se o despulpamento em despulpadeira (Max Machine[®]) e homogeneização em liquidificador da polpa da fruta com incorporação de água até teor de sólidos solúveis totais de 7 °Brix para a completa homogeneização da matéria-prima. Por fim, foi acondicionada em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenada em freezer (-18 °C ± 1 °C) até a realização dos experimentos.

Condição de secagem

A polpa foi submetida à secagem convectiva em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 70 °C até o equilíbrio higroscópico, que foi atingido no tempo de secagem de 520 min, com espessura da camada de 0,5 cm e velocidade do ar de 0,55 m/s, em bandejas circulares (25 cm de diâmetro) de aço inoxidável. As amostras secas foram removidas das bandejas com espátula de aço inoxidável e trituradas em processador para obtenção do pó.

Perfil de ácidos graxos

Para análise de ácidos graxos, o óleo da polpa de macaíba *in natura* e da macaíba em pó foi extraído de acordo com o método de Folch, Lees e Stanley (1957), com clorofórmio, metanol e água (2:1:1). Em seguida, foi realizada uma esterificação conforme o método Hartman e Lago, (1973) com adaptações, e a quantificação obtida por curva de calibração com padrões de ésteres metílicos, utilizando um cromatógrafo gasoso GCMS-QP2010 (Shimadzu, Kyoto, Japan) equipado com uma coluna Durabound (DB-23 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). As temperaturas do injetor e do detector foram fixadas em 230 °C e a temperatura da coluna em 90 °C. O gradiente de eluição na coluna foi de 90 a 150 °C (10 °C/min), 150 a 200 °C (5 °C/min), 200 a 230 °C (3 °C/min) em um tempo total de corrida de 34 min, utilizando hélio como gás de arraste na vazão de 1 mL/min.

Elaboração de sorvete de macaíba

A formulação do sorvete foi definida a partir de testes preliminares tomando-se como referência os trabalhos de Cruxen et al. (2017), Erkaya, Dağdemir e Sengül (2012) e Karaman et al. (2014) que elaboraram sorvetes de butiá, physalis e caqui, respectivamente. O processamento do sorvete foi iniciado com a pesagem dos ingredientes para obtenção da massa base: leite (70%), açúcar (9%), creme de leite (8%), leite em pó (7%), xarope de glicose (5%), liga neutra (Selecta Duas Rodas[®]) (0,7%) e emulsificante, Emustab (Selecta Duas Rodas[®]) (0,7%). Os ingredientes foram homogeneizados em liquidificador industrial e a mistura foi pasteurizada a 75 °C por 30 minutos. Em seguida, foi submetida a aeração por batimento com as polpas de macaíba: 40% de polpa de macaíba *in natura* (Formulação 1-F1) e 10% de polpa de macaíba em pó (Formulação 2 - F2), sendo os sorvetes embalados em recipientes plásticos de 3,2 L, e mantidos congelados a -18 °C para a realização das análises posteriores.

Análises microbiológicas

As amostras das duas formulações de sorvete foram avaliadas quanto às suas qualidades microbiológicas. Os parâmetros de avaliação microbiológica dos sorvetes seguiram recomendação da Resolução RDC, nº 12 de 2 de janeiro de 2001, que são: coliformes termotolerantes, estafilococos e *Salmonella* sp. (BRASIL, 2001). As análises

foram realizadas seguindo as metodologias descritas pela American Public Health Association e Food and Drug Administration (APHA, 2001; FDA, 2007).

Caracterização tecnológica do sorvete

Amostras dos sorvetes de macaíba, F1 e F2, foram avaliadas quanto aos parâmetros de qualidade: *overrun* e taxa de derretimento. Para medir a quantidade de ar incorporado nos sorvetes (% *overrun*) foi usada a Equação 1.

$$\textit{overrun} = \frac{m_{\text{mistura base}} - m_{\text{sorvete}}}{m_{\text{sorvete}}} \quad (1)$$

Em que *overrun* - quantidade de ar incorporado no sorvete, %; $m_{\text{mistura base}}$ - massa da mistura base, g; m_{sorvete} - massa do sorvete, g.

As propriedades de fusão dos sorvetes foram determinadas de acordo com a metodologia de Muse e Hartel (2004) com adaptações, na qual amostras de sorvetes pesando 50 g foram colocadas em tela adaptada (aberturas de 5 mm) de forma a permitir seu derretimento numa proveta e o volume coletado (mL) foi registrado a cada 5 minutos em temperatura ambiente (25 °C) até o derretimento total.

Análise sensorial

A avaliação sensorial foi realizada pela aplicação de testes de aceitação e intenção de compra de acordo com Dutcosky (2007). A aceitabilidade pelos provadores foi avaliada pela aplicação da Escala Hedônica Estruturada de 9 pontos, tendo como extremos “1” (Desgostei muitíssimo) e “9” (Gostei muitíssimo). Os provadores foram orientados a provarem as amostras da esquerda para direita e avaliá-las quanto a aparência, cor, aroma, textura, doçura, sabor e aceitação global de suas características. Juntamente a esse teste, foram estabelecidas notas quanto à intenção de compra para cada produto, com escala estruturada em 5 pontos, variando de “1” (Certamente não compraria) até “5” (Certamente compraria) (ABNT, 1993).

Uma equipe não-treinada de 100 provadores recebeu individualmente 20 g das amostras na temperatura usual de consumo, aproximadamente -10 °C (± 1 °C), em copos plásticos descartáveis codificados com números aleatórios de três dígitos, acompanhadas de uma colher descartável, um copo com água potável, biscoito e fichas de respostas. O teste foi

realizado com prévia aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos CAAE 56872116.5.0000.5182/Parecer 2.618.936, para atender as exigências éticas e científicas dispostas na Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (BRASIL, 2012).

O índice de aceitação (IA) foi calculado considerando como 100% a maior nota alcançada na aceitação global das amostras analisadas (Equação 2) e adotando como critério para a classificação satisfatória o índice de aceitação igual ou superior a 70% (DUTCOSKY, 2007). A Equação 2 refere-se ao cálculo utilizado para o índice de aceitação:

$$IA = \frac{A}{B} \times 100 \quad (2)$$

Em que: IA - índice de aceitação, %; A - nota média obtida; e B - nota máxima dada à amostra

Análise estatística

As respostas sensoriais foram avaliadas por meio de delineamento inteiramente casualizado com a comparação entre as médias por meio do teste t a 5% de probabilidade, assim como os resultados de *overrun*, utilizando-se o programa computacional Origin 8.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição de ácidos graxos da polpa de macaíba (7 °Brix) e em pó é explícita na Tabela 1. Os ácidos palmítico (19,44% na polpa *in natura* e 16,25% no pó), esteárico (7,82% na polpa *in natura* e 6,85% no pó), oleico (48,84% na polpa *in natura* e 55% no pó) e linoleico (9,25% na polpa *in natura* e 11,47% no pó) foram, quantitativamente, os principais ácidos graxos identificados nas polpas, com resultados próximos aos reportados por Ríó et al. (2016) para polpa de macaíba (*A. aculeata*) com valores de 23,4% para o ácido palmítico, 54,8% para o ácido oleico e 10,3% para o linoleico. Observou-se alta prevalência de ácidos graxos insaturados em relação aos saturados, perfil considerado ideal para óleos comestíveis. Devido à presença significativa dos ácidos oleico e linoleico a polpa de macaíba *in natura* ou em pó são recomendadas para a formulação de alimentos (COIMBRA; JORGE, 2012).

É possível verificar que numericamente houve redução da quantidade de ácidos graxos saturados, principalmente do ácido palmítico (C16:0), na macaíba em pó (23,10%) em relação

à polpa *in natura* (33,07%), e aumento dos ácidos graxos insaturados (mono e poli), especialmente o ácido oleico.

Tabela 1 - Composição e quantidade relativa (%) de ácidos graxos identificados na polpa de macaíba *in natura* e em pó

Ácidos graxos	Polpa <i>in natura</i> (%)	Polpa em pó (%)
Ácido láurico (C12:0)	1,75	-
Ácido mirístico (C14:0)	4,07	-
Ácido palmítico (C16:0)	19,44	16,25
Ácido palmitoleico (C16:1)	4,04	4,54
Ácido esteárico (C18:0)	7,81	6,85
Ácido vacênico (C18:1n11c)	4,80	5,89
Ácido oleico (C18:1n9c)	48,84	55,00
Ácido linoleico (C18:2n6c)	9,25	11,47
AGS (saturados)	33,07	23,10
MUFA (monoinsaturados)	57,68	65,43
PUFA (poli-insaturados)	9,25	11,47

(-) não identificado.

Os ácidos graxos linoleico (C18:2n6c) e oleico (C18:1n9c), ambos nutricionalmente importantes e de caráter essencial ao organismo humano foram aumentados em aproximadamente 24 e 13%, respectivamente com a secagem. O ácido oleico é comprovadamente benéfico à saúde cardiovascular, pois está associado à redução da concentração de triglicerídeos e colesterol de baixa densidade (LDL). O linoleico é um ácido graxo precursor dos demais ácidos graxos da família ômega-6, que possuem efeitos benéficos a saúde, assim como outros ácidos graxos poli-insaturados, como redução do risco de doenças coronarianas, câncer e níveis plasmáticos de triglicerídeos (INNES; CALDER, 2018; KRATZ; BAARS; GUYENET, 2013; MICIŃSKI et al., 2012). Nesse sentido, pode-se sugerir que o consumo da polpa de macaíba, seja *in natura* ou submetida ao processo de secagem, aliado a uma dieta balanceada pode diminuir o risco de distúrbios crônicos de saúde.

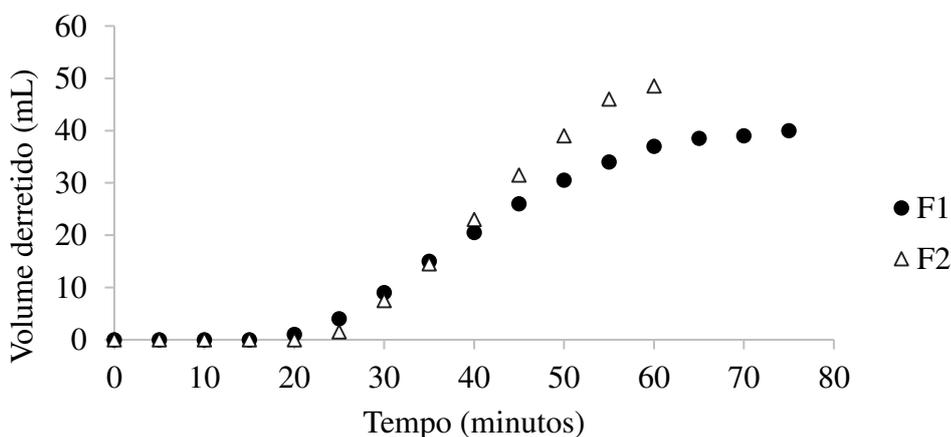
Não houve multiplicação de coliformes termotolerantes, nem de *Staphylococcus aureus*, e foi constatada ausência de *Salmonella* sp. em 25 g nas amostras de sorvetes (F1 e F2), como preconiza a legislação (BRASIL, 2001). A massa base dos sorvetes foi submetida a pasteurização, processo que destrói fungos e bactérias, justificando a boa qualidade microbiológica dos sorvetes. A presença de micro-organismos é um indicativo de práticas

sanitárias insatisfatórias na fabricação ou na embalagem, falha no processo ou contaminação pós-processo, encurtando o prazo de validade do produto. Pelos resultados pode-se inferir que os sorvetes foram fabricados a partir de práticas sanitárias satisfatórias, podendo ser consumidos sem risco à saúde.

O sorvete de macaíba em pó (F2) apresentou *overrun* maior do que o sorvete com polpa de macaíba *in natura* (F1), 86,03% e 62,17%, respectivamente. Estes resultados são maiores do que os reportados por Erkaya, Dağdemir e Sengül (2012) para os sorvetes de physalis (*Physalis peruviana* L.) de 43-80%. O baixo *overrun* da formulação F1 indicou pouca incorporação de ar, resultando em um sorvete pouco cremoso e suave, que causou forte sensação de frio na boca. A variação no *overrun* pode ter relação com diversos fatores como gordura, emulsificante, proteína e sólidos solúveis, podendo-se inferir que a substituição da polpa *in natura* pela polpa em pó influenciou na incorporação de ar, provavelmente devido ao maior conteúdo de sólidos solúveis no pó, concentrados durante a secagem (SUN-WATERHOUSE et al., 2013).

Assim como o *overrun*, o tempo de derretimento é um importante parâmetro de qualidade de sorvetes. Observando-se a Figura 1, em que se apresenta o derretimento dos sorvetes (volume de derretimento \times tempo), percebeu-se que o comportamento de derretimento foi similar apenas nos primeiros minutos para as formulações de sorvetes F1 e F2, iniciando-se após 20 min e atingindo a fusão completa após 75 min para o sorvete com polpa *in natura* e 60 min para o sorvete com o pó. É possível observar que os primeiros cristais de gelo derretidos aconteceram em 20 min para F1 e 25 min para F2, descrevendo comportamento semelhante até os 40 min quando a partir deste tempo o sorvete F2 apresentou maior volume derretido.

Figura 1 - Comportamento do derretimento das formulações de sorvetes de macaíba



Resultados próximos foram encontrados por Cruxen et al. (2017) para sorvete de butiá, que iniciou o derretimento (80 g) depois de 15 min, com derretimento total após 60 min. Essas diferenças no derretimento das duas formulações dos sorvetes podem ser justificadas pela maior quantidade de ácidos graxos saturados do sorvete F1, os quais têm maior ponto de fusão do que os ácidos graxos insaturados.

É desejável que o sorvete tenha um maior tempo de derretimento para proporcionar sensação de refrescância até o final da degustação. O derretimento do sorvete pode sofrer influência de muitas variáveis, como as propriedades de *overrun*, emulsificação e concentração de lipídeos e proteínas (SOFJAN; HARTEL, 2004). Tendo os ácidos graxos papel importante nas propriedades tecnológicas dos sorvetes, principalmente os ácidos palmítico, esteárico, oleico e linoleico, que tem seus ésteres derivados função emulsificante, sendo esses predominantes nas polpas de macaíba (CHAVES; BARRERA-ARELLANO; RIBEIRO, 2018). Considerando o perfil lipídico da polpa da macaíba e a boa qualidade tecnológica do seu sorvete, esta fruta pode ser utilizada no desenvolvimento de produtos alimentícios agregando sabor, características tecnológicas, sensoriais e potencial nutritivo com alegações de saúde.

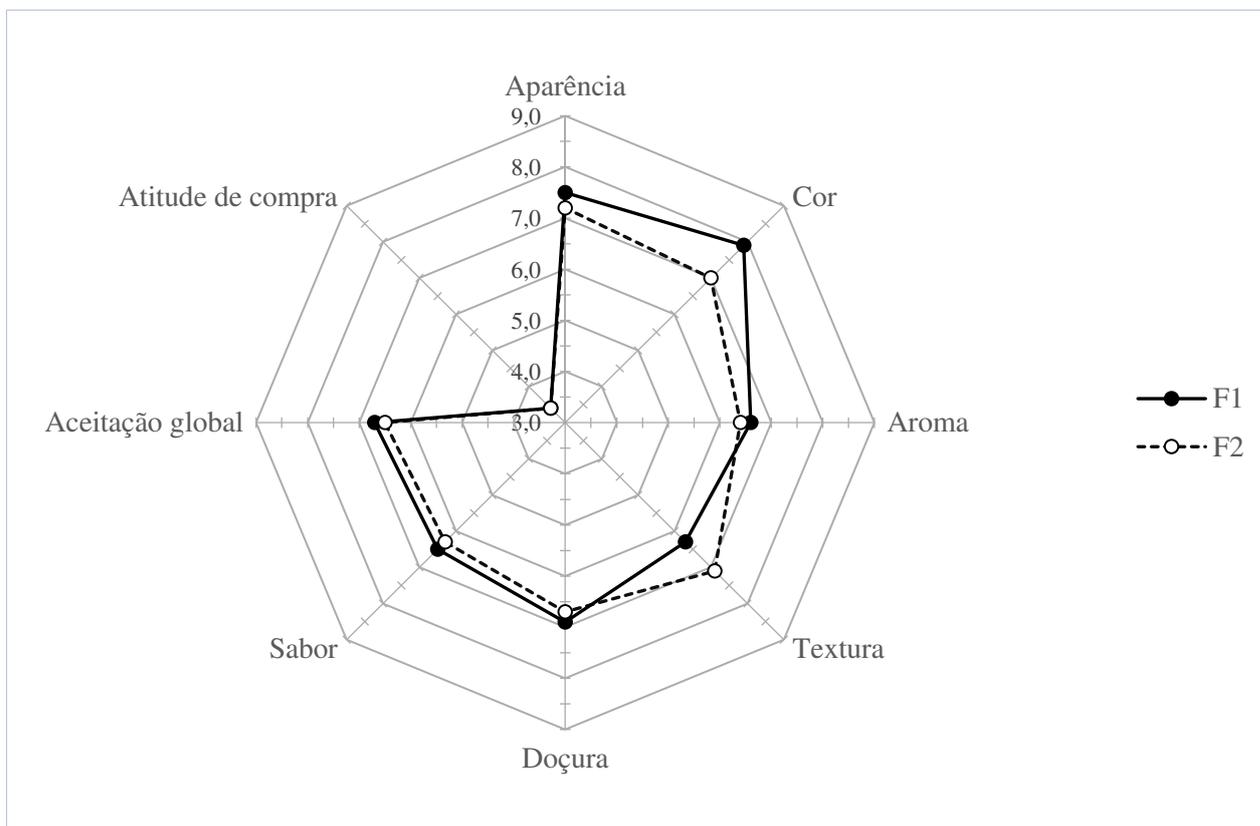
A Figura 2 apresenta os resultados dos testes sensoriais dos sorvetes de macaíba. No geral, os sorvetes obtiveram uma boa aceitação sensorial pelos provadores, exibindo escores de acordo com a escala hedônica de 9 pontos, variando de “Gostei ligeiramente” para “Gostei muito”, sendo a aparência e a cor as características melhor avaliadas pelos provadores, possivelmente pela coloração próxima a sorvetes comerciais sabor creme.

Cruxen et al. (2017), Erkaya, Dağdemir e Sengül (2012) e Karaman et al. (2014) também obtiveram notas entre 6 e 8 para sorvetes de butiá, physalis e caqui, respectivamente. Os sorvetes diferiram estatisticamente apenas nos parâmetros de cor e textura ($p < 0,05$), atribuível a coloração mais intensa e textura cristalizada, consequência da alta quantidade de água na polpa *in natura* em comparação com a polpa em pó, e baixo *overrun* da formulação F1, com polpa *in natura*, rendendo melhor avaliação da cor e menor escore no quesito textura.

A atitude de compra descrita pelos provadores foi igual ($p \geq 0,05$) para as formulações de sorvete, com escore 3,4 de uma escala de 5 pontos, correspondendo a “talvez compraria/talvez não compraria”. Apesar disso, alguns provadores alegaram que “talvez comprariam” dependendo do apelo nutricional e da alegação de benefícios a saúde. Essa atitude de compra pode ser justificada pelo sabor inusitado e singular da macaíba que fez com que os provadores aceitassem sensorialmente o sorvete, mas que mantém reservas em relação

a sabores muito peculiares e com os quais não tiveram oportunidade de se familiarizar, característica, no entanto, requisitada em produtos de nicho do tipo *gourmet*.

Figura 2 - Aceitação sensorial e intenção de compra dos sorvetes elaborados com polpa de macaíba *in natura* (F1) e polpa em pó (F2)



Para que um produto seja considerado bem aceito sensorialmente é necessário que apresente alto índice de aceitabilidade, acima de 70%. Observando os índices de aceitabilidade (Tabela 2) constata-se que os sorvetes obtiveram altos escores, exceto quanto à textura da formulação com polpa de macaíba *in natura* (F1) e no quesito “atitude de compra” das duas formulações. A textura do sorvete F1 exibiu cristais de gelo, resultando em textura cristalizada, considerado como defeito na fabricação de sorvete, possivelmente pelo maior teor de água e baixo teor de sólidos da polpa *in natura*, em comparação com a polpa em pó, e pouca incorporação de ar, fatores que propiciam a formação de grandes cristais de gelo, defeito semelhante ao encontrado por Cruxen et al. (2017) para sorvetes de butiá com 40 e 50% de polpa de butiá.

Tabela 2 - Índice de aceitabilidade do sorvete de macaíba

Sorvetes	Aparência	Cor	Aroma	Textura	Doçura	Sabor	Aceitação global	Atitude de compra
F1	83,0	87,6	73,2	69,6	76,2	72,1	74,6	67,4
F2	80,1	77,8	71,3	78,4	74,7	70,2	72,6	67,8

No geral, o sorvete F1 apresentou melhor aceitabilidade quando comparado ao sorvete F2, exceto para textura; no entanto, são avaliações sensoriais bem próximas, apresentando pequena discrepância apenas nos parâmetros cor e textura, características essas que podem ser corrigidas adicionando-se corantes e sólidos solúveis, podendo-se inferir que é possível substituir a polpa de macaíba *in natura* pela polpa em pó na fabricação de sorvetes sem perdas sensoriais significativas e possibilidade de comercialização de ambas as formulações. Oliveira et al. (2015) também encontraram boa aceitabilidade em formulações de *frozen yogurt* com polpa de mirtilo *in natura* e em pó.

Os resultados sugerem que sorvetes de macaíba, seja com a polpa *in natura* ou em pó, têm características de aceitabilidade para serem produzidos e comercializados em escala industrial, exigindo poucos ajustes de composição para aperfeiçoar as características sensoriais e a atitude de compra.

CONCLUSÕES

A polpa de macaíba *in natura* e em pó possuem elevada qualidade lipídica, sendo fontes de ácidos graxos poli-insaturados, especialmente os ácidos linoleico e oleico, essenciais para uma dieta saudável. Além de influenciarem na qualidade tecnológica e sensorial do sorvete.

Os sorvetes de macaíba apresentaram boa aceitabilidade, acima de 70%, para os parâmetros sensoriais: aparência, cor, aroma, textura, doçura, sabor e aceitação global, e intenção de compra intermediária (Talvez compraria/talvez não compraria). Com boas características tecnológicas de *overrun* no sorvete F2 e derretimento no F1.

As polpas de macaíba *in natura* e em pó utilizadas na formulação de sorvetes apresentaram desempenhos semelhantes em testes sensoriais, propiciando a escolha da forma mais conveniente de utilização.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 12994: Métodos de avaliação sensorial de alimentos e bebidas**, São Paulo, 1993, 2p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 ed. Washington, D C: American Public Health Association, 2001. 676p.

BRASIL. Resolução - RDC N° 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, 2001. Disponível em:
<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0018_03_04_2013.html>

BRASIL. Ministério da Saúde: Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa envolvendo seres humanos. **Diário Oficial da União**, Brasília, Brasil, 2012.

CHAVES, K. F.; BARRERA-ARELLANO, D.; RIBEIRO, A. P. B. Potential application of lipid organogels for food industry. **Food Research International**, v. 105, n. 1, p. 863-872, 2018.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Fatty acids and bioactive compounds of the pulps and kernels of Brazilian palm species, guariroba (*Syagrus oleraces*), jericó (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 3, p. 679–684, 15 Sep. 2012.

CRUXEN, C. E. S.; HOFFMANN, J. F.; ZANDONÁ, G. P.; FIORENTINI, A. M.; ROMBALDI, C. V.; CHAVES, F. C. Probiotic butiá (*Butia odorata*) ice cream: Development, characterization, stability of bioactive compounds, and viability of *Bifidobacterium lactis* during storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, p. 379–385, 2017.

DUTCOSKY, S. D. Análise sensorial de alimentos. 2ª ed, Curitiba, PR: **Editora Universitária Champagnat**, 2007, 123p.

ERKAYA, T.; DAĞDEMİR, E.; SENGÜL, M. Influence of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) addition on the chemical and sensory characteristics and mineral concentrations of ice cream. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 331–335, 2012.

FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 226, p. 497–509, 1957.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). **Bacteriological Analytical Manual-BAM**. 2007. Disponível em:
<<http://www.fda.gov/downloads/food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/UCM244774.pdf>> Acesso em: 17 ago. 2016.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v. 22, p. 475–476, 494, 1973.

INNES, J. K.; CALDER, P. C. Omega-6 fatty acids and inflammation. **Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v. 132, p. 41–48, 2018.

KARAMAN, S.; TOKER, O. S.; YÜKSEL, F.; ÇAM, M.; KAYACIER, A.; DOĞAN, M. Physicochemical, bioactive, and sensory properties of persimmon-based ice cream: Technique for order preference by similarity to ideal solution to determine optimum concentration. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 1, p. 97–110, 2014.

KARAMAN, S.; KAYACIER, A. Rheology of ice cream mix flavored with black tea or herbal teas and effect of flavoring on the sensory properties of ice cream. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 8, p. 3159–3169, 2012.

KOPPER, A. C.; SARAVIA, A. P. K.; RIBANI, R. H.; LORENZI, G. M. A. C. Utilização tecnológica da farinha de bociuiva na elaboração de biscoitos tipo cookie. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, p. 463–469, 2009.

KRATZ, M.; BAARS, T.; GUYENET, S. The relationship between high-fat dairy consumption and obesity, cardiovascular, and metabolic disease. **European Journal of Nutrition**, v. 52, n. 1, p. 1–24, 2013.

MICIŃSKI, J.; ZWIERZCHOWSKI, G.; KOWALSKI, I. M.; SZAREK, J.; PIEROZYŃSKI, B.; RAISTENSKIS, J. The effects of bovine milk fat on human health. **Polish Annals of Medicine**, v. 19, n. 2, p. 170–175, 2012.

MORZELLE, M. C.; LAMOUNIER, M. L.; SOUZA, E. C.; SALGADO, J. M.; VILAS-BOAS, E. V. B. Nutritional and sensory characteristics of ice cream from savana fruits. **Journal of Candido Tostes Dairy Institute**, v. 67, n. 387, p. 70–78, 2012.

MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CAMPAGNOLLI, R.; MACEDO, M. L. R. Drying of the kernel and fresh and osmotically dehydrated bociuiva pulps. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 36, n. 1, p. 165–170, 2014.

MUSE, M. R.; HARTEL, R. W. Ice Cream structural elements that affect melting rate and hardness. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 1, p. 1–10, 2004.

OLIVEIRA, T. P.; PANTE, G. C.; TOSONI, N. F.; SEREIA, M. J.; DEMCZUK JÚNIOR, B. Characterization and application of blueberry pulp (*Vaccinium* sp.) fresh and powder in frozen yogurt. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 6, n. 3, p. 23–31, 2015.

ÖRDÖG, V.; STIRK, W. A.; BÁLINT, P.; AREMU, A. O.; OKEM, A.; LOVÁSQ, C.; MOLNÁR, Z.; VAN STADEN, J. Effect of temperature and nitrogen concentration on lipid productivity and fatty acid composition in three *Chlorella* strains. **Algal Research**, v. 16, p. 141–149, 2016.

RÍO, J. C.; EVARISTO, A. B.; MARQUES, G.; MARTÍN-RAMOS, P.; MARTÍN-GIL, J.; GUTIÉRREZ, A. Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. **Industrial Crops and Products**, v. 84, n. 1,

p. 294–304, 2016.

SOFJAN, R. P.; HARTEL, R. W. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. **International Dairy Journal**, v. 14, n. 3, p. 255–262, 2004.

SUN-WATERHOUSE, D.; EDMONDS, L.; WADHWA, S. S.; WIBISONO, R. Producing ice cream using a substantial amount of juice from kiwifruit with green, gold or red flesh. **Food Research International**, v. 50, n. 2, p. 647–656, 2013.

ELABORAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E ACEITAÇÃO SENSORIAL DE EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DA AMÊNDOA DE MACAÍBA,

Resumo: A macaíba é uma fruta nativa do nordeste brasileiro que possui alto valor nutricional e características sensoriais peculiares com grande potencial para o desenvolvimento de novos produtos. Diante da demanda por substitutos ao leite, este estudo teve como objetivo caracterizar a amêndoa da macaíba quanto aos parâmetros físico-químicos, perfil de minerais (FRX), ácidos graxos (CG) e aceitação sensorial do extrato hidrossolúvel. A amêndoa é fonte de proteínas (8,96 g/100 g), lipídeos (22,66 g/100 g), fibra bruta (39,83 g/100 g), compostos fenólicos (4,05 mg GAE/g), além de minerais, K (33,3%), P (32,2%), Mg (16,7%), Fe (0,4%) e Zn (0,4%) e ácidos graxos: láurico (42,3%), mirístico (16,8%), oleico (13,8%) e palmítico (10,6%). Foi elaborado o extrato hidrossolúvel (1:3 amêndoa e água, p/v) adicionado de popa de goiaba (40%) com alto teor de lipídeos (5,43 g/100 g), proteínas (0,97 g/100 g) e carboidratos (11,31 g/100 g), com boa qualidade sensorial, exibindo notas acima de 7 para os parâmetros de cor, aroma, textura, sabor e aceitação global, além de intenção de compra referente a “provavelmente compraria”. O extrato hidrossolúvel da amêndoa de macaíba sabor goiaba mostrou-se promissor pela sua boa aceitabilidade e alto valor nutricional podendo ser uma alternativa viável para a substituição do leite.

Palavras-chave: *Acrocomia intumescens*. Alternativas vegetais ao leite. Aceitabilidade.

Abstract: Macaíba is a native Brazilian fruit that has high nutritional value and peculiar sensorial characteristics with great potential for the development of new products. In the face of the demand for milk substitutes, the objective of this study was to characterize the macaíba kernel in terms of physicochemical parameters, mineral profile (XFR), fatty acids (GC) and sensorial acceptance of the water-soluble extract. The kernel is a source of proteins (8.96 g/100 g), lipids (22.66 g/100 g), crude fiber (39.83 g/100 g), phenolic compounds (4.05 mg GAE/g) (32.2%), Mg (16.7%), Fe (0.4%) and Zn (0.4%) and fatty acids: lauric (42.3%), myristic (16.8%), oleic (13.8%) and palmitic (10.6%). The water-soluble extract (1: 3 kernel and water, w/v) added with guava pulp (40%) with high lipid content (5.43 g/100 g), proteins (0.97 g/100 g) and carbohydrates (11.31 g/100 g), with good sensory quality, showing notes above 7 for the parameters of color, aroma, texture, taste and overall acceptance, in addition to buying intention referring to "probably would buy". The water-soluble extract of macaíba

kernel guava flavored has shown promise for its good acceptability and high nutritional value, being a viable alternative for milk substitution.

Keywords: *Acrocomia intumescens*. Plant-based milk alternatives. Acceptability.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos práticos, nutritivos e saudáveis, aliado a um mercado consumidor cada vez mais informado e exigente contribui para o desenvolvimento de novos produtos e a oferta de itens diferenciados, atendendo nichos e tendências de consumo. Diversos fatores colaboram para a escolha de um produto alimentício, mas a percepção sensorial (cor, sabor, textura, aroma, aparência, entre outros atributos) é fundamental para definir a decisão de compra do consumidor.

A análise sensorial exerce um importante papel no desenvolvimento de alimentos visto que pode ser utilizada com diversas finalidades como: otimizar formulações e processos, determinar o perfil do consumidor, controle de qualidade, comparações de amostras, aceitação e preferência, entre outras

As frutas e vegetais são alimentos consumidos de diversas formas, desde *in natura* até na forma de doces, conservas e bebidas (sucos, fermentados, entre outros.). Estudos vêm sendo realizados para a elaboração de bebidas vegetais a partir de leguminosas, cereais e sementes, como arroz, aveia, soja, quinoa, castanhas e amêndoas. Esses extratos têm sido utilizados na alimentação em substituição ao leite, uma vez que, tem aumentado a demanda por este tipo de produto tanto por alérgicos, intolerantes e consumidores que não possuem essa restrição, sendo cada vez mais comum encontrá-los no mercado (SETHI; TYAGI; ANURAG, 2016).

Seguindo essa tendência de mercado, a amêndoa da macaíba (*Acrocomia intumescens*) devido sua elevada qualidade nutricional e sensorial, similar a outras sementes, pode ser introduzida como elemento inovador na elaboração de extrato hidrossolúvel ("leite vegetal") e com isso ser uma alternativa viável ao leite.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo caracterizar a amêndoa de macaíba quanto às características físicas e físico-químicas, perfil de minerais e de ácidos graxos, além de caracterizar e avaliar a aceitação sensorial de extrato hidrossolúvel da amêndoa de macaíba.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizadas macaíbas (*Acrocomia intumescens*) no estágio de maturação maduro, proveniente da cidade de Alagoa Nova, Paraíba, Brasil, localizada a 07° 04' 15" S, 35° 45' 30" W. Inicialmente os frutos passaram por limpeza e sanitização. As cascas foram quebradas e retiradas manualmente, procedeu-se o despulpamento da polpa de macaíba, enquanto que a separação do endocarpo da amêndoa foi feita por prensa manual. As amêndoas foram extraídas e processadas em moinho de facas e, em seguida peneiradas em malha 16, para a obtenção de um pó homogêneo. As amêndoas foram embaladas em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenadas em freezer (-18 °C) até a realização dos experimentos.

Caracterização física e físico-química da amêndoa

A amêndoa da macaíba foi submetida a análise de teor de água e sólidos totais por diferença, açúcares totais e amido, lipídeos, proteínas, resíduo mineral fixo e fibra bruta. A determinação do pH foi realizada em pHmetro digital previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0; a acidez total titulável (% ácido cítrico) foi determinada por titulometria com solução de hidróxido de sódio a 0,1 M (AOAC, 2012).

Foram determinados os compostos bioativos ácido ascórbico (STROHECKER; ZARAGOZA; HENINING, 1967), carotenoides (HIGBY, 1962), flavonoides amarelos (FRANCIS, 1982) e fenólicos totais (SLINKARD; SINGLETON, 1977).

Para a determinação da cor utilizou-se o colorímetro MiniScan HunterLab XE Plus. A atividade de água foi determinada a 25 °C utilizando-se o higrômetro Aqualab modelo 3TE da Decagon Devices®. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Perfil de minerais

Os minerais ferro, fósforo, cálcio, sódio, potássio, magnésio e cobre foram quantificados por Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (FRX - Shimadzu® modelo EDX-720) a partir do resíduo mineral fixo obtido da amêndoa de macaíba. A amostra foi colocada em uma cubeta coberta por um filme de polipropileno de 5 µm de espessura. A energia de excitação utilizada foi de 15 a 50 keV e detector operando a -176 °C.

Perfil de ácidos graxos

Para análise de ácidos graxos, o óleo da amêndoa da macaíba foi extraído de acordo com o método de Folch, Lees e Stanley (1957), com clorofórmio, metanol e água (2:1:1). Em seguida foi realizada uma esterificação conforme o método Hartman e Lago (1973) com adaptações, e a quantificação obtida por curva de calibração com padrões de ésteres metílicos, utilizando um cromatógrafo gasoso GCMS-QP2010 (Shimadzu[®], Kyoto, Japan) equipado com uma coluna Durabound[®] (DB-23 30 m x 0,25 mm x 0,25 μ m). As temperaturas do injetor e do detector foram fixadas em 230 °C e a temperatura da coluna em 90 °C. O gradiente de eluição na coluna foi de 90 a 150 °C (10 °C/min), 150 a 200 °C (5 °C/min), 200 a 230 °C (3 °C/min) em um tempo total de corrida de 34 min, utilizando hélio como gás de arraste na vazão de 1 mL/min. Os resultados foram expressos em porcentagem (%) a partir da normalização das áreas dos picos.

Elaboração do extrato hidrossolúvel da amêndoa de macaíba

A partir de testes preliminares baseando-se nos trabalhos de Albuquerque et al. (2015) e Ferragut et al. (2015), que desenvolveram bebidas vegetais utilizando amendoim, soja e amêndoa, foi definido o procedimento para obtenção do extrato hidrossolúvel da amêndoa de macaíba. Foi realizado um processo de desintegração com água a 50 °C na proporção de 1:3 (amêndoa:água, p/v) durante 3 min. O produto obtido foi filtrado e posteriormente adicionado dos ingredientes: polpa de goiaba (40%), açúcar (10%) e sal (0,1%). Em seguida, a mistura foi homogeneizada e pasteurizada (75 °C/30 min), envasadas a quente em garrafas de vidro, previamente esterilizadas, e mantidas sob refrigeração 5 ± 1 °C.

Caracterização do extrato hidrossolúvel

O extrato hidrossolúvel elaborado foi submetido às análises físicas e físico-químicas de: teor de água e sólidos totais por diferença, sólidos solúveis totais utilizando-se refratômetro manual, lipídeos, proteínas, carboidratos por diferença, resíduo mineral fixo, pH e acidez total titulável (% de ácido cítrico) (AOAC, 2012).

Análises microbiológicas do extrato hidrossolúvel

As análises da qualidade microbiológica do extrato hidrossolúvel foram realizadas de acordo com a legislação microbiológica sobre o "leite de soja" vigente no Brasil, Resolução - RDC Nº 12, de 02 de janeiro de 2001, que trata dos padrões microbiológicos sanitários para alimentos (BRASIL, 2001). As análises realizadas foram: coliformes, estafilococos e *Salmonella* sp, e seguiram as metodologias descritas pela American Public Health Association e Food and Drug Administration (APHA, 2001; FDA, 2007).

Análise sensorial

A avaliação sensorial foi realizada pela aplicação de testes de aceitação e intenção de compra a partir de Escala Hedônica estruturada por Dutcosky (2007). A aceitabilidade pelos provadores foi avaliada pela aplicação da Escala Hedônica de 9 pontos, tendo como extremos "1" (Desgostei muitíssimo) e "9" (Gostei muitíssimo). Os provadores foram orientados a provarem as amostras e avaliarem quanto a aceitação dos parâmetros: aparência, cor, aroma, textura, doçura, sabor e aceitação global. Também foi realizado o teste de intenção de compra, com escala estruturada em 5 pontos, variando de "1" (Certamente não compraria") até "5" (Certamente compraria) (ABNT, 1993).

Uma equipe não-treinada de 100 provadores, dentre estes 53% eram do sexo masculino, com faixa etária predominante de 18 a 30 anos, sendo 93% solteiros, 83% com curso de graduação em andamento, 62% consomem algum tipo de bebida vegetal como "leite de amêndoa", "de soja", "de arroz" ou coco, 31% consomem raramente algum tipo de bebida vegetal, 93% são consumidores de goiaba, 5% apresentavam algum tipo de intolerância ou alergia alimentar. Recebeu individualmente 50 mL das amostras na temperatura usual de consumo, aproximadamente 10 °C, em copos plásticos descartáveis codificados com números aleatórios de três dígitos, acompanhadas de um copo com água potável, biscoito e fichas de respostas.

O teste foi realizado com prévia aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos CAAE 56872116.5.0000.5182 Parecer nº 1.638.194, para atender as exigências éticas e científicas dispostas na Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (BRASIL, 2012).

O índice de aceitação (IA) foi calculado considerando como 100% a maior nota alcançada na aceitação global (Equação 1) e adotando como critério para a classificação satisfatória o índice de aceitação igual ou superior a 70% (DUTCOSKY, 2007).

$$IA = \frac{A}{B} \times 100 \quad (1)$$

Em que: IA – índice de aceitação, %; A - nota média obtida; e B - nota máxima dada à amostra

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados as médias e os desvios padrão dos resultados encontrados para as propriedades físicas e físico-químicas da amêndoa de macaíba. A amêndoa possui baixo teor de água (15,12 g/100 g), alta atividade de água (0,976) e resíduo mineral fixo no valor de 1,27 g/100 g.

Tabela 1 - Propriedades físicas e físico-químicas da amêndoa de macaíba

Parâmetros	Amêndoa
Acidez (% ácido cítrico)	0,34 ± 0,00
pH	6,77 ± 0,05
Atividade de água (25 °C)	0,976 ± 0,004
Luminosidade (L*)	51,41 ± 0,21
Intensidade de vermelho (+a*)	2,53 ± 0,04
Intensidade de amarelo (+b*)	11,15 ± 0,04
Teor de água (g/100 g)	15,12 ± 0,33
Sólidos totais (g/100 g)	84,88 ± 0,33
Resíduo Mineral Fixo (g/100 g)	1,27 ± 0,06
Proteínas (g/100 g)	8,96 ± 0,06
Lipídeos (g/100 g)	22,66 ± 0,95
Açúcares totais (g/100 g)	0,27 ± 0,00
Amido (g/100 g)	14,97 ± 0,06
Fibra bruta (g/100 g)	39,83 ± 0,12
Ácido ascórbico (mg/100 g)	0,82 ± 0,02
Carotenoides (µg/g)	0,70 ± 0,10
Flavonoides (mg/100 g)	1,83 ± 0,07
Fenólicos totais (mg GAE/g)	4,05 ± 0,29

Assim como a maioria das oleaginosas, a amêndoa da macaíba apresentou elevados teores de lipídeos e proteínas, 22,66 g/100 g e 8,96 g/100 g, respectivamente, o que contribuem para a alta densidade energética dessas sementes promovendo alta saciedade; entretanto, sua ingestão não está associada com o aumento do peso corporal (FLORES-MATEO et al., 2013). Além de apresentar conteúdo de açúcares totais de 0,27 g/100 g, ser fonte de fibra bruta (39,83 g/100 g) e amido (14,97 g/100 g).

A amêndoa de macaíba apresentou níveis significativos de compostos bioativos, especialmente compostos fenólicos (4,05 mg GAE/g). Apresentou pH próximo a neutralidade e baixa acidez em comparação com os valores encontrados por Özcan et al. (2011) para amêndoas (*Prunus* spp.) da Sérvia, 1,39-3,56%.

Observando os parâmetros de cor é possível inferir que apresentou luminosidade (L^*) intermediária, entre o claro ($L^* = 100$) e o escuro ($L^* = 0$). Por sua vez, os parâmetros de cromaticidade (a^* e b^*) apontaram pouca saturação para a intensidade de vermelho ($+a^*$) e intensidade de amarelo ($+b^*$).

Os resultados de composição centesimal similares foram encontrados por Dessimoni-Pinto et al. (2010) para os parâmetros de matéria seca (87,92%), teor de água (12,08%), resíduo mineral (1,93%), lipídeos (29,73%), proteínas (12,28%) em amêndoas de macaíba (*A. aculeata*). O teor de proteínas é similar ao encontrado para macadâmias, 8,7 g/100 g (USDA, 2015), conteúdo lipídico próximo ao encontrado por Policarpi et al. (2018) em amêndoa de chichá (*Sterculia striata*), 24,5 g/100 g. e quantidade de fibra bruta coerente com Bora e Rocha (2004) que apontaram 30,4% em amêndoa de macaíba (*A. intumescens*).

Composição centesimal divergente foi encontrada por Fernandes et al. (2010) na amêndoa de baru, apresentando umidade de 3,7 g/100 g, lipídeos de 42 g/100 g, proteínas de 2,6 g/100 g e resíduo mineral fixo de 3,3 g/100 g. Diferenças significativas na composição centesimal de sementes podem ser explicadas pelas condições de clima, solo, cultivo e características genéticas particulares de cada espécie.

Resultados similares foram apresentados por Coimbra e Jorge (2012) para amêndoa de macaíba (*A. aculeata*) no teor de fenólicos totais (4,38 mg GAE/g) e carotenoides (1,82 µg/g). Menores valores de fenólicos totais em comparação a este estudo foram observados em oleaginosas brasileiras (0,90 mg/g) e amêndoas (0,20-1,39 mg GAE/g) (CARDOSO et al., 2017; ČOLÍĆ et al., 2017). Não foi registrado ácido ascórbico em amêndoas (*P. dulcis*), enquanto o teor de carotenoides foi de 1 µg/g (USDA, 2010). A presença de compostos bioativos está associada com efeitos benéficos a saúde devido à atividade antioxidante dessas substâncias (ZIELINSKI et al., 2014).

Foi verificada a presença de 14 minerais na amêndoa de macaíba (Tabela 2), destacando-se no perfil potássio (33,30%), fósforo (32,21%), magnésio (16,68%), cálcio (15,49%) e ferro (0,43%) e zinco (0,37%), sendo portanto considerada fontes desses nutrientes pela sua importância como microminerais, coerente com os resultados de Özcan et al. (2011) e Policarpi et al. (2018) que verificaram a predominância desses minerais em amêndoas (*P. dulcis*) e amêndoas de chichá (*Sterculia striata*), respectivamente.

Tabela 2 - Composição mineral (%) da amêndoa de macaíba

Minerais	Teor (%)
K	33,30
P	32,21
Mg	16,68
Ca	15,49
Mn	0,47
Fe	0,43
Si	0,39
Zn	0,37
S	0,18
Cu	0,18
Rb	0,15
Sr	0,06
Al	0,05
Ni	0,05

Esses elementos estão relacionados com efeitos benéficos a saúde, exercendo importante função reguladora, fisiológica e estrutural de muitas enzimas no corpo humano. Em comparação com as vitaminas, os minerais são mais resistentes ao processamento industrial, sugerindo que a amêndoa de macaíba pode agregar propriedades funcionais aos produtos alimentícios aos quais é incorporada em virtude da variedade de minerais em sua composição e suas funções biológicas (GHARIBZAHEDI; JAFARI, 2017).

A composição de ácidos graxos da amêndoa da macaíba é mostrada na Tabela 3. Os ácidos graxos predominantes foram os ácidos: láurico (42,27%), mirístico (16,79%), oleico (13,81%) e palmítico (10,63%), similares aos encontrados por Coimbra e Jorge (2012) para a amêndoa de macaíba.

Tabela 3 - Composição e quantidade relativa (%) de ácidos graxos identificados na amêndoa de macaíba

Ácidos graxos	(%)
Ácido caprílico (C8:0)	2,83
Ácido cáprico (C10:0)	2,92
Ácido láurico (C12:0)	42,27
Ácido mirístico (C14:0)	16,79
Ácido palmítico (C16:0)	10,63
Ácido esteárico (C18:0)	6,90
Ácido oleico (C18:1n9c)	13,81
Ácido linoleico (C18:2n6c)	3,85
AGS (saturados)	82,34
MUFA (monoinsaturados)	13,81
PUFA (poli-insaturados)	3,85

O perfil lipídico da amêndoa de macaíba é caracterizado principalmente por ácidos graxos saturados (82,34%), que é característico de amêndoas provenientes de frutos de outras palmeiras, como guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) e butiá (*Butia capitata*), que apresentaram teor de ácidos graxos saturados de 85,97%, 68% e 78,9%, respectivamente (COIMBRA; JORGE, 2011; FARIA et al., 2008).

A gordura saturada, embora alguns trabalhos apontem sua relação com o aumento do colesterol LDL (lipoproteína de baixa densidade), contribui para o funcionamento adequado do organismo quando ingerida como parte de uma alimentação equilibrada, por ser parte integrante das membranas celulares e importante no armazenamento de vitaminas. No corpo humano, os ácidos graxos de cadeia curta e média são utilizados como fontes de energia para os músculos, coração, fígado, rins, plaquetas do sangue e sistema nervoso, e não representam risco de obesidade (MICIŃSKI et al., 2012).

Estudos apontam que óleos ricos em ácido láurico têm ação antimicrobiana (YABUUCHI et al., 2006). Além disso, o ácido oleico é comprovadamente benéfico à saúde cardiovascular, pois está associado à redução da concentração de triglicerídeos e colesterol de baixa densidade (LDL). O ácido linoleico é um ácido graxo precursor dos demais ácidos graxos da família ômega-6, que possuem efeitos benéficos à saúde, assim como outros ácidos graxos poli-insaturados, como redução do risco de doenças coronarianas, câncer e níveis plasmáticos de triglicerídeos (INNES; CALDER, 2018; KRATZ; BAARS; GUYENET, 2013; MICIŃSKI et al., 2012). Alguns trabalhos chamam atenção para a relação do consumo de

oleaginosas com uma maior qualidade da dieta, assimilação de nutrientes e benefícios a saúde (BITOK; SABATÉ, 2018; CARDOSO et al., 2017).

A gordura afeta as propriedades tecnológicas dos alimentos, e conseqüentemente as características sensoriais como aparência (brilho, translucidez, coloração, uniformidade da superfície e cristalinidade), textura (viscosidade, elasticidade e dureza), sabor (intensidade de *flavor*, liberação de *flavor*, perfil de sabor e desenvolvimento de *flavor*) e o *mouthfeel* (derretimento, cremosidade, lubricidade, espessura e grau de *mouth-coating*) (CHAVES; BARRERA-ARELLANO; RIBEIRO, 2018). Considerando suas propriedades nutricionais, a amêndoa da macaíba pode ser utilizada no desenvolvimento de produtos alimentícios agregando sabor, características tecnológicas, sensoriais e potencial nutritivo com alegações de saúde.

Na Tabela 4 estão dispostos os resultados da caracterização física e físico-química do extrato hidrossolúvel de amêndoa de macaíba sabor goiaba. É possível observar que a bebida vegetal tem alto teor de água (81,64 g/100 g), lipídeos (5,43 g/100 g), carboidratos (11,31 g/100 g) e proteínas (0,97 g/100 g). Possui resíduo mineral no valor de 0,65 g/100 g, sólidos solúveis de 12 °Brix, pH ácido (4,85) e acidez de 1,59% ácido cítrico.

Tabela 4 - Propriedades físicas e físico-químicas do extrato hidrossolúvel de amêndoa de macaíba sabor goiaba

Parâmetros	Extrato hidrossolúvel
Acidez (% ácido cítrico)	1,59 ± 0,19
pH	4,85 ± 0,03
Sólidos solúveis (°Brix)	12,00 ± 0,01
Teor de água (g/100 g)	81,64 ± 0,09
Sólidos totais (g/100 g)	18,36 ± 0,09
Resíduo mineral fixo (g/100 g)	0,65 ± 0,04
Proteínas (g/100 g)	0,97 ± 0,02
Lipídeos (g/100 g)	5,43 ± 0,32
Carboidratos (g/100 g)	11,31 ± 0,09

Resultados distintos foram encontrados por Albuquerque et al. (2015) para extrato de amendoim, para os parâmetros teor de água (90,40 g/100 g), pH (6,70), acidez (0,30%), resíduo mineral (0,11 g/100 g) e proteínas (2,46 g/100 g). Valores de proteínas e lipídeos próximos aos encontrados por Bernat et al. (2015) para extratos hidrossolúveis de amêndoas

(1,37 g/100 g e 3,96 g/100 g) e avelã (0,65 g/100 g e 4,02 g/100 g), respectivamente. Valores menores de lipídeos (2,4 g/100 g) aos encontrados neste estudo foram destacados por Mäkinen et al. (2015) em extrato hidrossolúvel de quinoa e teor de proteínas (1,26 g/100 g) e pH (4,56) próximos.

Diferenças nas características físicas e físico-químicas nos extratos hidrossolúveis podem ser justificadas pela variação de espécies, tipo de extração e processamento.

O extrato hidrossolúvel da amêndoa de macaíba apresentou qualidade microbiológica satisfatória, não sendo detectadas crescimento microbiano de coliformes, estafilococos e *Salmonella* sp. O pH ácido (4,85) pode ter contribuído para a segurança microbiológica desse produto.

Na Tabela 5 é apresentada a média de escores e aceitabilidade dos atributos sensoriais avaliados no extrato hidrossolúvel de amêndoa de macaíba sabor goiaba. No geral, o extrato hidrossolúvel apresentou uma boa aceitação sensorial pelos provadores, exibindo escores (entre 7 e 8) de acordo com a escala hedônica de 9 pontos, variando de “Gostei moderadamente” a “Gostei muito”, sendo o aroma e a avaliação global as características melhor avaliadas pelos provadores, possivelmente pelo aroma de uma fruta já conhecida, a goiaba. Sua alta aceitação pode ser justificada pelo sabor doce, pouco ácido e textura viscosa devido ao alto teor de gordura e amido da amêndoa da macaíba.

Tabela 5 - Aceitação sensorial do extrato hidrossolúvel de amêndoa de macaíba sabor goiaba

Extrato hidrossolúvel	Cor	Aroma	Textura	Sabor	Aceitação global	Atitude de compra
Aceitação sensorial	7,5 ± 1,1	8,0 ± 0,7	7,7 ± 0,9	7,9 ± 0,9	8,0 ± 0,6	4,3 ± 0,7
Índice de aceitação (%)	82,8	88,8	85,3	87,4	88,8	85,0

Resultados similares foram alcançados por Wang, Chelikani e Serventi (2018) que obtiveram boa aceitação para os atributos de aparência, aroma, sabor, sensação na boca e aceitação global com notas por volta de 6 (escala de 9-pontos) para extrato hidrossolúvel de grão de bico. Assim como Góral et al. (2018), em sorvete a base de leite de coco, obtendo notas entre 4 e 5 (escala de 5-pontos) e Okyere e Odamtten (2014) em extrato hidrossolúvel de junça (*Cyperus esculentus*). Estes resultados mostram que é possível a obtenção de "leites vegetais" e produtos a partir destes com boa aceitação sensorial.

A atitude de compra descrita pelos provadores demonstrou escore de 4,3, de uma escala de 5 pontos, correspondendo a “provavelmente compraria”, o que pode ser justificado

pelas características sensoriais agradáveis do extrato hidrossolúvel similar a uma bebida láctea, e o uso de uma fruta tropical que faz parte da dieta dos consumidores, o que faz que o extrato hidrossolúvel se assemelhe ao sabor de suco de goiaba com adição de leite.

Para que um produto seja considerado bem aceito sensorialmente é necessário que apresente alto índice de aceitabilidade, acima de 70%. Observando os índices de aceitação constata-se que o extrato hidrossolúvel apresentou índices acima de 80%, variando de 82,8-88,8% para os parâmetros avaliados, mostrando que todas as características sensoriais avaliadas na bebida vegetal de amêndoa de macaíba foram bem aceitas, sugerindo que o extrato hidrossolúvel de amêndoa de macaíba, além de ser nutritivo e saboroso, poderia ser produzido e comercializado em escala industrial atendendo um novo nicho de alimentos sem lactose, os "leites vegetais".

CONCLUSÃO

A amêndoa de macaíba possui elevada qualidade nutricional, sendo fonte de proteínas, lipídeos, carboidratos, fibras, compostos bioativos, minerais, especialmente potássio, magnésio, cálcio, ferro e zinco, e ácidos graxos essenciais para uma dieta saudável. A partir dela é possível obter o extrato hidrossolúvel sabor goiaba, uma bebida vegetal de alto valor nutricional, sendo fonte de carboidratos, lipídeos, proteínas e minerais. Além de possuir boa aceitabilidade com relação aos parâmetros de cor, aroma, textura, sabor, aceitação global e atitude de compra, destacando-se como um novo produto alimentício.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 12994: Métodos de avaliação sensorial de alimentos e bebidas**, São Paulo, 1993, 2p.

ALBUQUERQUE, E. M. B.; ALMEIDA, F. A. C.; GOMES, J. P.; ALVES, N. M. C.; SILVA, W. P. Production of "peanut milk" based beverages enriched with umbu and guava pulps. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 1, p. 61–67, 2015.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19. ed. Washington DC: Gaithersburg, 2012.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 ed. Washington, D C: American Public Health Association, 2001. 676p.

BERNAT, N.; CHÁFER, M.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, J.; CHIRALT, A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Effect of high pressure homogenisation and heat treatment on physical

- properties and stability of almond and hazelnut milks. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 488–496, 2015.
- BITOK, E.; SABATÉ, J. Nuts and cardiovascular disease. **Progress in Cardiovascular Diseases**, v. 61, n. 1, p. 33-37, 2018.
- BORA, P. S.; ROCHA, R. V. M. Macaiba palm: fatty and amino acids composition of fruits. **Ciencia y Tecnología Alimentaria**, v. 4, n. 3, p. 158–162, 2004.
- BRASIL. Resolução - RDC N° 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, 2001. Disponível em:
<http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0018_03_04_2013.html>
- BRASIL. Ministério da Saúde: Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa envolvendo seres humanos. **Diário Oficial da União**, Brasília, Brasil, 2012.
- CARDOSO, B. R.; DUARTE, G. B. S.; REIS, B. Z.; COZZOLINO, S. M. F. Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, n. 1, p. 9–18, 2017.
- CHAVES, K. F.; BARRERA-ARELLANO, D.; RIBEIRO, A. P. B. Potential application of lipid organogels for food industry. **Food Research International**, v. 105, n. 1, p. 863-872, 2018.
- COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Fatty acids and bioactive compounds of the pulps and kernels of Brazilian palm species, guariroba (*Syagrus oleraces*), jervivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 3, p. 679–684, 2012.
- COIMBRA, M.; JORGE, N. Characterization of the pulp and kernel oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. **Journal of food science**, v. 76, n. 8, p. 1156-61, 2011.
- ČOLIĆ, S. D.; FOTIRIC, A. M. M.; LAZAREVIC, K. B.; ZEC, G. N.; GASIC, U. M.; DABIC, Z. D.; NATIC, M. M. Fatty acid and phenolic profiles of almond grown in Serbia. **Food Chemistry**, v. 234, n. 1, p. 455–463, 2017.
- DESSIMONI-PINTO, N. A. V.; SILVA, V. M.; BATISTA, A. G.; VIEIRA, G.; DUMONT, P. V.; SANTOS, G. K. M. Características físico-químicas da amêndoa de macaúba e seu aproveitamento na elaboração de barras de cereais. **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 1, p. 79–86, 2010.
- DUTCOSKY, S. D. Análise sensorial de alimentos. 2ª ed, Curitiba, PR: **Editora Universitária Champagnat**, 2007, 123p.
- FARIA, J. P.; ARELLANO, D. B.; GRIMALDI, R.; SILVA, L. C. R.; VIEIRA, R. F.; SILVA, D. B.; AGOSTINI-COSTA, T. S. Caracterização química da amêndoa de coquinho-azedo

- (*Butia capitata capitata*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 549–552, 2008.
- FDA - Food and drug administration. **Bacteriological Analytical Manual- BAM**. 2007. Disponível em: <<http://www.fda.gov/downloads/food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/UCM244774.pdf>> Acesso em: 17 ago. 2016.
- FERNANDES, D. C.; FREITAS, J. B.; CZEDER, L. P.; NAVES, M. M. V. Nutritional composition and protein value of the baru (*Dipteryx alata* Vog) almond from the Brazilian Savanna. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 10, p. 1650–1655, 2010.
- FERRAGUT, V.; HERNÁNDEZ-HERRERO, M.; VECIANA-NOGUÉS, M. T.; BORRAS-SUAREZ, M.; GONZÁLEZ-LINARES, J.; VIDAL-CAROU, M. C.; GUAMIS, B. Ultra-high-pressure homogenization (UHPH) system for producing high-quality vegetable-based beverages: Physicochemical, microbiological, nutritional and toxicological characteristics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 5, p. 953–961, 2015.
- FLORES-MATEO, G.; ROJAS-RUEDA, D.; BASORA, J.; ROS, E.; SALAS-SALVADÓ, J. Nut intake and adiposity: Meta-analysis of clinical trials. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 97, n. 6, p. 1346–1355, 2013.
- FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 226, p. 497–509, 1957.
- FRANCIS, F. J. Analysis of Anthocyanins. *In*: **Anthocyanins As Food Colors**. New York: Academic Press., p. 181–207, 1982.
- GHARIBZAHEDI, S. M. T.; JAFARI, S. M. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends in Food Science and Technology**, v. 62, p. 119-132, 2017.
- GÓRAL, M.; KOZŁOWICZ, K.; PANKIEWICZ, U.; GÓRAL, D.; KLUZA, F.; WÓJTOWICZ, A. Impact of stabilizers on the freezing process, and physicochemical and organoleptic properties of coconut milk-based ice cream. **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, p. 516–522, 2018.
- HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v. 22, p. 475–476, 1973.
- HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. **Journal of Food Science**, v. 27, n. 1, p. 42–49, 1962.
- INNES, J. K.; CALDER, P. C. Omega-6 fatty acids and inflammation. **Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v. 132, p. 41-48, 2018.
- KRATZ, M.; BAARS, T.; GUYENET, S. The relationship between high-fat dairy consumption and obesity, cardiovascular, and metabolic disease. **European Journal of Nutrition**, v. 52, n. 1, p. 1-24, 2013.

- MÄKINEN, O. E.; UNIACKE-LOWE, T.; O'MAHONY, J. A.; ARENDT, E. K. Physicochemical and acid gelation properties of commercial UHT-treated plant-based milk substitutes and lactose free bovine milk. **Food Chemistry**, v. 168, p. 630–638, 2015.
- MICIŃSKI, J.; ZWIERZCHOWSKI, G.; KOWALSKI, I. M.; SZAREK, J.; PIEROZYŃSKI, B.; RAISTENSKIS, J. The effects of bovine milk fat on human health. **Polish Annals of Medicine**, v. 19, n. 2, p. 170-175, 2012.
- OKYERE, A. A.; ODAMTTEN, G. T. Physicochemical, functional and sensory attributes of milk prepared from irradiated tiger nut (*Cyperus esculentus* L.). **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 7, n. 4, p. 583–588, 2014.
- ÖZCAN, M. M.; ÜNVER, A.; ERKAN, E.; ARSLAN, D. Characteristics of some almond kernel and oils. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 330–333, 2011.
- POLICARPI, P. B.; TURCATTO, L.; DEMOLINER, F.; FERRARI, R. A.; BASCUÑAN, V. L. A. F.; RAMOS, J. C.; JACHMANIÁN, I.; VITALI, L.; MICKE, G. A.; BLOCK, J. M. Nutritional potential, chemical profile and antioxidant activity of chichá (*Sterculia striata*) nuts and its by-products. **Food Research International**, v. 106, p. 736–744, 2018.
- SETHI, S.; TYAGI, S. K.; ANURAG, R. K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 9, p. 3408–3423, 2016.
- SLINKARD, K.; SINGLETON, V. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 28, n. 1, p. 49–55, 1977.
- STROHECKER, R.; ZARAGOZA, F. M.; HENINING, H. M. **Análisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 428 p., 1967.
- USDA. Scientific Report of the 2015 Dietary Guidelines Advisory Committee. **USDA**. Dietary Guidelines Advisory Committee, 2015. Disponível em: <<https://health.gov/dietaryguidelines/2015-scientific-report/>>.
- USDA US Department of Agriculture, Agricultural Research Service. **USDA**. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 23. Disponível em: Nutrient Data Laboratory Home Page: <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>.
- WANG, W.; CHELIKANI, V.; SERVENTI, L. Evaluation of chickpea as alternative to soy in plant-based beverages, fresh and fermented. **LWT - Food Science and Technology**, v. 97, p. 570–5724, 2018.
- YABUUCHI, Y.; MATSUSHITA, Y.; OTSUKA, H.; FUKAMACHI, K.; KOBAYASHI, Y. Effects of supplemental lauric acid-rich oils in high-grain diet on in vitro rumen fermentation. **Animal Science Journal**, v. 77, n. 3, p. 300–307, 2006.
- ZIELINSKI, A. A. F.; ÁVILA, S.; ITO, V.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G.; HAMINIUK, C. W. I. The Association between chromaticity, phenolics, carotenoids, and in vitro antioxidant activity of frozen fruit pulp in Brazil: An application of chemometrics. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 4, 2014.

5 CONCLUSÕES GERAIS

A polpa e a amêndoa de macaíba apresentaram alta qualidade nutricional, sendo fonte de lipídeos, amido, fibra bruta, proteínas e minerais, além de ácidos graxos essenciais, e compostos bioativos que contribuem para sua alta capacidade antioxidante. Pode também ser consideradas fontes de compostos fenólicos, além de apresentarem atividade antioxidante relacionada a esses compostos, podendo ser explorada comercialmente como fonte de antioxidantes naturais. Os extratos mais eficientes para a obtenção de compostos antioxidantes foram o metanólico e o aquoso, e o método de capacidade antioxidante que detectou máxima atividade foi o DPPH.

A polpa de macaíba apresentou importantes características tecnológicas similares a outras polpas de frutas, tendo apresentado comportamento de fluido não-newtoniano com características pseudoplásticas. Facilidade no processo de difusão da água, sofrendo influência da temperatura na cinética de secagem nas temperaturas de 50 °C, 60 °C, 70 °C e 80 °C. A secagem resultou em pós de macaíba com bom rendimento e boa qualidade nutricional, sendo fonte de lipídeos, amido, fibra bruta, proteínas e minerais, além de compostos bioativos que contribuíram para sua alta capacidade antioxidante. As temperaturas de secagem 70 °C e 80 °C permitiram menor tempo de secagem e, por isso, proporcionaram melhor preservação dos nutrientes e compostos antioxidantes; entretanto, a temperatura de 70 °C preservou melhor o teor de carotenoides, sendo considerada a melhor condição de secagem.

O pó de macaíba (70 °C) apresentou importantes características-físicas, como boa molhabilidade, coesividade, fluidez e solubilidade intermediárias, com propriedades morfológicas particulares. Mostrou-se com boa estabilidade higroscópica e físico-química durante 90 dias de armazenamento em embalagens de polietileno de baixa densidade laminado sob condições de temperatura de 25 °C e 35 °C, sofrendo alterações que não comprometeram a qualidade, sendo a condição a 25 °C a que preservou melhor a qualidade do pó.

A polpa de macaíba pode ser aplicada em produtos alimentícios, como em sorvetes, tanto na forma *in natura* quanto em pó, apresentando boa aceitabilidade sensorial e alta qualidade lipídica que implicaram nas suas propriedades tecnológicas, além de possuir segurança microbiológica. Do mesmo modo, a amêndoa da macaíba utilizada na produção de extratos hidrossolúveis saborizados com goiaba.

APÊNDICE A - Termo de consentimento livre e esclarecido do sorvete

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário(a) do estudo “*ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA POLPA E DA AMÊNDOA DA MACAÍBA (Acrocomia intumescens) DESIDRATADOS PARA INCORPORAÇÃO EM ALIMENTOS*”. Declaro que obtive todas as informações necessárias, bem como todos os eventuais esclarecimentos quanto às dúvidas por mim apresentadas.

Este trabalho pretende elaborar um sorvete a base de macaíba desidratada, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento de novos produtos com elevada qualidade nutricional. Estimular um maior aproveitamento da macaíba na alimentação humana, com importância e potencialidade para o desenvolvimento social e econômico do Nordeste e restante do país, com geração de emprego e renda para produtores, preservação ambiental e segurança dos alimentos. Para a avaliação da análise sensorial relativo aos sorvetes de macaíba será realizada a avaliação sensorial por meio de testes de aceitação e intenção de compra, o qual é muito utilizado para traçar o perfil de preferência sensorial do consumidor sobre a qualidade do produto.

O objetivo do estudo é obter respostas acerca da aceitação desse novo produto pelo potencial consumidor e sua intenção de compra caso esse produto chegue ao mercado. Para endossar a pesquisa serão realizadas análises físico-químicas e sensoriais disponibilizando assim informações detalhadas a respeito das características nutricionais, de opinião e atitudes dos consumidores.

Solicitamos a sua colaboração para a realização das análises sensoriais (lembrando que se trata de um derivado do leite de vaca e possui lactose em sua composição), como também sua autorização para apresentar os resultados deste estudo em eventos da área de alimentos, e publicar em revista científica. Por ocasião da publicação dos resultados, seu nome será mantido em sigilo.

Informamos que os produtos apresentados contêm riscos potenciais previsíveis e evitáveis, e que estes passaram por testes microbiológicos, sendo os mesmos aprovados para o consumo. Durante o decorrer da entrevista e da análise sensorial o participante pode se sentir constrangido a responder determinada pergunta ou a não querer proceder com o teste sensorial sendo possível não responder ou deixar o local sem qualquer prejuízo. É importante enfatizar que o produto contém lactose. Diante do exposto, declaro que fui devidamente esclarecido(a) e dou meu consentimento para participar da pesquisa e para publicação dos resultados. Estou ciente que receberei uma cópia desse documento.

João Pessoa - PB, ____ de _____ de 2018.

Participante da Pesquisa

Testemunha : _____

Responsável pelo Projeto:

Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro

APÊNDICE B - Formulário de análise sensorial do sorvete**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Análise Sensorial de sorvete de macaíba**

Idade: _____ Gênero: () Masculino () Feminino Escolaridade: _____

Você está recebendo três amostras codificadas. Por favor, deguste uma por vez fazendo uso da água entre uma amostra e outra. Coloque a nota para cada característica de cada amostra de acordo com a escala abaixo:

- (9) Gostei MUITÍSSIMO
- (8) Gostei Muito
- (7) Gostei Moderadamente
- (6) Gostei Ligeiramente
- (5) Nem gostei, Nem Desgostei
- (4) Desgostei Ligeiramente
- (3) Desgostei Moderadamente
- (2) Desgostei Muito
- (1) Desgostei MUITÍSSIMO

ATRIBUTO	NOTA		
Aparência			
Cor			
Aroma			
Textura			
Doçura			
Sabor			
Aceitação global			

ATITUDE DE COMPRA:

- (5) Compraria
- (4) Possivelmente compraria
- (3) Talvez compraria/ talvez não compraria
- (2) Possivelmente não compraria
- (1) Não compraria

Amostra	Nota

Comentários: _____

Obrigada!

APÊNDICE C - Termo de consentimento livre e esclarecido da bebida vegetal

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado (a) Senhor (a)

Esta pesquisa é sobre a Aceitação de Bebida Vegetal da Amêndoa da Macaíba com adição de Polpa de Goiaba. A pesquisa está sendo desenvolvida por: Elizama Rosa de Lima, aluna do Curso Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba, sob a orientação do Professor Dr. Ricardo Targino Moreira e coorientação da Ma Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro e está norteado pela Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

O objetivo do estudo é elaborar uma bebida com o intuito de contribuir para o desenvolvimento de novos produtos com elevada qualidade nutricional. Oferecer uma alternativa para indivíduos alérgicos ou com hipersensibilidade aos componentes do leite bovino, à soja e cereais, ou ainda àqueles que não incluem o leite bovino no seu hábito alimentar. Além de estimular um maior aproveitamento da macaíba na alimentação humana, com importância e potencialidade para o desenvolvimento social e econômico do Nordeste e restante do país, com geração de emprego e renda para produtores, preservação ambiental e segurança dos alimentos.

Solicitamos a sua participação na análise sensorial da bebida na qualidade de julgador a fim de avaliar uma amostra de bebida de amêndoa da macaíba com goiaba. Por ocasião da publicação dos resultados, seu nome será mantido em sigilo. Informamos que essa pesquisa não oferece riscos, previsíveis, para a sua saúde. Caso o participante apresente alergia ou intolerância a qualquer componente da formulação, não será possível participar da pesquisa.

Esclarecemos que sua participação no estudo é voluntária e, portanto, o(a) senhor(a) não é obrigado(a) a fornecer as informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo Pesquisador(a). Caso decida não participar do estudo, ou resolver a qualquer momento desistir do mesmo, não sofrerá nenhum dano, nem haverá modificação na assistência que vem recebendo na Instituição. Os pesquisadores estarão a sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

Diante do exposto, declaro que fui devidamente esclarecido(a) e dou o meu consentimento para participar da pesquisa e para publicação dos resultados. Estou ciente que receberei uma cópia desse documento.

Assinatura do Participante da Pesquisa

Assinatura da Testemunha

Contato com o Pesquisador (a) Responsável

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, fazer contato com a pesquisadora:

Elizama Rosa de Lima. Contato: (83) 987100358.

Ou

Comitê de Ética em Pesquisa do CCS/UFPB – Cidade Universitária / Campus I. Bloco Arnaldo Tavares, sala 812 – Fone: (83) 3216-7791

Atenciosamente,

Elizama Rosa

M^a Jéssica Lisana

Prof. Dr. Ricardo Targino

APÊNDICE D - Formulário de análise sensorial do extrato vegetal



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE ANÁLISE SENSORIAL

Teste de Aceitação e Atitude de Compra

Você está recebendo uma amostra de bebida vegetal da amêndoa da macaíba com adição de polpa de goiaba. Prove e indique o quanto você gostou ou desgostou de cada um dos atributos sensoriais do produto, dando nota de acordo com a escala abaixo. Atente para a sequência dos atributos.

- 9) Gostei muitíssimo
- 8) Gostei muito
- 7) Gostei moderadamente
- 6) Gostei ligeiramente
- 5) Nem gostei/ Nem desgostei
- 4) Desgostei ligeiramente
- 3) Desgostei moderadamente
- 2) Desgostei muito
- 1) Desgostei muitíssimo

Atributos	Nota
Cor	
Aroma	
Sabor	
Textura	
Avaliação Global	

Indique sua atitude ao encontrar este produto no mercado

- 5) Compraria
- 4) Possivelmente compraria
- 3) Talvez comprasse / talvez não comprasse
- 2) Possivelmente não compraria
- 1) Não compraria

Amostra	Atitude

Comentário:

ANEXO A - Parecer consubstanciado do comitê de ética em pesquisa

UFCG - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO ALCIDES
CARNEIRO DA UNIVERSIDADE



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de bebida vegetal a base de macaíba

Pesquisador: Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 56872116.5.0000.5182

Instituição Proponente: Centro de Ciências e Tecnologia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.618.936

Apresentação do Projeto:

Projeto de Tese: Desenvolvimento de bebida vegetal a base de macaíba

Esse projeto trata-se de uma emenda: O projeto foi parcialmente modificado devido a testes preliminares realizados sobre o desenvolvimento de bebida vegetal, proposta anterior, que apontaram a inviabilidade da produção da bebida devido ao seu grau de degradação lipídica promovendo sabor de ranço ao produto.

Resumo conforme autora:

A macaíba (*Acrocomia intumescens*) é um fruto rico em lipídios, carboidratos totais, fibras, sais inorgânicos, proteínas, potássio, cálcio, fósforo, corantes e ácido oleico, além de atividade antioxidante. Apesar do seu alto valor nutricional esse fruto tem sido pouco utilizado na alimentação humana e pouco explorado na área científica. A busca por produtos saudáveis, com apelo funcional, utilização de matérias-primas exóticas e com características tecnológicas importantes vem de encontro a fontes alimentares potenciais, como a macaíba. Com isso, esse trabalho tem como objetivo estudar o potencial nutricional e tecnológico desse fruto, além de contribuir para o desenvolvimento de novos produtos.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo geral: Estudo do aproveitamento da polpa e da amêndoa da macaíba (*Acrocomia intumescens*) desidratados para incorporação em alimentos;

Endereço: Rua Dr. Carlos Chagas, s/n

Bairro: São José

CEP: 58.107-870

UF: PB

Município: CAMPINA GRANDE

Telefone: (83)2101-5545

Fax: (83)2101-5523

E-mail: cep@huac.ufcg.edu.br

UFCG - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO ALCIDES
CARNEIRO DA UNIVERSIDADE



Continuação do Parecer: 2.613.938

Objetivos específicos:

- Determinar os parâmetros físico-químicos, físicos e químicos da polpa e da amêndoa da macaíba;
- Determinar o perfil de ácidos graxos da polpa e da amêndoa;
- Avaliar o comportamento reológico da polpa de macaíba em diferentes temperaturas (10-50 °C) e velocidades de rotação;
- Determinar a cinética de secagem da polpa de macaíba com espessura da camada de 0,5 cm em diferentes temperaturas (60, 70 e 80 °C);
- Extrair o extrato hidrossolúvel da amêndoa da macaíba;
- Desidratar o extrato hidrossolúvel da amêndoa da macaíba através do processo de liofilização;
- Caracterizar os constituintes químicos, físicos e físico-químicos dos pós da polpa de macaíba obtidos nas diferentes temperaturas (60, 70 e 80 °C) e o pó do extrato hidrossolúvel da amêndoa da macaíba liofilizado;
- Selecionar o melhor pó da polpa de macaíba de acordo com os parâmetros químicos, físicos e físico-químicos e avaliá-lo quanto à qualidade microbiológica;
- Determinar as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C do pó da polpa de macaíba selecionada e do pó do extrato hidrossolúvel da amêndoa da macaíba liofilizado;
- Elaborar sorvetes com adição de polpa de macaíba e polpa da macaíba desidratada;
- Realizar análise sensorial dos sorvetes elaborados com adição da polpa de macaíba e da polpa da macaíba desidratada

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos conforme autora:

Riscos potenciais previsíveis e evitáveis. Durante o decorrer da entrevista e da análise sensorial o participante pode se sentir constrangido a responder determinada pergunta ou a não querer proceder com o teste sensorial sendo possível não responder ou deixar o local sem qualquer prejuízo. É importante enfatizar que o produto contém lactose

Benefícios conforme autora:

Trazer mais informações nutricionais e tecnológicas da macaíba e oferecer uma alternativa para sua inclusão no desenvolvimento de novos produtos, através da formulação do sorvete com qualidade nutricional e sensorial aproveitando os benefícios da macaíba.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Espera-se com esse estudo, desenvolver um novo produto com qualidade nutricional e sensorial,

Endereço: Rua Dr. Carlos Chagas, s/n
Bairro: São José CEP: 58.107-870
UF: PB Município: CAMPINA GRANDE
Telefone: (83)2101-5545 Fax: (83)2101-5523 E-mail: cap@huar.ufcg.edu.br

UFCG - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO ALCIDES
CARNEIRO DA UNIVERSIDADE



Continuação do Parecer: 2.014.938

aproveitando os benefícios da macaíba, oferecendo uma alternativa mais saudável. Espera-se ainda encontrar indícios de qualidade da gordura do fruto, capacidade antioxidante e características reológicas satisfatórios tanto para a indústria quanto para o consumidor.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

OS seguintes termos foram apresentados:

- Projeto detalhado;
- TCLE;
- Folha de rosto;
- Declaração pesquisadores;
- Declaração de Instituição e Infraestrutura
- Instrumento de coleta de dados.

Recomendações:

Sem recomendações.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto atende os requisitos da resolução 466/12, por isso sou de parecer favorável a execução do mesmo.

Considerações Finais a critério do CEP:

Parecer aprovado em reunião realizada em 23 de abril de 2018.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_107233_6_E1.pdf	15/03/2018 11:22:36		Aceito
Outros	correcao_pendencias.docx	15/03/2018 11:21:56	Jessica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Outros	INSTRUMENTOS.docx	15/03/2018 11:15:11	Jessica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Parecer Anterior	PB_PARECER_CONSUBSTANCIADO_CEP_2539923_E1.pdf	15/03/2018 11:12:26	Jessica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	15/03/2018 11:01:21	Jessica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura	Projeto.docx	15/03/2018 10:56:23	Jessica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito

Endereço: Rua: Dr. Carlos Chagas, s/n
Bairro: São José CEP: 58.107-670
UF: PB Município: CAMPINA GRANDE
Telefone: (83)2101-5545 Fax: (83)2101-5523 E-mail: cep@huac.ufcg.edu.br

UFCG - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO ALCIDES
CARNEIRO DA UNIVERSIDADE



Continuação do Parecer: 2.418.006

Investigador	Projeto.docx	15/03/2018 10:56:23	Jessica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Declaração de Pesquisadores	IMG_20160531_161941427.jpg	15/03/2018 10:55:51	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Declaração de Pesquisadores	IMG_20160531_161931349.jpg	15/03/2018 10:55:11	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Folha de Rosto	folha_rosto.docx	15/03/2018 10:52:25	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CAMPINA GRANDE, 25 de Abril de 2018

Assinado por:
Januse Nogueira de Carvalho
(Coordenador)

Endereço: Rua: Dr. Carlos Chagas, s/n
Bairro: São José CEP: 58107-870
UF: PB Município: CAMPINA GRANDE
Telefone: (83)2101-5545 Fax: (83)2101-5523 E-mail: cnp@huac.ufcg.edu.br

ANEXO B - Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP)

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
ALCIDES CARNEIRO /
UNIVERSIDADE FEDERAL DE



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de bebida vegetal a base de macaíba

Pesquisador: Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 56872116.5.0000.5182

Instituição Proponente: Centro de Ciências e Tecnologia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.538.194

Apresentação do Projeto:

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de bebida vegetal a base de macaíba

Pesquisador Responsável: Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro

Resumo da autora:

A macaíba (*Acrocomia intumescens*) é um fruto rico em lipídios, carboidratos totais, fibras, sais inorgânicos, proteínas, potássio, cálcio, fósforo, corantes e ácido oleico, além de atividade antioxidante. Apesar do seu alto valor nutricional esse fruto tem sido pouco utilizado na alimentação humana e pouco explorado na área científica. Os extratos vegetais surgiram como uma alternativa de bebida não-láctea em todo o mundo, uma vez que a população total de indivíduos alérgicos tem aumentado nos últimos anos. Essas bebidas são direcionadas para os consumidores que sofrem de intolerância à lactose, principalmente as crianças, e hipersensibilidade ao leite bovino, e aqueles que procuram por bebidas vegetais, como uma escolha de hábito alimentar. Tendo em vista a necessidade de aproveitamento do fruto e do desenvolvimento de alternativas alimentares saudáveis e nutricionais para atender uma demanda crescente de bebidas vegetais, este trabalho tem como objetivo a elaboração de uma bebida vegetal preparada a partir do extrato da amêndoa da macaíba adicionada de sua polpa. Para isso, será realizada a desintegração da amêndoa com água para obtenção do extrato e o preparo de três formulações variando-se a quantidade de polpa e extrato. As bebidas serão avaliadas nas suas

Endereço: Rua Dr. Carlos Chagas, s/n

Bairro: São José

CEP: 58.107-670

UF: PB

Município: CAMPINA GRANDE

Telefone: (83)2101-6545

Fax: (83)2101-5523

E-mail: cep@huar.ufcg.edu.br

Continuação do Parecer: 1.638.194

características reológicas, microbiológicas, sensoriais e físico-químicas.

Objetivo da Pesquisa:

2.1. Objetivo geral

Estudar os aspectos tecnológicos, nutricionais, sensoriais e de armazenabilidade envolvidos na elaboração de uma bebida vegetal preparada do extrato da amêndoa da macaíba adicionada de sua polpa (*Acrocomia Intumescens*).

2.2. Objetivos específicos

- Determinar os parâmetros físico-químicos (composição centesimal, vitaminas e minerais, compostos bioativos e ácidos graxos) da polpa e amêndoa da macaíba;
- Obter o extrato da amêndoa da macaíba mediante processos de desintegração e centrifugação;
- Testar a formulação de três bebidas vegetais variando-se as concentrações de extrato de amêndoa da macaíba, da polpa;
- Avaliar o comportamento reológico da melhor formulação da bebida vegetal com diferentes concentrações de goma xantana (0,3%, 0,7% e 1,0%) e diferentes temperaturas, utilizando-se ensaios estacionários;
- Determinar o perfil de ácidos graxos e de aminoácidos das bebidas;
- Avaliar o potencial antioxidante das bebidas preparadas;
- Realizar a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) das bebidas vegetais elaboradas;
- Monitorar os atributos de qualidade e o grau de oxidação lipídica da melhor formulação durante um período de armazenamento de 30 dias em refrigeração.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

A palmeira macaíba, *Acrocomia Intumescens*, é nativa das Américas tropicais tendo sua ocorrência bastante comum no Nordeste do Brasil, no entanto, tem sido explorada de forma extrativista e se tornado cada vez mais raro encontrar suas palmeiras.

Portanto, o problema a ser analisado nessa tese é a falta de alternativas alimentares para consumidores intolerantes ou alérgicos a lactose, proteínas lácteas e soja, ou que optaram por hábitos alimentares que excluem o leite da dieta.

Endereço: Rua Dr. Carlos Chagas, s/n
Bairro: São José CEP: 55.107-870
UF: PB Município: CAMPINA GRANDE
Telefone: (83)2101-8545 Fax: (83)2101-8523 E-mail: cnpq@huaicufq.edu.br

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
ALCIDES CARNEIRO /
UNIVERSIDADE FEDERAL DE



Continuação do Parecer: 1.638.194

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Conforme a autora:

Este trabalho pretende elaborar uma bebida vegetal a base de extrato da amêndoa da macaíba adicionada de sua polpa, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento de novos produtos com elevada qualidade nutricional. Oferecer uma alternativa para indivíduos alérgicos ou com hipersensibilidade aos componentes do leite bovino, a soja e cereais, ou ainda àqueles que não incluem o leite bovino no seu hábito alimentar. Estimular um maior aproveitamento da macaíba na alimentação humana, com importância e potencialidade para o desenvolvimento social e econômico do Nordeste e restante do país, com geração de emprego e renda para produtores, preservação ambiental e segurança dos alimentos.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Apresentação de todos os itens necessário ao Comitê de ética como:

Informações básicas do Projeto;

Folha de Rosto

Instrumentos

TCLE

Projeto detalhado

Declaração dos pesquisadores

Declaração da instituição

Recomendações:

O projeto está bem instruído e com objetivos claros e instrumentos da pesquisa anexado a plataforma. Quando da análise do projeto, observa-se que o mesmo está de encontro o que preconiza a RESOLUÇÃO Nº 466, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2012.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

De acordo com as discussões mencionadas nas recomendações, somos de parecer favorável a APROVAÇÃO.

Considerações Finais a critério do CEP:

O Colegiado acatou o parecer APROVADO do relator em reunião realizada em 15 de julho de 2016.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Endereço: Rua Dr. Carlos Chagas, s/n
Bairro: São José CEP: 58.107-670
UF: PB Município: CAMPINA GRANDE
Telefone: (83)2101-6545 Fax: (83)2101-6523 E-mail: cep@huac.ufcg.edu.br

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
ALCIDES CARNEIRO /
UNIVERSIDADE FEDERAL DE



Continuação do Parecer: 1.638.194

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_711801.pdf	31/05/2016 16:42:16		Aceito
Folha de Rosto	folha_rosto.docx	31/05/2016 16:41:29	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Outros	INSTRUMENTOS.docx	31/05/2016 16:38:57	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	31/05/2016 16:37:53	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto.docx	31/05/2016 16:36:31	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Declaração de Pesquisadores	IMG_20160531_161941427.jpg	31/05/2016 16:29:58	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Declaração de Pesquisadores	IMG_20160531_161931349.jpg	31/05/2016 16:29:24	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	IMG_20160531_161829295.jpg	31/05/2016 16:28:18	Jéssica Lisana Ouriques Brasileiro	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CAMPINA GRANDE, 15 de Julho de 2016

Assinado por:
Janusa Nogueira de Carvalho
(Coordenador)

Endereço: Rua. Dr. Carlos Chagas, s/n

Bairro: São José

CEP: 58.107-670

UF: PB

Município: CAMPINA GRANDE

Telefone: (83)2101-6545

Fax: (83)2101-6523

E-mail: oep@hucc.ufcg.edu.br