



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

KHAREN DOS ANJOS MENDES

OBTENÇÃO DE UM PRODUTO DESIDRATADO A BASE DE JACAIACÁ (*Antrocaryon  
amazonicum* (Ducke) Burtt. & Hill) E CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida* L.) EM LEITO DE  
JORRO

BELÉM  
2016

KHAREN DOS ANJOS MENDES

OBTENÇÃO DE UM PRODUTO DESIDRATADO A BASE DE JACAIACÁ (*Antrocaryon amazonicum* (Ducke) Burt. & Hill) E CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida* L.) EM LEITO DE JORRO

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do grau de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Orientador: Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues.

BELÉM

2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**

---

M538o Mendes, Kharen dos Anjos

Obtenção de um produto desidratado a base de jacaíacá  
(Antrocaryon amazonicum (Ducke) Burt. & Hill) e cará-roxo  
(Dioscorea trifida L.) em leite de jorro / Kharen dos Anjos  
Mendes. — 2016.  
92 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia,  
Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

1. Jacaíacá. 2. Cará-roxo. 3. Leite de jorro. 4.  
Secagem. I. Título.

CDD 664.0284

---

OBTENÇÃO DE UM PRODUTO DESIDRATADO A BASE DE JACAIACÁ (*Antrocaryon amazonicum* (Ducke) Burt. & Hill) E CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida* L.) EM LEITO DE JORRO

KHAREN DOS ANJOS MENDES

**Data:**

**Conceito:**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues  
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Orientador)

---

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena  
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Membro interno)

---

Prof. Dr. Camilo Barroso Teixeira  
(PPGF/UFPA – Membro externo)

---

Profa. Dra. Cristiane Maria Leal Costa  
(PPEQ/ITEC/UFPA – Membro externo)

---

Profa. Dra. Ana Vania Carvalho  
(PPGCTA/ UFPA – Membro interno)

BELÉM

2016

Aos meus pais, Walker e Ivete pelo  
amor incondicional, dedicação e  
incentivo em todos os momentos.

Coisas que os olhos não viram, nem os ouvidos ouviram, nem o coração humano imaginou, tais são os bens que Deus tem preparado para aqueles que o amam.

1 Coríntios 2:9

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela benção de cursar o tão sonhado Mestrado e ser minha força em todo o decorrer de estudos.

Aos meus pais Walker e Ivete por todo amor, carinho, cuidado, paciência, palavras de força, orações e imensuráveis incentivos durante toda minha trajetória.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Manoel pela oportunidade concedida e pela orientação. Por ter acreditado e confiado no meu potencial, pelos ensinamentos, sugestões para o desenvolvimento deste trabalho.

A professora Dra. Luiza Meller pela oportunidade concedida e grandes contribuições prestadas ao trabalho para que ele se tornasse cada vez melhor.

A minha amiga irmã Paulinha grata pela amizade, ensinamentos, incentivos, conselhos e palavras de ânimo.

A minha amiga Josi Viana, pela amizade, incentivos e orações.

Ao trio Cinty, Samiria e Raiane, minha eterna gratidão por tudo que fizeram, sem medir esforços, pelas conversas, conselhos e amizade.

A todos os companheiros do LAMEFI, pelas conversas, conhecimentos, ajuda, convívio e carinho, em especial Marcus (por ensinar a manusear o leite de jorro e demais análises), Aline Nakata, Aline Ozana, Rebeca, Márlia, Carol V., Danilo, Dayala (por dispor de um tempo para me ensinar análises e o tratamento dos dados, estatística e afins), Paulo (companheiro de secagem), Leticia, Layra, Neto, Wasley, Homero, Carina, Gabriel, Weberth, Diego, Natalia e Yasmim pela ajuda no processamento do jacaiacá, cará-roxo e demais análises; a Paty, Dani e Jézica pelos momentos de descontração e amizade.

A Josi e Wanessa, pois não mediram esforços para conseguir os frutos de jacaiacá em Cametá, que foram utilizados nesta pesquisa. Minha gratidão.

Ao professor Dr. Rosinelson Pena por disponibilizar o equipamento VSA para a construção das isotermas de sorção e a Mayara e Flávia (LAFAMI) pelos tratamentos com as mesmas.

Ao LABIOTEC, por disponibilizar o laboratório, equipamentos, materiais e reagentes em boa parte da minha dissertação.

Ao LAPESCA, por disponibilizar equipamentos para realização de análises deste estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pela oportunidade de mestrado.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Rosinelson Pena, Dr. Camilo Teixeira, Dra. Cristiane Costa e Dra. Ana Vânia Carvalho pelas valorosas contribuições.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.

A todas as pessoas que não foram mencionadas, mas colaboraram de forma direta ou indireta ao longo do mestrado. Muito Obrigada!

## RESUMO

MENDES, Kharen dos Anjos, **Obtenção de um produto desidratado a base de jacaicá (*antrocaryon amazonicum* (ducke) burtt. & hill) e cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.) em leite de jorro**, 2016, 91f, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Pará, Belém.

Este estudo teve como objetivo elaborar um suplemento alimentar em pó, a partir da desidratação do *mix* obtido através da polpa de frutos do jacaicá (*antrocaryon amazonicum* (ducke) e de tubérculos de cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.). O processo de secagem foi efetuado em secador fluidizado, tipo leite de jorro com alimentação intermitente. Neste estudo foram avaliados os efeitos térmicos, decorrente do processo de secagem sobre características sensoriais, nutricionais e propriedades funcionais tecnológicas do produto em pó obtido. As temperaturas do agente secante (ar atmosférico) empregadas foram 70, 80 e 90°C. Ensaio de caracterização físico-química, de compostos bioativos e atividade antioxidante (compostos fenólicos, antocianinas, ácido ascórbico, carotenoides totais e antioxidantes), foram realizados com a finalidade de avaliar os efeitos térmicos do processo de secagem. Associado a esses ensaios também foram realizadas análises de granulometria e densidade aparente e de compactação, propriedades tecnológicas (índice de solubilidade em água e índice de absorção em água), fluidez, caracterização morfológica e o estudo das isotermas de sorção de umidade a 25°C, do *mix* obtido em leite de jorro. Os produtos apresentaram umidade e atividade de água dentro da faixa de segurança (1,49 a 7,83% e 0,30 a 0,46, respectivamente) do ponto de vista microbiológico estabelecida para alimentos secos. Não foi observado influência térmica na fluidez dos pós. Os produtos apresentaram ângulos de repouso menores que 45° e foram classificados como sendo de escoamento livre e baixa densidade aparente e de compactação. Em relação à cor, os pós apresentaram forte tendência ao vermelho. O componente Chroma (C\*) revelou que o *mix* a 90°C apresentou uma maior intensidade de cor comparada as outras amostras. Os pós foram classificados como muito distintos para  $\Delta E$ . Os produtos podem ser considerados uma excelente fonte de compostos fenólicos (3171,71 a 1296,30 mg AGE/100g) e com conteúdos notáveis de antocianinas (47,52 a 38,36 mg/100g b.s) e ácido ascórbico (285,61 a 58,09 mg/100g b.s). Os pós apresentaram elevada capacidade antioxidante e com conteúdo satisfatório mesmo após a secagem (ABTS: 500,16 a 204,16  $\mu\text{mol}$  de TE/g b.s e DPPH 15,66 a 2,52  $\mu\text{mol}$  de TE/g b.s). O *mix* em pó não apresentou partículas uniformes. O maior percentual de massa retida para os pós nas diferentes temperaturas, estavam na base do equipamento (47,04 a 68,61%) e na peneira de 60 mesh (250 mm). Todos os produtos apresentaram baixa solubilidade à temperatura ambiente (20,74 a 21,34 %). Para o IAA dos pós, observou-se que em temperatura ambiente o amido presente na composição dos pós, não gelatinizou. Através da morfologia das partículas foi possível distinguir alguns grânulos de amido com diferentes formas e tamanhos. As isotermas de sorção de umidade indicaram que o *mix* em pó não deve ser seco em níveis de umidade inferiores a 4,98 H<sub>2</sub>O/100 g e que o produto seco já terá estabilidade microbiológica garantida quando apresentar 12,64 g H<sub>2</sub>O g b.s. de umidade. O modelo de GAB foi o que melhor se ajustou, tendo boa precisão para as isotermas de sorção de umidade do produto (adsorção: R<sup>2</sup>: 0,9987 e P: 6,3079% e dessorção: R<sup>2</sup>: 0,9997 e P: 1,85%).

**Palavra chave:** jacaicá, cará-roxo, leite de jorro, secagem, *mix*.

## ABSTRACT

MENDES, Kharen dos Anjos, **Obtaining a product dehydrated the basis of jacaiaça (*Antrocaryon amazonicum* (Ducke) Burt. & Hill) and cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.) by spouted bed**, 2016, 91f, Thesis (Master) - Program Graduate in Food Science and Technology. Federal University of Pará, Belém.

This study aimed to develop a food supplement powder, from the dehydration of the mix obtained from the pulp of fruits of jacaiaça (*Antrocaryon amazonicum* (Ducke) Burt. & Hill) and of yams-purple tubers (*Dioscorea trifida* L.). The drying process was carried out in a fluidized dryer, spouted bed type with intermittent feeding. This study evaluated the thermal effects resulting from the drying process on sensory characteristics, nutritional and technological functional properties of the product obtained powder. The temperatures of the drying agent (atmospheric air) used were 70, 80 and 90°C. Assays physical-chemical characterization of bioactive compounds and antioxidant (phenolic compounds, anthocyanins, ascorbic acid, carotenoids, and antioxidants total) were conducted in order to evaluate the heat effects of the drying process. Associated with these assays were also performed tests for physical characteristics of powders (particle size and apparent density and compression), technological properties (Water solubility index WSI and Water absorption index WAI), fluidity, morphological characterization and study of moisture sorption isotherms at 25° C, the mix obtained in spouted bed. The products had moisture and water activity within the safety range (1.49 to 7.83% and from 0.30 to 0.46, respectively) from the microbiological point of view established for dry food. There was no thermal influence on flowability of powders. The product had smaller rest angles 45° and were classified as being free flowing and low apparent density and compression. Regarding color, the powders showed strong tendency to red. The Chroma component (C\*) revealed that the mix at 90° C had a higher color intensity compared to the other samples. The powders were classified as very different to  $\Delta E$ . Products may be considered an excellent source of phenolic compounds (3171.71 to 1296.30 mg GAE/100g) and with remarkable anthocyanin content (47.52 to 38.36 mg/100g d.b) and ascorbic acid (285.61 to 58.09 mg/100g d.b). The powders showed high antioxidant capacity and satisfactory content even after drying (DPPH: 500.16 to 204.16  $\mu\text{mol TE/g d.b}$  and ABTS: 15.66 to 2.52  $\mu\text{mol TE/g d.b}$ ). The powder mix showed no uniform particles. The higher mass percentage retained for post at different temperatures were the basis of the equipment (47,04 a 68,61%) and the sieve 60 mesh (250  $\mu\text{m}$ ). All products obtained had low solubility at room temperature (20.74 to 21.34%). For the powders of WAI it was observed that at room temperature the starch present in the composition of the post, ungelatinized. Through particle morphology it was possible to distinguish some starch granules with different shapes and sizes (which have the shapes and values). The moisture sorption isotherms indicated that the powder mix should not be dried at lower moisture levels to 4.98  $\text{H}_2\text{O}/100 \text{ g}$ , and the dried product will have already secured microbiological stability when presenting 12.64g  $\text{H}_2\text{O g d.b}$  humidity. The GAB model was the best fit, with good accuracy for the product moisture sorption isotherms (adsorption:  $R^2$ : 0.9987 and P: 6.3079% and desorption:  $R^2$ : 0.9997 and P: 1,85%).

**Keyword:** jacaiaça, yams purple, spouted bed, drying, *mix*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Jacaiacá ( <i>Antrocaryon amazonicum</i> ) maduro.....	18
Figura 2	Cará-roxo ( <i>Dioscorea trifida</i> L.).....	19
Figura 3	Regiões características de um leito de jorro.....	26
Figura 4	Etapas da secagem de pastas em leito de jorro com partículas inertes.....	27
Figura 5	Fluxograma de obtenção da polpa de jacaiacá.....	33
Figura 6	Fluxograma de obtenção da polpa de cará-roxo.....	34
Figura 7	<i>Mix</i> obtido com as polpas de jacaiacá e cará-roxo.....	35
Figura 8	Diagrama esquemático do secador de leito de jorro. Soprador de ar (1); Aquecedor elétrico (2); Controlador de corrente elétrica (3); Válvula de regulação do ar de entrada (4); Ponto de tomada do fluxo de ar (5); Bomba peristáltica (6); Leito de jorro (7); Termopar (8); Ciclone (9); Psicrômetro (10); Alimentação da pasta (11).....	36
Figura 9	Estrutura de suporte e funil para a análise de fluidez.....	45
Figura 10	Perdas de compostos bioativos no <i>mix</i> liofilizado (controle) e pós obtidos na secagem em leito de jorro em relação ao <i>mix</i> em pasta (base seca).....	59
Figura 11	Perdas de antioxidantes no <i>mix</i> liofilizado (controle) e pós obtidos na secagem em leito de jorro em relação ao <i>mix</i> em pasta (base seca).....	61
Figura 12	Percentual de pós de jacaiacá com cará-roxo retidos em diferentes telas.....	63
Figura 13	Micrografias do <i>mix</i> de jacaiacá com cará-roxo com um aumento de 500 (A/C/E) e 1500 vezes (B/D/F).....	67
Figura 14	Isoterma de sorção de umidade do <i>mix</i> de jacaiacá com cará-roxo desidratado em leito de jorro a 70°C.....	70
Figura 15	Isotermas de (a) adsorção e (b) dessorção de umidade, do <i>mix</i> de jacaiacá com cará-roxo seco em leito de jorro a 70°C, experimentais (marcadores) e preditas pelo modelo de GAB (linha).....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Modelos utilizados na predição de isotermas de sorção.....	46
Tabela 2	Caracterização físico-química das polpas in natura de jacaíacá e cará-roxo.....	48
Tabela 3	Determinação dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante da polpa de jacaíacá.....	50
Tabela 4	Determinação dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante da polpa de cará-roxo.....	51
Tabela 5	Efeito da secagem em diferentes condições de temperatura do mix em pó (Conteúdo de umidade, atividade de água, fluidez e densidade).....	53
Tabela 6	Parâmetros de cor CIELab*, croma, ângulo hue e $\Delta E^*$ .....	55
Tabela 7	Efeito da secagem nos compostos bioativos em diferentes condições de temperatura no mix em pó e mix liofilizado (controle) .....	57
Tabela 8	Efeito da secagem na capacidade antioxidante (ABTS e DPPH) em diferentes condições de temperatura no mix em pó e mix liofilizado (controle).....	60
Tabela 9	Distribuição do tamanho das partículas dos pós de jacaíacá com cará roxo a diferentes temperaturas.....	63
Tabela 10	Índice de solubilidade em água (ISA) e Índice de Absorção em água (IAA) dos pós.....	64
Tabela 11	Dados de sorção para o mix de jacaíacá com cará-roxo desidratado em leito de jorro a 70°C.....	69
Tabela 12	Parâmetros BET para os dados de sorção do mix de jacaíacá com cará-roxo desidratado em leito de jorro a 70°C.....	71
Tabela 13	Modelos matemáticos utilizados para ajustar a isoterma de sorção do mix de jacaíacá com cará desidratado em leito de jorro a 70°C.....	71

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
3.1 JACAÍACÁ ( <i>Antrocaryon amazonicum</i> (Ducke) B. L. Burt & A. W. Hill) .....	18
3.2 CARÁ-ROXO ( <i>Dioscorea trifida</i> L.).....	19
3.3 COMPOSTOS BIOATIVOS .....	21
3.4 SECAGEM.....	23
3.4.1 Spray drying.....	23
3.4.2 Liofilização .....	24
3.4.3 Leito de jorro .....	25
3.5 FRUTAS DESIDRATADAS.....	28
3.6 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE ALIMENTOS EM PÓ.....	29
3.7 ISOTERMA DE SORÇÃO .....	<b>31</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
4.1 MATÉRIA-PRIMA .....	32
4.1.1 Jacaiacá.....	32
4.1.2 Cará-roxo.....	33
4.2 MÉTODOS.....	34
4.2.1 Preparação da pasta.....	34
4.3 SECAGEM EM LEITO DE JORRO.....	35
4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS .....	37
4.5 ATIVIDADE DE ÁGUA ( $A_w$ ).....	38
4.6 COR.....	38
4.7 AÇÚCARES REDUTORES E TOTAIS .....	38
4.8 COMPOSTOS BIOATIVOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE .....	38
4.8.1 Compostos fenólicos totais .....	38
4.8.2 Teor de antocianinas .....	39
4.8.3 Teor de ácido ascórbico.....	40

4.8.4 Carotenoides totais .....	40
4.8.5 Capacidade antioxidante .....	41
4.8.5.1 Obtenção do extrato .....	41
4.8.5.2 Capacidade antioxidante por ABTS .....	41
4.8.5.3 Capacidade antioxidante por DPPH .....	42
4.9 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO PRODUTO EM PÓ .....	42
4.9.1 Granulometria .....	42
4.9.2 Densidade aparente e de compactação .....	43
4.10 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DO PRODUTO EM PÓ .....	43
4.10.1 Índice de solubilidade em água e Índice de Absorção em água .....	43
4.10.2 Fluidez .....	44
4.11 CARACTERIZAÇÃO MORFÓLOGICA DO PRODUTO EM PÓ .....	45
4.12 ISOTERMAS DE SORÇÃO .....	45
4.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	47
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS POLPAS DE JACAIACÁ E CARÁ-ROXO	48
5.2 COMPOSTOS BIOATIVOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE .....	49
5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS PÓS .....	52
5.4 COR.....	55
5.5 COMPOSTOS BIOATIVOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DO <i>MIX</i> .....	57
5.6 GRANULOMETRIA .....	63
5.7 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DO PRODUTO EM PÓ .....	64
5.7.1 Índice de Solubilidade em água e Índice de Absorção em água .....	64
5.8 CARACTERIZAÇÃO MORFÓLOGICA DO PRODUTO EM PÓ .....	66
5.9 ISOTERMAS DE SORÇÃO .....	68
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A flora da região amazônica é dotada de uma enorme diversidade de frutas, hortaliças e tubérculos, que pouco a pouco vem sendo explorada economicamente. Porém essas matrizes são sazonais, climatérica, altamente perecível, apresenta alta taxa respiratória e alta produção de etileno, o que limita a sua comercialização *in natura* e nos períodos entressafra (LOHANI et al., 2004; CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Entre as diferentes espécies de frutas da região amazônica encontram-se diversos frutos que apresentam sabores exóticos e grande aceitação no mercado nacional e internacional, com por exemplo: cupuaçu, açaí, bacuri, taberebá e com grande potencial econômico para serem explorados comercialmente pelo setor alimentício na elaboração de suco, sorvete, doce, geleia, barras de cereais e néctares etc (INPA 2014).

Por outro lado, existem frutos que apesar de seu elevado consumo regional, apresentam escassez de dados quanto a diferentes alternativas tecnológicas de aproveitamento. O fruto jacaicá (*Antrocaryon amazonicum* Ducke) (INPA 2014); é um bom exemplo, apesar de ser regionalmente consumido é pouco explorado do ponto de vista acadêmico, com escassez de dados em relação à composição nutricional e funcional (RESQUE, 2007; LORENZI, 2009; CAVALCANTE, 2010).

O jacaicá pertence à família Anacardiaceae, possui uma polpa suculenta e ácida, com características sensoriais importantes (aroma, sabor e textura) (ALMEIDA, 2002; LORENZI 2009). Esse fruto é considerado altamente perecível e pode ser consumido *in natura*, no preparo de refrescos, bebidas, néctares, doces, iogurtes, aperitivos e apresenta potencial para a indústria de sorvetes e polpa (FAO, 1986; CAVALCANTE, 2010; NERES et al., 2012; SOUZA et al., 2014).

Outro alimento de relevância que será utilizado juntamente com o jacaicá, é o cará-roxo. A composição desse tubérculo confere propriedades funcionais para produtos na indústria alimentícia e características tecnológicas desejáveis como a estabilidade às altas temperaturas e sob valores baixos de pH (ROSENTHAL et al., 1972; FONSECA, 2006). Tem aplicação como espessante e modificador de textura do alimento, em confecção de geleias, produtos de panificação e fabricação de diversos doces (HOU et al., 2002).

Visando as perdas pós- colheita que são preocupantes em países tropicais, uma forma de agregar valor para a agroindústria, é através da redução das matérias-primas pelo processamento em uma variedade de produtos (SOUSA et al., 2010). A secagem se apresenta como um dos processos disponíveis para a aplicação na indústria de alimentos, habilitando o produto para o armazenamento em condições ambientais por longos períodos (GOMES et al., 2004).

A secagem é um importante processo tecnológico aplicado para a conservação pós-colheita, pois além de estender a vida de prateleira, também é uma forma interessante de se concentrar bioativos presentes naturalmente nos alimentos (BENNETT et al. 2011.; VINSON et al. 2005). Além de obter novos produtos com maior valor agregado, proporciona estabilidade ao alimento, devido à redução da atividade de água. Conseqüentemente ocorrerá à redução do risco de degradação por contaminação microbiana (BORGES, 2011).

O secador de leite de jorro é considerado como uma técnica muito flexível de secagem, e tem se apresentado como uma ótima alternativa para secagem de pastas, produzindo produtos em pó de alta qualidade e baixo custo, e tem a possibilidade de utilizar temperaturas mais baixas quando comparado com secadores de pulverização convencional (HUFENÜSSLER; KACHAN, 1985; GUBILIN; FREIRE, 1989; BACELOS et al., 2005; BEZERRA et al., 2013).

Nesse contexto, a secagem do *mix* de jacaíacá com cará-roxo no secador de leite de jorro, contribuirá para a preservação do produto, e possibilitará a sua adição em formulações, ressaltando a qualidade nutricional do alimento.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Obter um produto em pó através de um *mix* de jacaíacá com cará-roxo, utilizando secagem em leito de jorro, visando seu potencial sem comprometer suas características sensoriais, nutricionais e propriedades funcionais tecnológicas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Determinar as características físico-químicas das matérias-primas e do *mix* de jacaíacá com cará-roxo;
- II. Investigar a presença de compostos bioativos nas matérias-primas e no *mix*;
- III. Obter os produtos em pó a partir de um *mix* de jacaíacá com cará-roxo em secador de leito de jorro nas temperaturas de 70, 80 e 90°C;
- IV. Estudar a influência do processo de secagem sobre as propriedades nutricionais e funcionais dos produtos obtidos;
- V. Caracterizar os pós através de análises físicas, químicas e tecnológicas;
- VI. Estudar a morfologia das partículas dos pós obtidos;
- VII. Avaliar o comportamento higroscópico do *mix* de jacaíacá com cará-roxo em pó através das isotermas de sorção de umidade.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 JACAIACÁ (*Antrocaryon amazonicum* (Ducke) B. L. Burt & A. W. Hill)

O jacaiacá foi primeiramente encontrado no Baixo Amazonas, Pará, por Walter Adolfo Ducke em 1922, o qual reconheceu a espécie ser a única representante americana de um gênero (*Poupartia*) do velho mundo. Recentemente, a espécie foi encontrada, em estado espontâneo, na zona do salgado (nordeste paraense), onde é bastante conhecida pelo nome "cedro", e também possui outras nomenclaturas como taperebá-cedro, frutade-cedro, taperebá-açu e yacá-yacá (SCHWARTZ et al., 2006).

Posteriormente outras descobertas confirmaram a ocorrência da espécie em toda a área do baixo Amazonas, até o estuário, e ainda no Mato Grosso, na floresta tropical de várzeas inundáveis, tanto na mata primária, como na secundária (CARVALHO et al., 2001; RESQUE, 2007; LORENZI, 2009; CAVALCANTE, 2010). A espécie também tem ocorrência no estado do Acre (NYBG, 2014). Segundo o boletim da FAO (1986), a planta ocorre no Baixo Amazonas perto de Óbidos, no Pará, e no estuário do rio Amazonas, sendo encontrada em cultivo e semi-naturalizada na região sudeste de Belém-Pará.

O fruto jacaiacá (Figura 1) é uma drupa (contém apenas uma semente) subpentágona achatada (oblata), com cerca de 4-5 cm de diâmetro e 2-3 cm de altura; casca (epicarpo) amarelado, mesocarpo carnoso, sucoso envolvendo um endocarpo (semente) duro e lenhoso, contendo 5 lóculos unispermos. A fruta cai quando esta amadurece e deve ser recolhida imediatamente para evitar ocorrência de animais selvagens e domésticos. No entanto, deve ser armazenada durante 2 a 3 dias para chegar à maturação ótima (CORRÊA, 1931; CAVALCANTE, 2010).



**Figura 1.** Jacaiacá (*Antrocaryon amazonicum*) maduro.

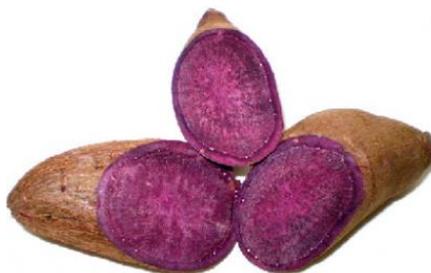
Fonte: MENDES (2014)

Almeida (2002) relata que o fruto de jacaicá tem peso médio de 32 g, a proporção biométrica média do fruto é de 17,9% de casca, 58,5% de polpa e 23,6% de semente (endocarpo). Seu sabor é ligeiramente ácido, e assemelha-se ao sabor do cajá (*Spondias mombin* L.). A polpa pode ser consumida fresca, mas é mais frequentemente utilizada na produção de suco, e geralmente para dar sabor a sorvetes. Também tem sido utilizado para elaboração de licor. Sua aplicação mostra-se relevante na região natural de onde derivam, sendo os frutos bastante apreciados, especialmente no preparo de refrescos, bebidas, doces, sorvetes e aperitivos (FAO, 1986; LORENZI, 2009; VIANA et al., 2011).

O fruto jacaicá tem sido alvo de pesquisas, devido a suas características sensoriais serem agradáveis. O processamento dessa fruta apresenta-se como uma forma viável de conservação, trazendo como vantagem a possibilidade de aproveitamento dos excedentes de produção, contornando problemas de sazonalidade e possibilitando sua distribuição por maiores períodos do ano.

### 3.2 CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida* L.)

O cará pertence à família *Dioscoreaceae* e ao gênero *Dioscorea*, com cerca de 600 espécies, sendo as mais importantes as que produzem túberas comestíveis: *Dioscorea cayennensis*, *Dioscorea rotundata*, *Dioscorea alata*, *Dioscorea trifida* e *Dioscorea esculenta* (SANTOS et al., 2006). O cará é uma amilácea cultivada no mundo inteiro, para consumo direto, sendo produzido a mais de 2000 anos em regiões de clima tropical e subtropical (ABRAMO, 1990; PEIXOTO NETO et al., 2000).



**Figura 2.** Cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.)

**Fonte:** THE READERS BUREAU (2014)

A espécie *Dioscorea trifida*, foco deste trabalho, se encontra entre uma das principais espécies no mundo, de acordo com Lebot (2009), e de maior importância mundial na alimentação humana (FAO, 2014). No Brasil, essa espécie também merece destaque (MONTEIRO; PERESSIN, 2002).

Segundo Carvalho (2009), o cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.) se apresenta como um alimento rico em diversas vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina, niacina), além das vitaminas A e C (ácido ascórbico) e de carboidratos, principalmente, amido, o qual é a principal reserva energética dos vegetais, como também, a principal fonte de carboidratos na dieta humana (OLIVEIRA et al. 2007). De acordo com Scott et al. (2000) o principal constituinte do cará é o amido (18 a 25% base úmida) que pode afetar as características físico-químicas (tais como a temperatura de gelatinização e propriedade de gelificação) de produtos.

A relevância do uso do cará como matéria-prima para a produção de amido já havia sido apontada por Carmo (2002) como uma das formas de valorização da cultura. O amido do cará foi analisado por vários pesquisadores e apresenta características tecnológicas desejáveis como a estabilidade às altas temperaturas e sob valores baixos de pH (ROSENTHAL et al., 1972). As indústrias alimentícias são as maiores consumidoras de amido, entretanto, este polímero é usado também em um grande número de processos industriais (LEONEL et al., 2005).

O amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam muitos produtos alimentares transformados, uma vez que contribui várias propriedades da textura dos alimentos, e tem aplicação industrial como agente espessante, estabilizador coloidal, agente gelificante e intensificador de volume (VANDEPUTTE et al., 2003).

A composição do cará-roxo, apresenta mucilagem, que é um aditivo natural e para fins industriais, confere propriedades funcionais para produtos, tanto da indústria alimentícia como da indústria farmacêutica (FONSECA, 2006). As suas propriedades de viscosidade e de emulsão possibilitam ampla aplicação. A viscosidade de seu gel torna possível espessar e modificar a textura do alimento. Sendo aplicados em confecção de geleias, produtos de panificação, fabricação de diversos doces e nas indústrias

farmacêuticas para correção de gostos dos fármacos e como estabilizador de emulsões e pomadas (HOU et al., 2002; FONSECA, 2006).

Atualmente, devido às restrições a amidos modificados impostas principalmente pelas indústrias alimentícias, as empresas produtoras de amido no mundo vêm mostrando um interesse cada vez maior em amidos naturais com características que atendam o mercado consumidor (AGBOR-EGBE; RICKARD, 1990; WHISTLER; BEMILLER, 1997). Frente a este fato as pesquisas em torno de novas matérias primas amiláceas têm se intensificado nos últimos anos. Neste ponto, os países em regiões tropicais, como o Brasil, apresentam grande vantagem em relação aos principais produtores de amido no mundo, que estão localizados em regiões temperadas, devido à variedade de culturas tropicais amiláceas (MESSENGER, 1997).

### 3.3 COMPOSTOS BIOATIVOS

A busca de novos produtos com propriedades antioxidantes oriundas de fontes naturais torna-se cada vez mais crescente. O conhecimento de substâncias com atividade antioxidante presente nos alimentos, das quais muitas ainda não foram suficientemente estudadas, destaca-se tanto pela possibilidade de ter aproveitamento como alimentos funcionais quanto pelo fornecimento de compostos que se enquadram como nutracêuticos (ANDRADE-WARTHA, 2007).

Devido a incompleta eficiência do nosso sistema endógeno de defesa, a influência de fatores externos como fumo, poluição, radiação UV e alimentação, bem como a existência de alguns processos patológicos como envelhecimento, obesidade, inflamação, etc. Está bem estabelecida a importância de compostos bioativos provenientes da dieta que suprem esta deficiência e também promovem proteção, prevenção ou redução dos efeitos causados pelo estresse oxidativo (PIETTA, 2000; HUANG et al, 2005).

Os compostos bioativos são definidos como sendo metabólitos secundários presentes em todo reino vegetal e que são vitais para a manutenção da saúde humana. Vale ressaltar que tal definição não leva em consideração a produção de substâncias bioativas por micro-organismos, compreendendo apenas os compostos sintetizados por

plantas, conhecidos como fitoquímicos. Essas substâncias podem ser encontradas em várias partes da planta, tais como: folhas, caule, flor e fruta (PATIL et al., 2009; AZMIR et al., 2013).

O estudo desses compostos bioativos atribuiu o conceito de alimentos funcionais. Este termo é oriundo do Japão em 1980, quando foi utilizado pela indústria para descrever alimentos fortificados com ingredientes específicos, inferindo-lhes certos benefícios à saúde. Compostos bioativos são constituintes extranutricionais e ocorrem tipicamente em pequenas quantidades nos alimentos (ARAI, 1993; CARRATU; SANZINI, 2005).

Cândido e Campos (2005) relatam que alimentos funcionais são todos os alimentos ou bebidas que, consumidos na alimentação cotidiana, podem trazer benefícios fisiológicos específicos, graças à presença de ingredientes fisiologicamente saudáveis.

De acordo com Lajolo (2005) alimentos funcionais, ou alimentos com alegações de funcionais ou de saúde, podem ser descritos como alimento semelhante em aparência ao alimento convencional, consumidos como parte da dieta usual, capazes de produzir demonstrados efeitos metabólicos ou fisiológicos úteis na manutenção de uma boa saúde física e mental, podendo auxiliar na redução do risco de doenças crônico-degenerativas, além de suas funções nutricionais básicas.

Os vegetais, em particular as frutas, contêm substâncias antioxidantes distintas, cujas atividades têm sido bem comprovadas nos últimos anos. A presença de compostos fenólicos, tais como flavonoides, ácidos fenólicos, e antocianinas, além das vitaminas C, E e carotenoides, contribuem para os efeitos benéficos destes alimentos (GORINSTEIN et al., 2000; SILVA et al., 2004; AJAIKUMAR et al., 2005). Estes compostos podem atuar como antioxidantes primários, reagindo diretamente com os radicais livres, dando lugar a um novo radical menos reativo que o radical livre original, ou como antioxidantes secundários potencializando outros sistemas antioxidantes, como certas enzimas (PÉREZ-JIMÉNEZ, 2007).

Dietas ricas em fitoquímicos têm sido associadas com um reduzido risco de doenças, tais como certos tipos de câncer, inflamação, doença cardiovascular, cataratas, degeneração macular e doenças neurodegenerativas (SNYDER et al., 2011; BUENO et al., 2012).

### 3.4 SECAGEM

A secagem de matrizes alimentícias pode ser definida como o processo de remoção de substâncias voláteis (umidade) através do uso de energia térmica, visando principalmente o prolongamento da vida de prateleira, a diminuição de custo de manuseio e preparo para processamentos futuros (VEGA–MERCADO et al., 2001). Quando uma matriz úmida é submetida ao processo de secagem, geralmente ocorrem simultaneamente fenômenos de transferência de calor e de massa, que podem ser divididos em dois mecanismos (KEEY, 1975; MUJUMDAR; MENON, 1995). O primeiro é transferência de calor do ambiente para o sólido, causando evaporação da umidade superficial, enquanto o segundo é a migração de umidade do interior da matriz para a superfície da mesma e sua posterior evaporação devido ao primeiro mecanismo (KEEY, 1975).

A secagem é um dos mais importantes processos tecnológicos aplicados a vegetais. O emprego de cada técnica de secagem está de acordo com as características dos alimentos, quantidade e condições do produto. Além de estender a vida de prateleira, também é uma forma interessante de se concentrar bioativos presentes naturalmente nos alimentos (VINSON et al., 2005; BENNETT et al, 2011).

Desta forma, para produtos agrícolas e alimentícios, a secagem é utilizada para preservação, permitindo também o transporte sem necessidade de refrigeração. Apresentam-se a seguir algumas técnicas de desidratação.

#### 3.4.1 Spray drying

A secagem por *spray dryer* é uma técnica extremamente versátil, pois é possível secar os mais variados produtos, em diversas concentrações e condições (FREITAS et al., 2010). No que se refere ao processo, é possível o controle de variáveis como a temperatura de entrada e saída do ar de secagem, a vazão do ar, a vazão de alimentação do produto e o tipo de atomização. Esta técnica é importante para a obtenção de produtos em pó, permitindo também influenciar em importantes propriedades do produto seco,

como o tamanho de partícula obtida, a higroscopicidade, a escoabilidade, atividade de água e a compressibilidade (GHARSALLAOUI et al., 2007; OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

Os secadores operam com altas taxas de conversão de sólidos e apresentam grandes vantagens sobre as técnicas usuais de secagem, pois mantêm as características nutricionais do produto devido ao curto tempo de contato da matéria-prima com os gases aquecidos no interior do secador (ANSELMO et al., 2006). Em contrapartida, as desvantagens na aplicação industrial da técnica de *spray drying* são o seu elevado custo de instalação e operação, e a elevada área ocupada pelo equipamento na planta industrial (CAL; SOLLOHUB, 2010; PEIGHAMBARDDOUST et al., 2011).

### **3.4.2 Liofilização**

A liofilização é uma operação de desidratação na qual a matéria-prima previamente congelada é submetida a determinadas condições de pressão e temperatura que ocasionam a sublimação da água a temperaturas baixas e sob vácuo. Como resultado, o produto seco apresenta uma maior retenção da qualidade nutricional e das características sensoriais. Pode ser aplicada a produtos sensíveis ao calor (OIKONOMOPOULOU et al., 2011).

A etapa de congelamento deve ser conduzida rapidamente, para que se formem microcristais de gelo, que não danifiquem a membrana celular do alimento. O congelamento lento conduz a formação de grandes cristais que podem romper a membrana celular, ocasionando perda de líquido citoplasmático, que provoca o encolhimento do produto (NETO, 2008).

A liofilização é uma operação importante comercialmente e a mais cara, empregada na desidratação de alimentos, que tem aroma ou texturas delicadas, muito sensíveis ao calor e de alto valor agregado, como extratos secos e fármacos (FELLOWS, 2006). Este processo está associado com produtos de alto valor agregado, pois se trata de um processo oneroso, chegando a ser entre quatro e oito vezes mais caro que a

secagem convectiva (RATTI, 2001). Todavia, estudos têm sido realizados para melhorar a relação custo/benefício de produtos liofilizados (CIURZYNSKA; LENART, 2011).

### **3.4.3 Leito de jorro**

No ano de 1954, Mathur e Gishler desenvolveram o secador de leito de jorro, com o objetivo de realizar a secagem de grãos de trigo (SOUZA JR., 2012). Desde então, este secador vem sendo utilizado para a secagem de diversos tipos de grãos, soluções, suspensões e pastas (MEDEIROS et al., 2001).

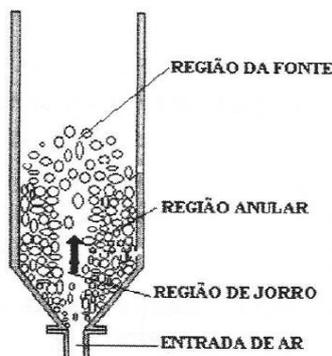
O secador de leito de jorro vem se apresentando como uma alternativa economicamente viável, em relação às técnicas citadas anteriormente para secagem de pastas e tem recebido considerável atenção dos pesquisadores, para produção em pequena escala (MARRETO, 2006).

Bacelos et al. (2005) e Bezerra et al. (2013) citam que a técnica em questão, além de possibilitar em certos casos, elevada capacidade de secagem, possibilitando a obtenção de produtos em pó de alta qualidade, com características diferenciadas, tanto pela qualidade dos produtos obtidos, quanto pelo reduzido custo operacional envolvido na utilização desta técnica.

O método de secagem em leito de jorro é considerado como uma técnica muito flexível. Possui excelentes coeficientes de transferência de calor e massa pelo contato gás-sólido, e uma distribuição de temperatura de secagem uniforme, que possibilita a utilização de temperaturas mais baixas quando comparado com secadores de pulverização convencionais, o que pode resultar em melhores pós em comparação com outros secadores. Esse secador apresenta como vantagem a obtenção de produtos com granulometria fina e uniforme em menor tempo de contato, o que contribui para a qualidade do produto desidratado (PAN et al., 2001; BACELOS et al., 2005; BACELOS et al., 2008; BEZERRA et al., 2013).

O leito de jorro é constituído por uma câmara de secagem (Figura 3) cilíndrica conectada a uma base cônica, a qual possui em sua extremidade inferior um orifício de reduzida dimensão, através do qual o fluido de jorro é alimentado ao sistema (PALLAI;

SZENTMARJAY, 2001; MUJUMDAR, ROCHA, 2006). A base cônica é utilizada para facilitar o movimento dos sólidos e eliminar espaços mortos no fundo do leito, entretanto, configurações cilíndricas ou retangulares também podem ser empregadas (DUARTE, 2006).



**Figura 3.** Regiões características de um leito de jorro.

**Fonte:** DUARTE (2006)

A intensa circulação das partículas sólidas inicia quando a vazão do ar é suficiente para promover o transporte pneumático das mesmas na região central do leito (região de jorro). Ao atingirem a região da fonte, as partículas perdem totalmente a sua energia cinética e caem na região anular, fazendo um movimento descendente até regiões inferiores do leito (DUARTE, 2006).

As partículas sólidas retornam à região de jorro, seja após atingirem a base do leito ou através de fluxo cruzado, completando assim o movimento cíclico dos sólidos. A alimentação do jorro pode ser realizada por baixo do leito, junto com o gás entrante ou no topo do leito, perto da parede, unindo-se à massa móvel descendente de partículas na região anular (DUARTE, 2006; ROCHA, 2006).

A secagem de pastas e suspensões utilizando secadores de leito de jorro com partículas inertes tem sido indicada como fonte alternativa para a produção de polpas de frutas em pó (SOUZA, 2009).

Em secadores de leito de jorro, a atomização da pasta e/ou suspensão sobre o leito reveste as partículas com uma fina camada da amostra. Com o passar do tempo, a película se torna frágil, fragmentando-se devido aos efeitos das colisões interpartículas (Figura 4). O produto na forma de pó é então arrastado da câmara de secagem (leito de

jorro) para fora pela corrente de ar, sendo recolhido em um kitassato. Um ciclone conectado ao secador promove a separação e recolhimento do pó (SOUZA, 2009).



**Figura 4.** Etapas da secagem de pastas em leito de jorro com partículas inertes.

Fonte: GRBAVCIC, ARSENIJEVIC e GARIC-GRULOVIC (1991).

Inúmeras tentativas bem sucedidas têm sido feitas na aplicação de secagem de pastas e suspensões com partículas inertes, Bezerra et al. (2013), Cui e Grace (2008) e Fujita et al. (2013) estão entre estes estudos bem sucedidos através do processo de secagem em leito de jorro.

A operação inicia com a alimentação da pasta ao leito, por nebulização ou por gotejamento da amostra. Em seguida observa-se o espalhamento do material sobre a superfície das partículas inertes com a consequente formação de um filme líquido sobre as mesmas. No decorrer de sua movimentação cíclica no interior do leito, as partículas entram em contato com a fonte gasosa aquecida e os fenômenos de transferência de calor e massa ocorrem, levando à secagem e a formação de um filme seco. Por fim, após atingir um certo grau de umidade residual, determinado pelas propriedades mecânicas da pasta, e devido a ocorrência de colisões entre as partículas, o filme seco formado é removido da superfície inerte e transportado pelo ar para fora da câmara de secagem, sendo posteriormente coletado por um dispositivo apropriado (MARRETO, 2006).

O processo cíclico de deposição, secagem e destruição da película procede continuamente, sempre que a temperatura do leito a uma dada vazão de alimentação da suspensão for mantida a um nível suficientemente alto e o movimento do jorro não for comprometido pela aglomeração dessas partículas. A taxa de remoção da película deve ser sempre maior ou igual à taxa de alimentação da suspensão (MEDEIROS, 2001).

Todo o comportamento dinâmico do leito de jorro é determinado pela circulação/recirculação do material inerte utilizado no interior do cone. Este material pode

ser de poliestireno, vidro, óxido de alumínio, agalite, borracha de sílica, permulite, óxido de zircônio, polietileno e polipropileno (CORREIA, 1996).

No uso do leito de jorro contendo partículas inertes, o material úmido é introduzido no leito, às partículas ficam recobertas e, à medida que secam as colisões entre elas permitem que o sólido se separe do material inerte e seja arrastado pelo fluido para fora da célula, onde é coletado. O material inerte atua como agente de desagregação e distribuição do material que está sendo seco, além de contribuir para a transferência de calor (CORREIA, 1996).

### 3.5 FRUTAS DESIDRATADAS

Devido, a alta perecibilidade, a operação de secagem aplicada as mais diversas frutas, constitui uma alternativa para ampliar mercados, aumentar lucros, diminuir perdas pós-colheita e obter produtos com maior vida de prateleira. Sendo assim, as frutas podem ser consumidas desidratadas parcialmente, processadas na forma de pó ou serem utilizadas como corantes naturais ou no preparo de sucos e néctares. Ainda podem participar de formulações de sorvetes, *frozen*, bolos, biscoitos, cereais, geleias, entre outros. Além disso, através da obtenção de frutas desidratadas é possível preservar fitoquímicos com atividades bioativas e utilizá-los para o enriquecimento de sistemas alimentares (AZEVEDO et al., 2014).

Deve-se ressaltar, que muitas frutas altamente nutritivas apresentam limitação para seu consumo *in natura*, necessitando de estratégias alternativas para serem aproveitadas, como por exemplo, o camu-camu devido a sua elevada acidez tem seu consumo restrito. Outro exemplo, é o jacaicá, que por apresentar sabor ácido, é mais utilizado para preparo de refrescos, sorvete, iogurte, licor, etc. (LORENZI, 2009; VIANA et al., 2011; AZEVEDO et al., 2014).

O mercado de alimentos funcionais e novos ingredientes aumentaram significativamente devido a vários fatores relacionados com a saúde, estilo de vida, nível de informação dos consumidores, mercado altamente competitivo, etc. (SIRÓ et al., 2008; GRANATO et al., 2010). O desenvolvimento de alimentos funcionais a base de frutas

desidratadas é desafiador e visa cumprir a expectativa do consumidor por produtos com boas características sensoriais e que apresentem componentes importantes para a saúde (SHAH, 2007). Tornou-se essencial o desenvolvimento de novos produtos para atender este segmento (GRANATO et al., 2010).

Uma forma de se conhecer o comportamento higroscópico de alimentos em pó é através de suas isotermas de sorção. O conhecimento das isotermas de sorção de umidade dos alimentos tem aplicação na predição do tempo de secagem, vida útil do produto, determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (ALEXANDRE et al., 2007).

### 3.6 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE ALIMENTOS EM PÓ

Os alimentos em pó apresentam diferentes propriedades, sendo que a medida e a caracterização destas propriedades ajudam a definir o produto, os parâmetros do processo de produção e os fenômenos que influenciam no seu comportamento (TEUNOU et al., 1999).

As propriedades tecnológicas influenciam a aparência física e o comportamento de um produto alimentar, de maneira característica e que resulta da natureza intrínseca físico-química da matéria-prima (MAIA, 2000).

As principais características de pós são o tamanho das partículas (granulometria) e a forma da partícula (morfologia). As propriedades tecnológicas do pó (densidade aparente e de compactação, fluidez, etc), bem como as áreas potenciais da sua aplicação dependem destas características (MIKLI et al., 2001).

A granulometria é um dos métodos de análise para se medir o tamanho de partículas (SOUZA, 2007). Apesar de popular, a granulometria apresenta diversos problemas, como: erro nas aberturas das peneiras; influência da carga, que afeta a reprodutibilidade, além de não ser viável para materiais muito caros; o tempo de peneiragem, que afeta os resultados, podendo ocasionar a quebra das partículas, dentre outros (LAITINEN et al., 2002).

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características micro estruturais de materiais sólidos. A principal razão de sua utilidade é a alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas; valores da ordem de 2 a 5 nanômetros são geralmente apresentados por instrumentos comerciais, enquanto instrumentos de pesquisa avançada são capazes de alcançar uma resolução melhor que 1 nm (NAGATANI et al. 1987).

A densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) é definida por Peleg (1983) como a relação entre a massa e o volume da amostra, no entanto, como os pós podem ser compressíveis, a densidade aparente pode ser apresentada como um especificador adicional a ser expressa como densidade aparente livre (pó acomodado livremente), densidade aparente compactada (depois da compressão).

O Índice de Solubilidade em Água é um parâmetro que reflete a degradação do somatório dos efeitos de gelatinização, dextrinização e, conseqüentemente, solubilização (GUTKOSKY, 1997; GUILLON; CHAMP, 2000). A solubilidade é um dos parâmetros utilizados para verificar a capacidade do pó para manter-se em mistura homogênea com a água (MAIA; GOLGHER, 1983).

O Índice de Absorção de Água (IAA) está relacionado à disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido (COLONNA et al., 1984). Somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham. Contudo, com o aumento do grau de gelatinização, a fragmentação do amido aumenta e, com isso, diminui a absorção de água (CARVALHO et al., 2002). Uma alta absorção de água em farinhas é desejável para o preparo de sopas, mingaus e pudins instantâneos (ANDERSON et al., 1969; TORRES et al., 2005).

A determinação do ângulo de repouso consiste em um parâmetro físico que permite a medição dinâmica da fluidez, com a finalidade de avaliar diretamente a capacidade de um pó em fluir livremente através de um orifício para uma superfície plana (PRISTA et al., 2003; USP, 2006). Pós com ângulos de repouso baixos fluem livremente e os que têm ângulos de repouso elevados (>50) têm fluxo ruim. Vários fatores podem influenciar a fluidez dos pós, dentre elas o tamanho e o formato das partículas e umidade (ALLEN JR et al., 2007).

### 3.7 ISOTERMA DE SORÇÃO

O estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção que descrevem a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do alimento e a pressão de vapor ou umidade relativa, a dada temperatura (AL-MUHTASEB et al., 2002; BROD, 2003).

A água é um dos componentes mais importantes dos alimentos, afetando a natureza física e as propriedades do produto de uma forma complexa. As interações entre as moléculas de água o meio pode afetar a estrutura física e composição química de vários solutos, incluindo polímeros e coloides, ou de partículas dispersas (PARK et al., 2001).

Para produtos secos, a construção de uma isoterma de adsorção e dessorção de umidade é de fundamental importância, pois permite previsões da estabilidade, tem aplicação na predição do tempo de secagem, da vida de prateleira, na determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, garantindo a qualidade do mesmo durante seu acondicionamento e armazenamento (HOSSAIN et al., 2001; ASSUNÇÃO; PENA, 2007; PENG et al., 2007).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

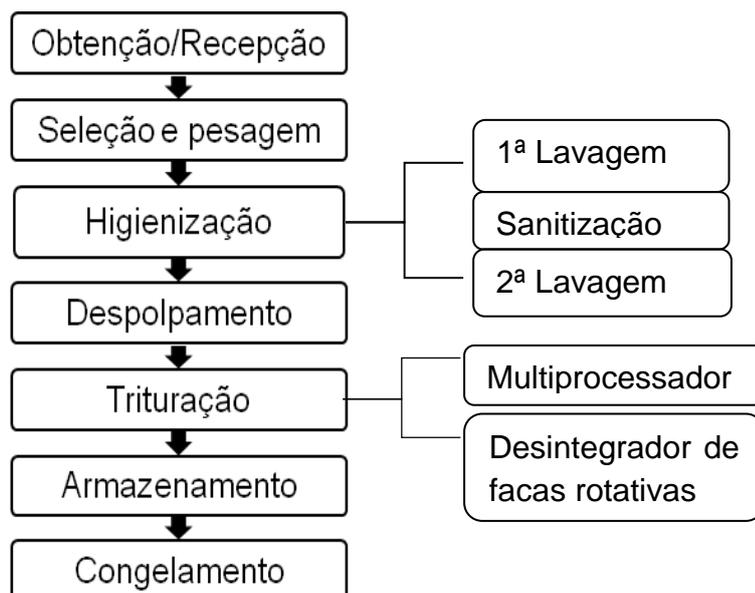
### 4.1 MATÉRIA-PRIMA

#### 4.1.1 Jacaiacá

Os frutos de jacaiacá (*Antrocaryon amazonicum*) foram adquiridos em feiras livres do município de Cametá-PA, no período de março a junho, nos anos de 2014 e 2015. Os mesmos foram congelados em freezer a  $-18^{\circ}\text{C}$ , durante 72 horas. Posteriormente foram acondicionados e transportados em caixas térmicas até a cidade de Belém, para o Laboratório de Análise de Alimentos, da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Seguiu-se os procedimentos de seleção e pesagem, higienização, sendo a lavagem, a primeira etapa do processo para remoção das sujidades presentes na superfície dos frutos. Em seguida, os frutos foram sanitizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 15 minutos, sendo então, novamente lavados em água corrente para retirada do cloro residual e posteriormente drenados. O despulpamento seguiu-se pela retirada da semente, polpa e casca dos frutos. Posteriormente, a casca juntamente com a polpa foram trituradas com o auxílio de um multiprocessador (Juice Walita), por 1 minuto, e em seguida passaram por uma segunda trituração em um desintegrador de facas rotativas (marca: Britânia, modelo: Diamante Black), por 5 minutos.

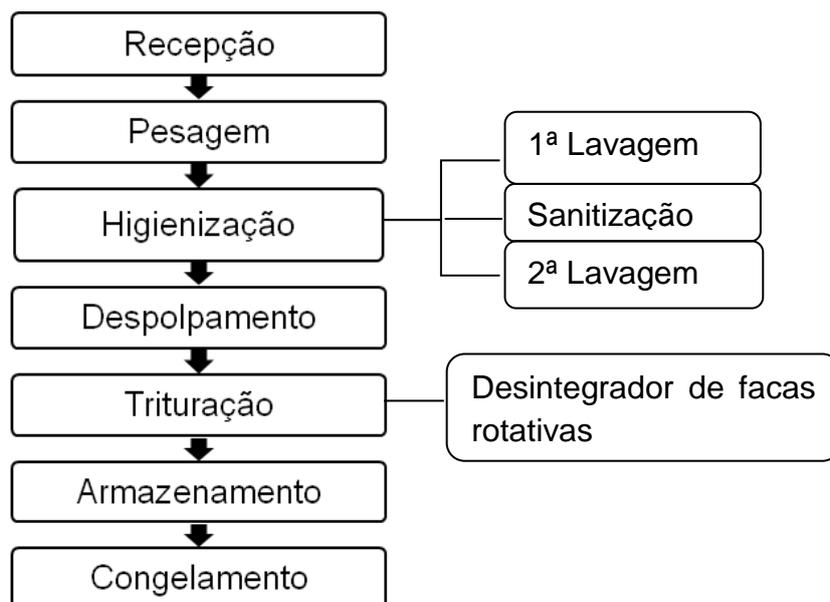
Após a completa homogeneização, a polpa de jacaiacá foi armazenada em embalagens de polietileno e congelada a  $-20^{\circ}\text{C}$ , em freezer, até a realização das análises e experimentos. Na Figura 5 encontra-se o fluxograma de obtenção da polpa de jacaiacá.



**Figura 5.** Fluxograma de obtenção da polpa de jacaicá.

#### 4.1.2 Cará-roxo

Os tubérculos de cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.) foram adquiridos na feira do ver-o-peso, localizada no município de Belém-PA, no período de abril a agosto de 2015, e levados para o Laboratório de Análise de Alimentos (UFPA). Seguiram os procedimentos de pesagem, higienização, realizando primeira lavagem para remoção de sujidades na superfície dos tubérculos. Em seguida, foram sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 15 minutos, sendo então, novamente lavados em água corrente para retirada do cloro residual e posteriormente drenados. A retirada das cascas foi realizada manualmente e a parte comestível foi cortada em cubos de aproximadamente 1 cm e triturada em um desintegrador de facas rotativas (marca: Britânia, modelo: Diamante Black), por 10 minutos. Após a homogeneização, a polpa do cará-roxo foi armazenada em embalagens de polietileno e congelada em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$ , até a realização das análises e experimentos. As etapas de obtenção e armazenamento das amostras podem ser observadas na da Figura 6.



**Figura 6.** Fluxograma de obtenção da polpa de cará-roxo.

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 Preparação da pasta

Na preparação da pasta para ser utilizada na secagem em leite de jorro, foram considerados os dados relativos à composição das matérias-primas analisadas neste estudo.

Em sistemas de fluidização como leite de jorro, visando obter pós de jacaicá com cará-roxo, com base em um estudo prévio nas matérias-primas, é interessante que tenha na composição do *mix* teores de amido e reduzidos teores de açúcares redutores, a fim de se obter um produto em pó com qualidade.

A utilização do cará-roxo na formulação do *mix* com jacaicá para secagem em leite de jorro, é algo novo e colabora para a agregação de valor na agroindústria brasileira. Haja vista as características e propriedades tecnológicas do cará, o tubérculo pode ser utilizado como substituto de diferentes agentes carreadores na secagem, como a maltrodextrina e goma arábica na formulação com o jacaicá, que é um fruto amazônico com propriedades nutricionais e sensoriais desejáveis e está em ascensão no mercado, sendo alvo de pesquisas.

Sendo assim, seguiu-se para os testes de formulações. A proporção de 1:1 foi escolhida levando em consideração a composição e viscosidade das matérias-primas (haja visto que o cará-roxo apresenta em sua composição uma mucilagem com elevada viscosidade), para que não houvesse interrupção do bombeamento da pasta, podendo acarretar o entupimento do ducto de silicone que bombeia o produto para o secador.

Inicialmente, foram descongelados aproximadamente 1800 gramas de cada polpa em temperatura média de 25°C. Depois de descongeladas, foram homogeneizadas individualmente em desintegrador de facas rotativas (marca Britânia, modelo Diamante Black). Em seguida, foi realizado o preparo da proporção de polpa de jacaíacá com cará-roxo, onde foram homogeneizadas até a completa formação da pasta. O *mix* obtido encontra-se na Figura 7.



**Figura 7.** *Mix* obtido com as polpas de jacaíacá e cará-roxo.

#### 4.3 SECAGEM EM LEITO DE JORRO

A secagem da pasta resultante da mistura de jacaíacá com cará-roxo foi feita em um secador de leite de jorro (Figura 8). O secador do tipo leite de jorro cônico que foi utilizado consiste em uma base cônica em aço inoxidável, com ângulo incluso de 60°, diâmetro do orifício de entrada de 0,05m e diâmetro superior de 0,20m. Acoplado à base cônica está um corpo cilíndrico de vidro com 0,005 m de espessura, 0,20 m de diâmetro e 0,30 m de altura.

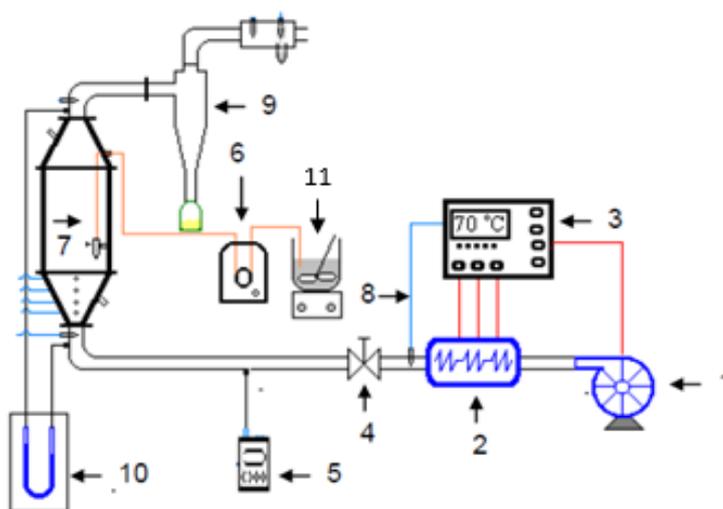
A parte superior do secador é composta por outro cone em aço inoxidável com ângulo de 45°, dotada de um orifício, por onde é introduzida a mangueira de injeção da

pasta, posicionada, aproximadamente, 0,10 m acima da superfície do leito estático de partículas. Na entrada da base cônica inferior há uma tela de aço para sustentar e evitar a queda das partículas inertes em repouso.

Duas peças cônicas de aço inoxidável foram acopladas ao cilindro, uma delas na parte inferior localizadas na tubulação de entrada do secador por onde entra o ar aquecido e outra na parte superior na saída do ciclone por onde a amostra seca é conduzida.

O material inerte utilizado na secagem foi de polipropileno, o qual possui resistência térmica adequada, e é resistente ao atrito, tendo densidade de  $905 \text{ kg/m}^3$ , esfericidade de 0,85 e diâmetro médio de 0,36 cm.

A pasta foi conduzida até a câmara de secagem com auxílio de um ducto de silicone, acoplado a uma bomba dosadora peristáltica da marca Milan modelo 201 série 1705 e foi alimentada na região anular do leito através de gotejamento.



**Figura 8.** Diagrama esquemático do secador de leito de jorro. Soprador de ar (1); Aquecedor elétrico (2); Controlador de corrente elétrica (3); Válvula de regulação do ar de entrada (4); Ponto de tomada do fluxo de ar (5); Bomba peristáltica (6); Leito de jorro (7); Termopar (8); Ciclone (9); Psicrômetro (10); Alimentação da pasta (11).

Fonte: BEZERRA et al. (2013)

Um soprador centrífugo e um aquecedor elétrico foram utilizados para promover a circulação do ar aquecido pela câmara de secagem. As resistências do aquecedor foram ligadas a um indicador e controlador de temperatura para um melhor ajuste da

temperatura do ar de secagem, através de um termopar localizado na saída do sistema de aquecimento. Foram realizados três ensaios com diferentes temperaturas do ar de secagem (70, 80 e 90°C) que foram escolhidas, de acordo com as características das matérias-primas (*mix* de jacaíacá com cará-roxo) e nas limitações oferecidas pelo secador.

O produto seco foi coletado com um kitassato acoplado na base do ciclone, em seguida pesado e armazenado em embalagens laminadas em freezer (-18 °C) até o momento das análises. O tempo de secagem do *mix* foi de 5 horas e 30 minutos para a secagem a 70 °C, 5 horas para a secagem a 80 °C e 4 horas e 30 minutos para secagem a 90 °C.

A vazão de alimentação utilizada no bombeamento da suspensão foi de 11,224 ml/min. O *mix* utilizado na secagem estava em temperatura ambiente, com umidade 78,25% e a atividade de água 0,99.

Amostras controles foram preparadas a partir de 250 g do *mix* de jacaíacá com cará-roxo, as quais foram congeladas e liofilizadas (-40°C por 48 horas), em seguida trituradas e armazenadas em embalagens laminadas a -18°C. Essas amostras foram preparadas para avaliar o efeito de perdas de compostos bioativos e atividade antioxidante na liofilização e comparadas com as perdas dos pós obtidos em diferentes temperaturas de secagem em leite de jorro (70, 80 e 90°C).

#### 4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

O jacaíacá e o cará-roxo foram submetidos às análises para composição físico-química, realizadas de acordo com o método oficial da AOAC (1997): umidade (nº 925.10), lipídios (nº 926.06), proteínas (nº 920.87), cinzas (nº 923.03), pH (nº 981.12), sólidos solúveis (nº 932.12), acidez titulável (nº 942.15) e carboidratos por diferença (BRASIL, 2003).

#### 4.5 ATIVIDADE DE ÁGUA ( $A_w$ )

A atividade de água foi determinada diretamente em medidor AQUALAB, da marca Decagon, Aqualab Séries 3TE modelo TE 8063, após equilíbrio da amostra com o ambiente na temperatura de 25°C.

#### 4.6 COR

A análise de cor foi realizada em colorímetro MINOLTA CR310, operando no sistema CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), sendo as coordenadas de cromaticidade: (L) que representa a luminosidade ( $L^*$ ); (a) define a transição da cor verde ( $-a^*$ ) para a cor vermelha ( $+a^*$ ) e (b) representa a transição da cor azul ( $-b^*$ ) para a cor amarela ( $+b^*$ ).

#### 4.7 AÇÚCARES REDUTORES E TOTAIS

A determinação de açúcares redutores e totais foi realizada de acordo com método de Lane-Eynon (1984). Que se baseia no fato de que os sais cúpricos, em solução tartárica alcalina (solução de Fehling) são reduzidos a quente por aldoses ou cetoses transformando-se em sais cuprosos vermelhos, que precipitam, perdendo sua cor azul primitiva.

#### 4.8 COMPOSTOS BIOATIVOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

##### 4.8.1 Compostos fenólicos totais

A determinação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, modificado por Georgé et al. (2005), utilizando ácido gálico com padrão de referência. O reagente de Folin-Ciocalteu, baseia-se na redução dos ácidos Fosfomolibdênico ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ) e Fosfotungístico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) a óxido de tungstênio ( $W_8O_{23}$ ) e óxido de molibdênio ( $Mo_8O_{23}$ ), pelos compostos fenólicos,

em meio alcalino. O composto formado, de coloração azul, tem sua absorvância medida a 760 nm e esta reflete a quantidade de polifenóis.

A quantificação foi determinada pela metodologia descrita por Singleton e Rossi (1965) e Cipriano (2011), através de espectrofotometria de absorção UV-Visível, com leitura de absorvância em comprimento de onda de 760nm. O resultado será expresso em Equivalente de Ácido Gálico (EAG).

#### 4.8.2 Teor de antocianinas

A análise quantitativa de antocianinas foi realizada de acordo com o método de Fuleki e Francis (1968) posteriormente revisada por Lees e Francis (1972).

Procedeu agitação mecânica por 2 minutos de aproximadamente 5 gramas de amostra e solução extratora, preparada etanol 95% HCl 1,5N (85:15, v/v), na proporção de uma parte da amostra para quatro partes da solução extratora (1:4). Após maceração por uma noite em temperatura ambiente (25°C), na ausência de luz, os extratos foram filtrados em papel filtro Whatman nº1, e o resíduo lavado repetidamente com o etanol acidificado, até extração completa das antocianinas. A solução resultante foi completa ao volume desejado para diluição e deixada em repouso por 2 horas, ao abrigo da luz e a temperatura ambiente, para estabilização das formas antociânicas. Posteriormente foi realizada leitura em espectrofotômetro UV-Visível da SHIMADZU modelo 160-A, selecionando o comprimento de onda 535nm.

As análises foram realizadas em triplicata e para o cálculo da concentração utilizou-se a Equação 1, proposta por Fuleki e Francis (1968):

$$\text{Antocianinas Totais (mg/100g de amostra)} = \frac{\text{Abs}_{\lambda_{\text{máx}}} \times \text{Fd} \times 100}{E_{1\text{ cm}}^{1\%}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Abs  $\lambda_{\text{máx}}$  = absorvância no comprimento de onda máximo (535 nm);

Fd= Fator de diluição;

$E_{1\text{ cm}}^{1\%}$  (Absortividade molar a 535nm) = 98,2.

### 4.8.3 Teor de ácido ascórbico

Foi determinado através do método proposto por Tillmans modificado por Benassi (1988), que se baseia na redução do 2,6 diclorofenolindolfenol-sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico, proposto pela AOAC (1997), método n°967.21, sendo os resultados expressos em mg/100g de vitamina C.

### 4.8.4 Carotenoides totais

Foram determinados de acordo com o método de extração descrito por Godoy e Rodrigues Amaya (1994), utilizando acetona com posterior partição em éter de petróleo e quantificação por espectrofotometria, utilizando a faixa para quantificação de  $\beta$ -caroteno, com varredura de 400 a 700 nm e calculado através da Equação 2.

$$CT \left( \frac{\mu g}{100g} \right) = \left( \frac{(10^4 \cdot Abs \cdot Vol_{(mL)})}{A_{1cm}^{1\%} \cdot m} \right) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$A_{1cm}^{1\%}$  = Coeficiente de absorção citado por Davies (1976), expresso em  $\beta$ -caroteno na faixa de 450 nm, com o valor de  $A_{1cm}^{1\%}$  2592.

$CT$  = Carotenoides totais

$Vol$  = Volume do balão utilizado na diluição (mL)

$Abs$  = Absorbância da leitura

$m$  = Massa da amostra (g)

## 4.8.5 Capacidade antioxidante

### 4.8.5.1 Obtenção do extrato

A obtenção dos extratos da fruta foi adaptado de Larrauri et al. (1997). Os extratos foram obtidos a partir da polpa *in natura* de jacaíacá, polpa do cará-roxo, *mix* (pasta) e pós após as secagens de 70, 80 e 90°C. As amostras foram armazenadas a 4°C até serem analisadas, dentro do período de 1 mês. As matérias-primas foram pesadas e extraídas sequencialmente com 40 mL de metanol:água (50:50, v/v) e 40 mL de acetona:água (70:30, v/v) à temperatura ambiente por 60 minutos. Os sobrenadantes dessas extrações foram combinados e o volume foi completo para 100 mL com água destilada.

### 4.8.5.2 Capacidade antioxidante por ABTS

A capacidade antioxidante foi determinada por espectrofotometria de absorção UV-visível, pela captura do radical ABTS (2,2-azinobis-(3-etil-benzotiazolin-6-ácido sulfônico)) de acordo com as metodologias propostas por Rufino (2007), Re et al. (1999) e Brand-Willians e Berset (1995).

A capacidade antioxidante foi determinada utilizando o radical ABTS de acordo com o método proposto por Rufino (2007), Re et al. (1999) e Brand-Willians e Berset (1995). O 2,2-azinobis foi gerado pelo radical ABTS<sup>+</sup> por reação de 5 ml de solução aquosa de ABTS (7 mM) e 88 µL da solução de persulfato de potássio. A mistura foi mantida no escuro durante 16 h antes da utilização e, em seguida, diluída com etanol para se obter uma absorbância de 0,7nm ± 0,05 a 734nm, utilizando um espectrofotômetro. Os extratos (30 µL) foram feitos reagidos com 3 ml da solução azul-esverdeada resultante do radical ABTS na ausência de luz. A diminuição de absorbância a 734 nm foi medida após 6 min. Soluções etanólicas de concentrações de Trolox conhecidas foram utilizados para a calibração. Os resultados foram expressos em

micromoles de Trolox equivalente (TE) por grama de matéria fresca ( $\mu\text{mol TE/ g}$  de matéria fresca).

#### 4.8.5.3 Capacidade antioxidante por DPPH

A atividade antioxidante foi medida utilizando o método descrito por Rufino et al. (2007) e Brand-Willians e Berset (1995), com adaptações. A técnica baseia-se na transferência de elétrons onde, por ação de um antioxidante (AH) ou uma espécie radicalar, o DPPH que possui cor púrpura é reduzido formando difenil-picril-hidrazina, de coloração amarela, com conseqüente desaparecimento da absorção, podendo a mesma ser monitorada pelo decréscimo da absorbância.

A partir de cada extrato obtido, foram preparadas quatro diluições diferentes em triplicata, utilizando uma alíquota de 0,1 mL de cada diluição do extrato, com 3,9 mL do radical DPPH a 0,06 mM. Utilizou-se uma diluição de 0,1 mL de solução controle (álcool metílico, acetona e água) com 3,9 mL do radical DPPH. Após a adição do radical DPPH, as leituras no espectrofotômetro a 515 nm, foram monitoradas a cada minuto, observando a redução da absorbância até a estabilização. O tempo total de cada cinética de reação, foi de 30 minutos para cada diferente amostra, incluindo o controle, ou seja, nos experimentos posteriores, não foi necessário realizar o monitoramento a cada minuto para as mesmas matérias-primas, sabendo-se que o tempo de reação do radical DPPH foi de 30 minutos. A partir dos valores obtidos determinou-se a atividade antioxidante ou sequestradora de radicais livres. Os resultados foram expressos em g fruta (porção comestível) / g DPPH.

### 4.9 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO PRODUTO EM PÓ

#### 4.9.1 Granulometria

A avaliação do tamanho das partículas dos produtos em pó (70, 80 e 90°C) foi feita segundo a AOAC (1997), método n° 965.22, com auxílio de equipamento vibratório e um

conjunto de peneiras de laboratório, da marca Bertel. Foram peneiradas 100 g de cada amostra durante 10 minutos. Em um conjunto de 5 peneiras arredondadas, com aberturas de malhas variando de 20; 32; 42; 48; 60 *mesh* e uma base. Em seguida, os conteúdos retidos em cada peneira foram pesados e expressos em porcentagem de retenção.

#### **4.9.2 Densidade aparente e de compactação**

A determinação da densidade aparente seguiu a metodologia proposta por Hahne (2001) citada por Birchal (2003), em duas condições específicas: a de empacotamento livre e a de compactação máxima, onde cerca de 20 g da amostra foi transferida para uma proveta de polipropileno de 50 mL e registrado o volume ocupado pela massa de pó depositada, obtendo-se a densidade aparente deste leito expandido  $\rho_{(apmin)}$ . Em seguida a parte superior da proveta foi vedada, com um filme plástico, deixando-a cair em uma altura de aproximadamente 20 cm sobre uma superfície horizontal, por 40 vezes consecutivas. Novamente foi registrado o volume obtido e, dessa forma, determinou-se a densidade aparente em sua compactação máxima  $\rho_{(apmax)}$ .

### **4.10 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DO PRODUTO EM PÓ**

#### **4.10.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e Índice de Absorção em água (IAA)**

As determinações de ISA e IAA foram realizadas segundo a metodologia descrita por ANDERSON et al, (1969), com modificações. Pesou-se cerca de 1 g de amostra em base seca de cada secagem (70, 80 e 90°C), em tubos de centrífuga, previamente tarados. Adicionou-se 10mL de água destilada aos tubos os quais foram agitados em agitador horizontal mecânico, por aproximadamente 20 minutos e centrifugada durante 15 minutos a 2000 rpm. Os líquidos sobrenadantes colocados em béquer de 10 mL, previamente tarados e submetidos ao processo de secagem em estufa de circulação de ar durante 4 horas a 105°C. Os bequers foram pesados e o ISA encontrado pela relação

do peso do resíduo da evaporação (g) pelo peso da amostra (g) segundo a Equação 3. Após a retirada do líquido sobrenadante, pesou-se os tubos de centrifuga e calculou-se o IAA, de acordo com relação do peso do resíduo da centrifugação (g) pelo peso da amostra (g) (g gel/g matéria seca), através da Equação 4

$$\% ISA = \frac{PRE}{PA} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

PRE = Peso do resíduo da evaporação, g;

PA = Peso da amostra, g.

$$IAA (g \cdot g^{-1}) = \frac{PRC}{PA-PRE} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

PRC = Peso do resíduo da centrifugação (g);

PA = Peso da amostra (g);

PRE = Peso do resíduo da evaporação (g).

#### 4.10.2 Fluidez

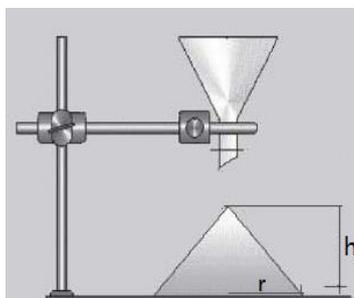
A fluidez dos produtos em pó foi avaliada por medida do ângulo de repouso estático de acordo com o método descrito por Bhandari et al. (1998). Um funil foi fixado a uma altura h de 15 cm de uma superfície horizontal (Figura 9). Em seguida, foi despejada vagarosamente a amostra do material em pó pelo funil, de modo a formar, na superfície horizontal, uma pilha cônica do material.

A partir da tangente determinada pela altura e raio formado pelo cone da amostra, foi determinado o ângulo de repouso. De acordo com os resultados obtidos, os pós foram classificados em termos de propriedades de escoamento como se segue: ângulo de repouso de 25-30° fluxo excelente; de 31-35° fluxo bom; de 36-40° fluxo aceitável; de 41-

45° fluxo passável; de 46-55° fluxo pobre; de 56-65° fluxo muito pobre; de 65° fluxo extremamente pobre (USP, 2006; Wells, 2005).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{r}$$

Equação 5



**Figura 9.** Estrutura de suporte e funil para a análise de fluidez.

**Fonte:** USP, 2006; Wells, 2005

#### 4.11 CARACTERIZAÇÃO MORFÓLOGICA DO PRODUTO EM PÓ

Os produtos em pó foram submetidos a microscopia eletrônica de varredura (MEV) em microscópio eletrônico de varredura ZEISS modelo LEO 1430. As amostras foram fixadas com fita dupla face em cilindros de alumínio e deixadas 24 horas em dessecador, até o momento da análise, para redução da umidade, que é um interferente no momento da captura das imagens no MEV.

As imagens foram geradas por elétrons secundários com voltagens de 20 kV, e registrados em alta resolução. A análise foi realizada no núcleo de Geologia da Universidade Federal do Pará, e foram verificadas as características morfológicas e estruturais dos produtos obtidos.

#### 4.12 ISOTERMAS DE SORÇÃO

As isotermas de sorção de umidade foram determinadas em equipamento analisador de sorção de vapor (Aqualab, VSA, Decagon, Puma, WA, USA), utilizando o método DVS (*Dynamic Vapor Sorption*) (DECAGON DEVICES, 2015). Para obtenção das isotermas foram utilizadas amostras secas, obtidas na secagem em leito de jorro. As

amostras foram submetidas à desidratação complementar em dessecador com sílica gel, sob vácuo, a 25°C por 24 horas. As isotermas foram obtidas com aproximadamente 1g de amostra, sendo pesadas diretamente na balança do equipamento, em cápsulas de aço inox. As isotermas foram obtidas em um intervalo de  $a_w$  0,10 a 0,90.

Foram testados seis modelos matemáticos Tabela 1, na predição dos dados de sorção.

**Tabela 1** – Modelos utilizados na predição de isotermas de sorção.

Nome	Modelo	Referências
Halsey	$m = \left[ \frac{-a}{\ln a_w} \right]^{\frac{1}{b}}$	CHIRIFE e IGLESIAS
Kuhn	$m = -\frac{a}{\ln a_w} + b$	CHIRIFE e IGLESIAS (1978)
Mizrahi	$a_w = \frac{a+m}{b+m}$	CHIRIFE e IGLESIAS (1978)
Oswin	$m = a \left[ \frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b$	CHIRIFE e IGLESIAS (1978)
BET	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot a_w}{1 - a_w} \left( \frac{1 - (n+1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1}}{1 - (1-c) \cdot a_w - c \cdot a_w^{n+1}} \right)$	PARK e NOGUEIRA (1992)
GAB	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot k \cdot a_w}{[(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 + (c-1) \cdot k \cdot a_w)]}$	MAROULIS et al. (1988)

$m$  = umidade;  $m_o$  = monocamada;  $a_w$  = atividade de água; e  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $k$ ,  $n$  = constantes.

Para avaliar os ajustes dos modelos, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o desvio médio relativo (P), calculado pela Equação 6.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{m_{exp} - m_{pre}}{m_{exp}} \quad \text{Equação (6)}$$

A monocamada ( $m_o$ ) foi determinada através da equação de BET linearizada (Equação 7), com auxílio do aplicativo MICROSOFT OFFICE EXCEL 2010.

$$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot m} = \frac{1}{m_o \cdot C} + \frac{(C-1)}{m_o \cdot C} \cdot a_w \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

m: é umidade ( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ b.s.}$ )

$a_w$ : atividade de água

$m_o$ : monocamada ( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ b.s.}$ )

C: constante relacionada ao calor de sorção.

#### 4.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram avaliados com o auxílio do software Statistica® versão 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EUA) empregando as metodologias de análise de variância (ANOVA) a 5% de significância estatística, sendo as médias comparadas através do teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Os resultados de isotermas de sorção foram feitos através da análise de regressão não-linear para ajuste dos modelos aos dados experimentais.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS POLPAS DE JACAIACÁ E CARÁ-ROXO

Na Tabela 2 estão os resultados obtidos para caracterização físico-química das polpas *in natura* de jacaíacá e cará-roxo. As análises foram realizadas em triplicata.

**Tabela 2** – Caracterização físico-química das polpas *in natura* de jacaíacá e cará-roxo.

Parâmetros	Polpa de jacaíacá	Polpa de cará-roxo
Umidade (%)	79,27 ± 0,12	77,95 ± 0,13
Lipídios (%)	0,21 ± 0,02	0,39 ± 0,03
Proteínas (%)	0,81 ± 0,04	1,57 ± 0,06
Resíduo mineral fixo (Cinzas) (%)	0,75 ± 0,02	0,75 ± 0,03
Carboidratos totais (%)	18,96 ± 0,06	19,34 ± 0,08
Atividade de água ( $A_w$ )	0,98	0,99
pH	3,2 ± 0,04	6,22 ± 0,06
Acidez Total Titulável (% ác. cítrico)	3,66 ± 0,01	0,31 ± 0,05
Sólidos Solúveis Totais (°Brix a 20 °C)	12,1 ± 0,15	7,13 ± 0,11
Açúcares Redutores (%)	5,65 ± 1,31	**
Açúcares Totais (%)	10,75 ± 0,15	**

\*Valores em base úmida. Os valores apresentados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

\*\*O método Lane Eynon não foi compatível para determinar açúcares redutores e totais no cará-roxo.

Os resultados demonstram que tanto a polpa de jacaíacá, quanto a polpa de cará-roxo, apresentaram altos teores de água em sua composição. Os valores de umidade encontrados para a polpa de jacaíacá são semelhantes aos encontrados por Ramos et al (1998) (79,69%) para polpa de seriguela e (78,83%) por Medeiros et al. (2001) para polpa de manga. A umidade do cará-roxo está de acordo com a encontrada por Chou et al (2006) (75,5%), sendo a mesma matéria-prima.

A atividade de água ( $A_w$ ) das polpas de jacaíacá e cará-roxo, mostrou-se elevada, que é característica desses tipos de matérias-primas. Nessas condições, podem ocorrer reações químicas e desenvolvimento microbiano (HOU et al., 2002; RIBEIRO; SERAVALLI, 2004; FONSECA, 2006). Se forem armazenadas de forma inadequada,

podem resultar em perdas na qualidade do produto. Os baixos teores de lipídios, proteínas e cinzas na polpa de jacaíacá, são semelhantes ao encontrado na polpa de cajá, obtidos por Bora et al. (1991), com valores de lipídios (0,20%) e proteínas (0,80%) e por Mattietto (2005) lipídios (0,26%), proteínas (0,82%) e cinzas (0,58%). A polpa do cará-roxo apresentou teores de lipídios e cinzas, que estão de acordo ao verificado por Rincón et al. (2000) e Leonel e Cereda (2002), que estudaram a composição química de diferentes variedades de inhame (*D. alata*), reportando variações de 0,26 a 0,47% para lipídios e 1,12 a 2,54 % para cinzas e para TACO (2006) os valores para proteínas foram 2% e cinzas 0,9%.

Os valores encontrados para o pH, acidez total titulável das polpas de jacaíacá e cará-roxo, estão de acordo com Souza (2009) na caracterização físico-química de umbu (pH=3,4) e seriguela (pH=3,9) e Leonel e Cereda (2002) (pH 6,3 e acidez 0,095%) ao caracterizar o inhame. A acidez do jacaíacá se compara com a de um limão, maracujá e umbu, que se encontra na faixa de 3 a 8%, classificada com alta acidez.

Os sólidos solúveis totais (SST) encontrados na polpa de jacaíacá foi relativamente elevado e semelhante ao reportado por Dias et al. (2003) (10°Brix) e Soares (2005) (14,06° Brix) na caracterização do cajá. Os STT da polpa de cará-roxo estão de acordo com o valor encontrado por Brito et al. (2011) (8,75°Brix) ao caracterizar o inhame *in natura* e minimamente processado. Ambas matérias-primas tem correlação com teores de açúcares e ácidos. Os açúcares totais (AT) e açúcares redutores (AR) na polpa de jacaíacá, estão próximos ao encontrado por Mattietto (2005) (14,15 g/100g AT e 5,24 (g/100g AR) ao caracterizar a polpa de cajá. Gomes et al. (2002) relataram que os açúcares solúveis presentes nos frutos, na forma combinada, são responsáveis pela doçura, sabor e cor, sendo assim o jacaíacá pode ser consumido *in natura* e na forma industrializada.

## 5.2 COMPOSTOS BIOATIVOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

Os resultados encontrados para o teor de antioxidantes, ácido ascórbico, carotenoides e compostos fenólicos da polpa de jacaíacá estão expressos na Tabela 3.

**Tabela 3.** Determinação dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante da polpa de jacaíacá.

Determinações	Polpa de jacaíacá	
	b.u. (%)	b.s. (%)
ABTS ( $\mu\text{mol TE}/100\text{g polpa}$ )	107,95 $\pm$ 0,49	520,64 $\pm$ 2,38
DPPH ( $\mu\text{mol TE}/100\text{g polpa}$ )	5,53 $\pm$ 0,07	26,69 $\pm$ 0,35
Ácido ascórbico (mg/100g)	33,55 $\pm$ 0,27	162,60 $\pm$ 0,15
Carotenoides ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	13,87 $\pm$ 0,01	66,90 $\pm$ 0,05
Compostos fenólicos totais (mg AGE/100g)	807,86 $\pm$ 3,93	3888,16 $\pm$ 2,11

Os valores apresentados são as médias  $\pm$  desvio padrão. TE: Trolox Equivalente; AGE: Ácido Gálico Equivalente. b.u. (base úmida); b.s. (base seca).

O resultado da capacidade antioxidante encontrado para a polpa de jacaíacá foi semelhante ao encontrado por Rufino (2008) pelo método ABTS presente em frutas tropicais brasileiras, como a acerola e o camu-camu (96,6 e 152,7  $\mu\text{mol TE}/100\text{g polpa b.u.}$ ). O conteúdo de antioxidantes encontrados pelo método de DPPH para a polpa de jacaíacá foi superior ao reportado por Almeida et al. (2011), ao caracterizar as polpas de seriguela e umbu (1,50 e 0,70  $\mu\text{mol TE}/100\text{g polpa b.u.}$ ). O jacaíacá mostrou-se com elevados níveis de antioxidante e o método que melhor quantificou foi o ABTS, pois os efeitos defensivos de antioxidantes naturais em frutas e vegetais estão relacionados ao ácido ascórbico e fenólicos como antioxidantes hidrofílicos, que são os principais fitoquímicos presentes neste fruto (HALLIWELL, 1996). O fruto jacaíacá pode ser caracterizado como um alimento com grande potencial em atividade antioxidante e desempenha um papel essencial na prevenção de doenças (ALMEIDA et al., 2011).

A polpa de jacaíacá apresentou conteúdo moderado de ácido ascórbico, sendo fonte desse composto. Almeida et al. (2011) encontraram valores para seriguela e umbu 29,6 e 12,1 mg/100g (b.u), respectivamente. O teor deste composto pode variar entre diferentes regiões do país, em função de fatores como temperatura, intensidade de luz e conteúdo de umidade, além do processamento da polpa, que pode afetar bastante a concentração de ácido ascórbico (RUFINO et al., 2009).

Os carotenoides totais obtidos para a polpa de jacaíacá foram inferiores aos obtidos por Mattietto et al. (2010) que encontraram valores de 28,30  $\mu\text{g}/100\text{g}$  (b.u) em

polpa de cajá. No entanto, quando comparados com outras frutas, como o murici, Sales e Waughon (2013) reportaram 5,68 µg/100g (b.u) e graviola (1,21 µg/100g b.u) e maracujá (1,31 µg/100g b.u) encontrados por Souza et al. (2012), destacando que os valores aqui encontrados foram superiores. O jacaicá pode ser caracterizado como conteúdo satisfatório de carotenoides.

Em relação aos compostos fenólicos a polpa de jacaicá apresentou elevados teores desse fitoquímico. Os teores de fenólicos totais da polpa de jacaicá foram ainda, bem superiores aos encontrados por Tiburski et al. (2011) para polpa de cajá (260,21 mg AGE/100g b.u) e Melo et al. (2008) para polpa de seriguela (161,95 mg AGE/100g b.u), todos frutos da mesma família botânica. A polpa de jacaicá, pode, portanto, ser classificada como tendo uma elevada e excelente concentração de compostos fenólicos, indicando que esse fruto possui conteúdo acentuado de fenóis.

Este fruto apresenta-se com grande potencial nutricional, devido ao seu elevado teor de compostos fenólicos e antioxidantes encontrados.

Na Tabela 4 encontram-se os resultados para o teor de antioxidantes, ácido ascórbico, antocianinas e compostos fenólicos da polpa de cará-roxo.

**Tabela 4.** Determinação dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante da polpa de cará-roxo.

Determinações	Polpa de cará-roxo	
	b.u (%)	b.s. (%)
ABTS (µmol TE/100g polpa)	8,49 ± 0,01	38,54 ± 0,06
DPPH (µmol TE/100g polpa)	11,48 ± 0,20	51,62 ± 0,65
Ácido ascórbico (mg/100g)	36,33 ± 0,03	164,78 ± 0,16
Antocianinas (mg/100g)	20,11 ± 0,60	91,22 ± 2,75
Compostos fenólicos totais (mg AGE/100g)	117,59 ± 0,64	533,28 ± 2,88

Os valores apresentados são as médias ± desvio padrão. TE: Trolox Equivalente; AGE: Ácido Gálico Equivalente. b.u. (base úmida); b.s. (base seca).

O cará-roxo apresentou baixos níveis de antioxidante pelos métodos de determinação de ABTS e DPPH, porém pode ser consumido como fonte desse

fitoquímico. O valor encontrado pelo método ABTS por Pestana (2011), para a batata doce foi 38,2  $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$  polpa (b.u). Melo et al. (2006) encontraram valores de 170,45  $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$  polpa (b.u) para cebola-roxa.

O teor de ácido ascórbico da polpa de cará-roxo pode ser considerado segundo Carvalho (2009) como fonte de vitamina C. De acordo com Tavares et al. (2011), a composição química média do cará se tratando de vitamina C, varia em torno de (12 a 35 mg/100g b.u), estando dentro do valor encontrado para o cará-roxo nesse estudo. Wanasundera e Ravindran (1994) reportaram valores de ácido ascórbico para tubérculos da mesma espécie, na faixa de 13 a 24,7 mg/100 g (b.u). Lovatto et al. (2012) encontraram valores de vitamina C para tubérculos de batata que variaram entre 9,10 e 27,44 mg/100 g (b.u).

Os teores de antocianinas totais encontrados na polpa de cará-roxo encontram-se na faixa dos alimentos reconhecidos como sendo ricos nesses pigmentos, como descrito por Teixeira et al. (2008) para polpa de açaí (21,23 mg/100 g b.u), morango (21,69mg/100g b.u) e repolho roxo (24,36mg/100 g b.u). Os resultados foram inferiores aos encontrados em outras matrizes alimentícias que apresentam coloração semelhante ao do cará-roxo, como é o caso do jambolão e da jabuticaba (108,8 e 492,74 mg/100g b.u) nos estudos de Kuskoski et al. (2006) e Teixeira et al. (2008), respectivamente.

O cará-roxo pode ser classificado como conteúdo acentuado de compostos fenólicos, pois apresentou elevados níveis desse biocomposto. Melo et al. (2006) reportaram valor de 96,31 mg AGE/100g (b.u.) para cebola-roxa. O valor encontrado é inferior comparado com o cará-roxo.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS PÓS

Na Tabela 5 são apresentados os valores de umidade, atividade de água ( $A_w$ ), fluidez e densidade aparente e de compactação após a secagem em leito de jorro do *mix* de jacaíacá com cará-roxo em diferentes condições de temperatura.

**Tabela 5.** Efeito da secagem em diferentes condições de temperatura do *mix* em pó (Conteúdo de umidade, atividade de água, fluidez e densidade).

Parâmetros	Temperaturas		
	70°C	80°C	90°C
Umidade	7,83 ± 0,08 <sup>a</sup>	4,30 ± 0,03 <sup>b</sup>	3,10 ± 0,06 <sup>c</sup>
Atividade de água ( $A_w$ )	0,46 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,30 ± 0,00 <sup>c</sup>
Fluidez (°)	31,57 ± 1,92 <sup>a</sup>	39,08 ± 1,01 <sup>b</sup>	45,58 ± 0,82 <sup>c</sup>
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,650 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,651 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,654 ± 0,01 <sup>a</sup>
Densidade de compactação (g/cm <sup>3</sup> )	0,803 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,816 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,820 ± 0,01 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> Os valores apresentados são as médias ± desvio padrão. Letras diferentes nas linhas indicam diferença estatisticamente significativa entre diferentes temperaturas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os conteúdos de umidade foram significativamente diferentes entre si, diminuindo à medida que se aumentou a temperatura de secagem. O mesmo aconteceu para os valores de  $A_w$ , que também apresentaram diferença em nível de significância de 95% em todas as temperaturas.

Os resultados obtidos para umidade e atividade de água estão dentro da faixa de segurança do ponto de vista microbiológico estabelecida para alimentos secos, uma vez que os valores de  $A_w$  foram inferiores a 0,6 e umidade menor que 15%, faixa considerada mínima para o desenvolvimento de microrganismos (BRASIL, 2005; GAVA, 2007). A umidade dos pós demonstra que os produtos obtidos apresentam boas condições para conservação e armazenamento (GOMES et al., 2002).

A secagem em leito de jorro apresentou viabilidade que pode ser observada pelos parâmetros de umidade e  $A_w$ . Um bom desempenho foi verificado, com uma expressiva diminuição nos valores de umidade e  $A_w$ , sendo possível obter um produto final estável do ponto de vista microbiológico e com armazenamento por um longo período de tempo.

A umidade analisada no *mix* em pó de jacaíacá com cará-roxo, demonstra a boa qualidade do produto, pois essa é uma das propriedades importantes para o controle de qualidade dos pós. A umidade dos pós é um dos parâmetros que mais afeta a qualidade, pois ela influenciará os aspectos físicos e químicos do produto (SOUZA, 2009).

Valores superiores a umidade do *mix* seco a 70°C, foram encontrados por Borges (2011), onde a umidade do pó do bagaço da pitanga desidratado em leito de jorro, foi 8,3% e do bagaço de acerola foi 8,53%. Soares et al. (2001) reportou 7,24% para o pó de acerolas secas em estufa de circulação de ar à 70°C, sendo semelhante a umidade encontrada para o *mix* obtido a 70°C neste trabalho. Gomes et.al. (2004), obteve pó de acerola seco em leito de jorro a 70°C com umidade de 4,07% estando dentro da faixa encontrada para o *mix* de jacaíacá com cará-roxo a 80°C. A umidade do pó obtido por Silva (2005) no estudo da polpa de cajá em pó (2,34%) foi inferior a encontrada nesse estudo para secagem do *mix* em 90°C.

Os valores encontrados para  $A_w$  do *mix* em pó, foram próximos a faixa relatada por Borges (2011) ao realizar o estudo da secagem de bagaços de frutas em leito de jorro, onde encontrou valores para o bagaço de acerola (0,45) e para o cajá-umbu (0,36).

Os valores dos ângulos de repouso estático obtidos pelo teste de fluidez variaram de 31,57° a 45,58° e todos os pós apresentaram diferença significativamente estatística. De acordo com USP (2006) e Wells (2005) os pós podem ser classificados em termos de propriedades de escoamento. Bhandari et al. (1997) afirmam que pós que apresentam ângulos de repouso menores que 45° têm a capacidade de escoamento livre, enquanto ângulos acima de 50° sugerem coesividade ou problemas de escoamento. Dessa forma, os três produtos obtidos são classificados como de escoamento livre.

Os valores de ângulo de repouso estático do presente trabalho foram menores que os obtidos por Souza (2009), que realizou a secagem em leito de jorro de uma mistura de polpas de umbu, seriguela e manga, juntamente com oleína de palma, pectina, amido de milho e água. No estudo realizado acima, a autora obteve um valor de ângulo de 49,28°.

Alimentos de baixo teor de gordura (exemplo, sucos de fruta, batata e café), sendo o caso do *mix* de jacaíacá com cará-roxo utilizado nesse estudo, são mais facilmente transformados em pós de fluxo livre do que leite integral ou extratos de carne. Os pós são “instantaneizados” pelo tratamento das partículas individuais para que se agrupem formando aglomerados ou agregados de fluxo livre, nos quais existem relativamente poucos pontos de contato (FELLOWS, 2006).

Não houve diferença significativa dos pós em relação a densidade aparente e de compactação. A densidade aparente dos pós variou de 0,650 a 0,654 g/cm<sup>3</sup> e de

compactação variou de 0,803 a 0,820 g/cm<sup>3</sup>. Segundo Walton (2000), quando a temperatura do ar de secagem é elevada, ocorre um aumento da taxa de evaporação da água, resultando num produto mais seco, poroso e fragmentado, o que provoca a queda da densidade da partícula.

Staniforth (2005) estabelece que um pó pode apresentar uma densidade compactada e diversas densidades aparentes, pelo fato de que esta última depende da forma como as partículas estão empacotadas em função da porosidade do leito do pó.

Quanto maior a densidade, menor é a quantidade de ar ocluso dentro do material. Os valores encontrados de densidade aparente e de compactação no presente estudo, foram superiores ao reportado por Souza (2009) ao trabalhar com a secagem de misturas de polpa de frutas tropicais em leito de jorro, o qual a 'autora obteve valores médios de 0,29 e 0,33 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Zea et al. (2013) encontrou para o pó liofilizado de goiaba e o *mix* de goiaba e pitaia (1,47 e 1,50 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente).

#### 5.4 COR

Os resultados relacionados aos parâmetros de cor obtidos para o *mix* e dos pós resultantes das três temperaturas de secagem estão expressos na Tabela 6.

**Tabela 6.** Parâmetros de cor CIELab\*, croma, ângulo hue e  $\Delta E^*$ .

Amostras	C*	H°	a*	b*	L*	$\Delta E$
<i>Mix</i> (pasta)	23,63 <sup>b</sup>	17,54 <sup>c</sup>	22,60 <sup>b</sup>	7,12 <sup>b</sup>	31,43 <sup>b</sup>	–
70°C	32,49 <sup>a</sup>	19,09 <sup>a</sup>	30,70 <sup>a</sup>	10,63 <sup>a</sup>	43,63 <sup>a</sup>	15,04 <sup>a</sup>
80°C	32,52 <sup>a</sup>	19,15 <sup>a</sup>	30,73 <sup>a</sup>	10,67 <sup>a</sup>	43,87 <sup>a</sup>	15,27 <sup>b</sup>
90°C	35,12 <sup>c</sup>	16,53 <sup>b</sup>	33,67 <sup>c</sup>	9,99 <sup>c</sup>	42,26 <sup>c</sup>	15,76 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> Os valores apresentados são as médias  $\pm$  desvio padrão. Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatisticamente significativa entre diferentes temperaturas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O parâmetro Luminosidade ( $L^*$ ) foi superior para a temperatura de 80 °C (43,87), seguido das temperaturas de 70 e 90 °C (43,63 e 42,26, respectivamente) sugerindo que os pós ficaram mais claros e brilhantes após a secagem, contudo, não houve diferença significativa entre as temperaturas de 70 e 80 °C. A luminosidade diferiu dos resultados encontrados por Mussi et al. (2015) em estudo com secagem de jambolão em leito de jorro, o qual apresentaram Luminosidade inferior a este estudo ( $L^*=23,8$ ).

Os valores do ângulo Hue variaram de 17,54 a 19,15 (Tabela 6). De acordo com o sistema CIELAB, se o ângulo estiver entre 0° e 90°, quanto maior este for, mais amarelo é a amostra, e, quanto menor for, mais vermelho é a amostra. Sendo assim, percebe-se que os dados deste estudo estão próximos de 0°, indicando uma tonalidade vermelha, explicada pela presença das antocianinas do cará-roxo.

As observações visuais e os resultados da Tabela 6 evidenciam a intensa coloração roxa avermelhada da pasta e dos pós. Visto que os resultados encontrados para  $a^*$  e  $b^*$  apontam as tonalidades vermelha e amarela da amostra. A cromaticidade  $a^*$  variou significativamente ( $p < 0,05$ ) para tonalidade avermelhada ( $+a^*$ ) na temperatura de 90 °C. Quanto à cromaticidade  $b^*$  (intensidade de amarelo) foi observado diminuição significativa desses valores ( $p < 0,05$ ) com o aumento da temperatura de secagem, também relacionada à temperatura de 90°C, acordando com Tonon et al. (2009) e Ferrari et al. (2012) que apresentaram redução significativa da intensidade de amarelo em pós produzidos com amora-preta e açaí, respectivamente.

O componente Chroma ( $C^*$ ) revela a intensidade da cor, ou seja, quanto maior seu valor, maior é a intensidade da cor percebida. Os resultados mostram que o Chroma da temperatura de 90 °C (35,12) foi significativamente maior quando comparado às outras amostras. Demonstrando uma cor mais acentuada, mais viva em relação à pasta.

Para o valor de ( $\Delta E$ ), calculado a partir das modificações em  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$ , tem-se uma escala com níveis “muito distinto” ( $\Delta E > 3$ ), “distinto” ( $1,5 < \Delta E < 3$ ) e “levemente distinto” ( $\Delta E < 1,5$ ) que podem ser associadas aos valores encontrados (PATHARE et al. 2013). Deste modo, os dados avaliados apresentam-se na faixa de muito distintos ( $E > 3$ ) e significativamente distintos entre si. Observa-se que os valores foram inferiores aos encontrados por Sari et al. (2012) ( $\Delta E = 21,59$ ) quando estudaram secagem da casca de jambolão.

## 5.5 COMPOSTOS BIOATIVOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DO *MIX*

Os valores encontrados para os compostos bioativos e capacidade antioxidante do *mix* (pasta), liofilizado (controle) e pós, após o processo de secagem em leito de jorro, encontram-se nas Tabela 7 e 8.

Na Figura 10, as perdas de compostos bioativos foram calculadas e comparadas com o *mix* em pasta em base seca, pois tanto a amostra controle (*mix* liofilizado), quanto os pós obtidos em leito de jorro, tiveram perdas provenientes dos processos de secagem.

**Tabela 7.** Efeito da secagem nos compostos bioativos em diferentes condições de temperatura no *mix* em pó e *mix* liofilizado (controle).

Amostra	Ácido ascórbico (mg/100g)*	Antocianinas (mg/100g)*	Compostos fenólicos totais (mg AGE/100g)*
<i>Mix</i> (pasta)	285,61 ± 0,32 <sup>a</sup>	56,69 ± 2,39 <sup>a</sup>	3171,71 ± 3,39 <sup>a</sup>
<i>Mix</i> Liofilizado	200,85 ± 0,12 <sup>b</sup>	47,52 ± 1,17 <sup>b</sup>	2933,63 ± 3,38 <sup>b</sup>
70°C	103,43 ± 0,09 <sup>c</sup>	42,58 ± 1,59 <sup>c</sup>	2788,13 ± 4,00 <sup>c</sup>
80°C	79,46 ± 0,44 <sup>d</sup>	40,66 ± 0,96 <sup>c</sup>	1837,34 ± 4,23 <sup>d</sup>
90°C	59,06 ± 0,12 <sup>e</sup>	39,67 ± 2,01 <sup>c</sup>	1337,70 ± 2,58 <sup>e</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> Os valores apresentados são as médias ± desvio padrão. Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatisticamente significativa entre diferentes temperaturas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). AGE: Ácido gálico equivalente. \*Valores em base seca.

O *mix* liofilizado (controle) foi diferente significativamente dos demais produtos (*mix* em pasta e pós obtidos em leito de jorro) e os resultados mostram perdas de 29,67% de ácido ascórbico (Figura 10), entretanto continua sendo uma boa fonte desse composto.

Os teores de ácido ascórbico exibidos na Tabela 7, indicam que o *mix* teve diferença significativa antes e durante o processo de secagem e o *mix* em pasta apresentou o maior teor de ácido ascórbico. Os produtos, *mix* em pasta e pós em diferentes temperaturas apresentaram considerável concentração dessa vitamina, podendo ser caracterizado como fonte de vitamina C. Os resultados variaram de 59,06 a 285,61 mg/100. Os valores diminuíram com a elevação da temperatura de secagem e tiveram perdas de 63,78 a 79,32% de ácido ascórbico, como pode ser verificado na Figura 10. Segundo Tavares et al. (2011), a redução desse composto pode ser decorrente do

processo de secagem e o tempo de armazenamento, já que a vitamina C é muito lábil e fotossensível.

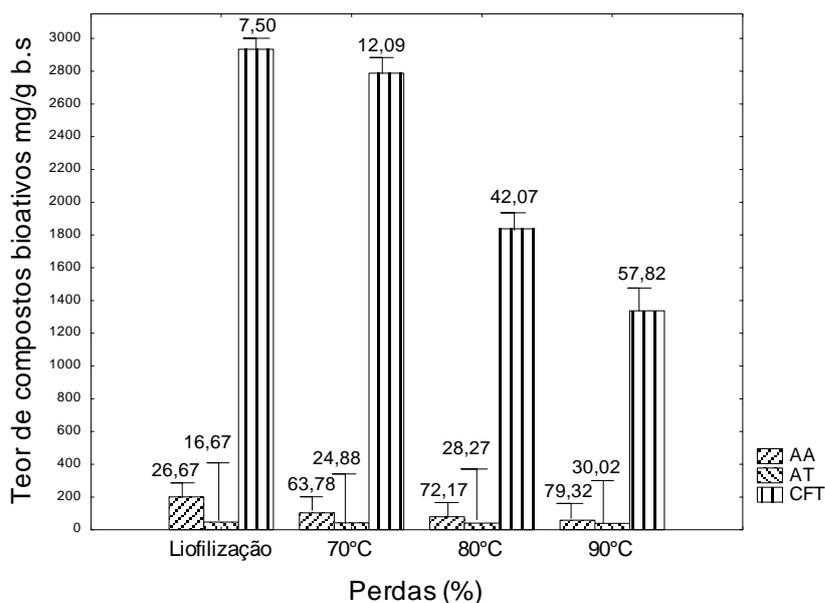
Gordon *et al.* (2011) encontraram para o jambolão liofilizado, resultado de 93,5 mg/100g de ácido ascórbico, sendo inferior ao reportado para o *mix* liofilizado que foi utilizado como controle neste estudo. Borges (2011) por sua vez, encontrou um valor de 24,83 mg/100g (b.s) para bagaço de cajá-umbu desidratado em leite de jorro. Souza (2009), que realizou a secagem em leite de jorro de uma mistura de polpas de umbu, seriguela e manga, juntamente com oleína de palma, pectina, amido de milho e água, encontrou para o produto desidratado um valor de apenas 9,66 mg/100g (b.s.).

A Legislação Brasileira recomenda uma ingestão diária de vitamina C para um adulto de 45 mg (BRASIL, 2005b), inferior às quantidades encontradas em uma porção de 100g dos produtos obtidos no presente trabalho. Quando comparados os conteúdos de vitamina C obtidos para os pós com a Legislação, estes são considerados boas fontes desse composto, seja como alimento em pó, ou se incorporado em outros alimentos com vistas ao enriquecimento desse nutriente.

O *mix* obtido a 70, 80 e 90°C não teve diferença significativa em relação ao teor de antocianinas durante a secagem em leite de jorro. O *mix* (pasta) e liofilizado mostraram-se com diferença significativa em relação aos pós obtidos no leite de jorro. O *mix* liofilizado (controle) teve perdas de 16,17% de antocianinas durante o processo de liofilização. Houveram perdas de antocianinas nos pós obtidos em leite de jorro com a elevação da temperatura (Figura 10), porém foram em níveis mais baixos (24,88– 30,02%), quando comparados as perdas de ácido ascórbico.

Tonon *et al.* (2008) afirmam que com a elevação da temperatura leva a perdas desses pigmentos, pois as antocianinas são pigmentos relativamente instáveis e reativos. São degradadas durante o processamento, devido à sensibilidade a luz, à temperatura, ao pH, ao ácido ascórbico, ao oxigênio e outros fatores (BOBBIO; BOBBIO, 1995; FENNEMA *et al.*, 2010). Por isso é possível relacionar a degradação desses compostos durante a secagem devido às temperaturas usadas (70 a 90 °C). Os produtos em pó de jacaicá com cará são boas fontes de compostos antociânicos, mesmo com perdas devido o processo de secagem.

Silva (2014) encontrou valores que variaram de 194,08 a 230,10 mg/100g (b.s), para pós de banana verde, açaí e concentrado proteico do soro do leite, sendo superiores aos encontrados para os pós de jacaíacá com cará-roxo. Outro estudo feito por Araújo (2014) na secagem de resíduo de jambolão em leite de jorro, o valor encontrado para antocianinas foi de 438,9 mg/100g (b.s).



**Figura 10.** Perdas de compostos bioativos no *mix* liofilizado (controle) e pós obtidos na secagem em leite de jorro em relação ao *mix* em pasta (base seca).

Ao comparar os resultados para compostos fenólicos totais (CFT) do *mix* (pasta) e os pós obtidos em leite de jorro, observa-se a degradação desses compostos mediante a secagem em leite de jorro e diferença estatisticamente significativa em todos os tratamentos. O *mix* liofilizado (controle) foi diferente estatisticamente dos demais produtos e teve perdas de 7,50% de compostos fenólicos totais durante a liofilização. De um modo geral, os elevados valores dos três pós produzidos em leite de jorro, mostra-nos que houve degradação (12,09 – 57,82%) desses compostos sob as condições de secagem. Mesmo com perdas (Figura 10), os mesmos apresentaram altos níveis de fenóis.

Borges (2011) encontrou um valor para bagaço de cajá-umbu desidratado em leite de jorro de 606,04 mg AGE/100 g (b.s.). Silva (2014) obteve um valor para açaí e banana verde desidratados em leite de jorro a 80°C de 758,14 mg AGE/100 g (b.s.).

Em suma, os pós obtidos do *mix* de jacaíacá com cará-roxo podem ser considerados ricos e uma ótima fonte de compostos fenólicos, exercendo uma excelente atividade antioxidante. Esses produtos são de grande interesse nutricional, uma vez que apresentam características associadas a potencialização de efeitos promotores da saúde humana através da prevenção de várias doenças.

A capacidade antioxidante foi quantificada utilizando dois radicais distintos e os resultados foram expressos como TE (Trolox Equivalente). Ambos radicais ABTS e DPPH foram observadas diferença significativa na capacidade antioxidante no *mix* (pasta) e nos três produtos analisados (Tabela 8).

**Tabela 8.** Efeito da secagem na capacidade antioxidante (ABTS e DPPH) em diferentes condições de temperatura no *mix* em pó e *mix* liofilizado (controle).

Amostra	Capacidade antioxidante ( $\mu\text{mol de TE/g}$ )	
	ABTS*	DPPH*
<i>Mix</i> (pasta)	500,16 $\pm$ 1,20 <sup>a</sup>	15,66 $\pm$ 0,63 <sup>a</sup>
<i>Mix</i> (Liofilizado)	371,41 $\pm$ 1,04 <sup>b</sup>	5,10 $\pm$ 0,31 <sup>b</sup>
70°C	337,86 $\pm$ 1,82 <sup>c</sup>	4,64 $\pm$ 0,08 <sup>bc</sup>
80°C	243,33 $\pm$ 1,55 <sup>d</sup>	3,32 $\pm$ 0,24 <sup>cd</sup>
90°C	207,55 $\pm$ 1,62 <sup>e</sup>	2,52 $\pm$ 0,09 <sup>d</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> Os valores apresentados são as médias  $\pm$  desvio padrão. Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatisticamente significativa entre diferentes temperaturas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). TE: Trolox Equivalente. \*Valores em base seca.

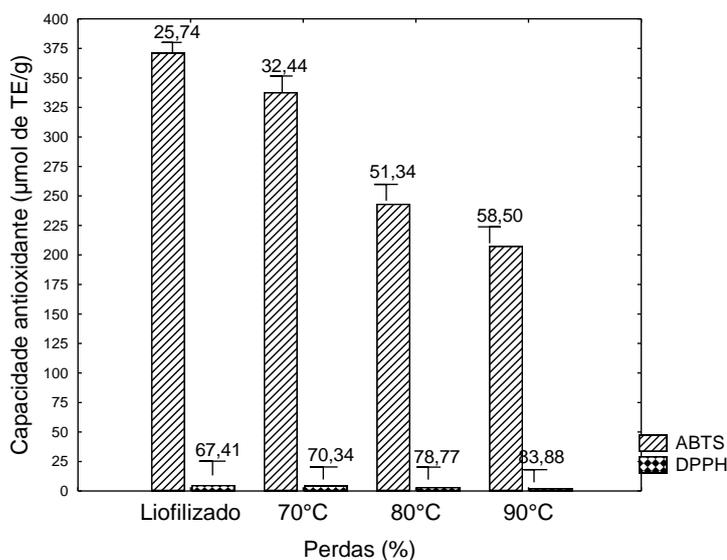
A capacidade antioxidante dos pós analisados foi diretamente proporcional ao teor de compostos fenólicos, ao conteúdo de antocianinas e ácido ascórbico e conseqüentemente, foi afetado pelo processo de secagem em leito de jorro (GENOVESE et al. 2008).

Analisando a Tabela 8, verifica-se que os resultados de capacidade antioxidante foram bastante diferentes, mostrando a redução de antioxidantes mediante a secagem, entretanto, os pós continuam com altos níveis de antioxidantes.

O *mix* em pasta, liofilizado (controle) e pós obtidos em leito de jorro determinados pelo método de radical ABTS apresentaram diferença significativa em todos os

tratamentos. Os produtos (*mix* em pasta, liofilizado e pó a 90°C) determinados pelo método de DPPH apresentaram diferença significativa entre si, entretanto o pó obtido a 70°C não diferiu ao nível de 5% de significância do liofilizado, e o pó obtido a 80°C não diferiu significativamente do *mix* em pó obtido a 70°C.

As perdas de antioxidantes dos dois métodos de radicais ABTS e DPPH mediante ao processo de secagem em leite de jorro (pós) e liofilização (*mix* liofilizado-controle) encontram-se na Figura 11.



**Figura 11.** Perdas de antioxidantes no *mix* liofilizado (controle) e pós obtidos na secagem em leite de jorro em relação ao *mix* em pasta (base seca).

Sogi et al. (2015) encontraram valores de atividade antioxidante determinados por ABTS de 50,7 a 103,8 µmol de TE/g b.s. para polpa de manga desidratada em diferentes técnicas de secagem, Cataneo et al. (2008) obtiveram 42,69 a 80,96 µmol de TE/g b.s do bagaço da uva COUDERC 13 ao utilizar o resíduo agroindustrial para produção de vinho e Sousa et al. (2013) reportaram valores de 96,5 (extrato aquoso) a 242,1 (extrato acetônico) para atividade antioxidante *in vitro* do extrato seco do gengibre. Tais resultados foram inferiores aos encontrados neste trabalho para o *mix* de jaca com cará-roxo em pó. Assim quanto maior o valor mais forte é o potencial antioxidante (SOUSA et al., 2011). Sendo possível considerar que o produto em pó possui uma elevada capacidade antioxidante *in vitro*.

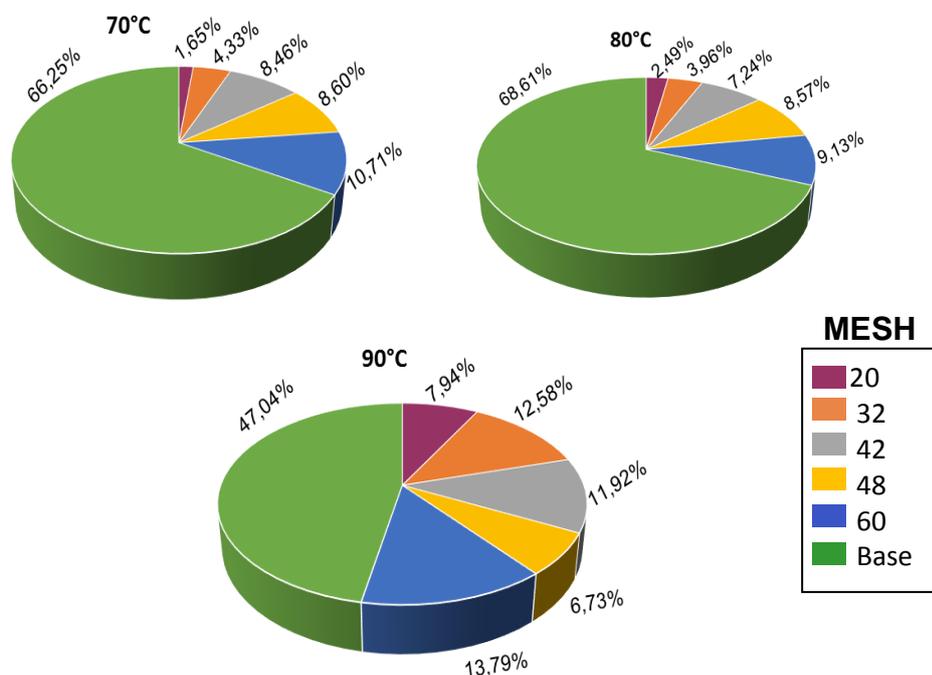
Os valores encontrados para os pós determinados através do DPPH, foram inferiores aos reportados por Meng et al. (2012) que obtiveram para atividade antioxidante em quatro variedades de uvas 7,23 a 8,56  $\mu\text{mol}$  de TE/g b.s e Nobrega et al. (2014) encontraram 113, 4  $\mu\text{mol}$  de TE/g b.s. para polpa de acerola.

De acordo com Rufino *et al.* (2010), as frutas apresentam naturalmente em sua composição diversos compostos com capacidade antioxidante. A presença do fruto jacaíacá no *mix* utilizado nessa pesquisa, por apresentar conteúdo acentuado de antioxidantes, fez com que elevasse ainda mais a capacidade antioxidante do produto, mesmo tendo perdas devido a secagem. Os pós obtidos no presente trabalho possuem atividade com níveis elevados podendo ser caracterizado como uma boa fonte de antioxidantes. O método que melhor quantificou a capacidade antioxidante foi o ABTS.

A capacidade antioxidante avaliada pelo método ABTS foi significativamente mais elevada do que avaliada pelo método de DPPH (Tabela 8). Algumas razões possíveis podem ser responsáveis por isso: Em primeiro lugar, no caso do ABTS as medições foram efetuadas por um comprimento de onda de 734 nm, enquanto que para o DPPH foi 515 nm. Esta subestimação por radicais de DPPH, era esperada uma vez que a região do visível, com compostos coloridos, tais como antocianinas e carotenoides, pode ter os espectros que sobrepõe com DPPH a 515 nm e, assim, interfere nas medições (ARNAO, 2000). A segunda possibilidade pode ser devido a reações de DPPH com certos fenóis, sendo reversível, resultando em baixas leituras para atividade antioxidante (BONDET et al., 1997). Em termos de tempo, a principal desvantagem do ensaio de DPPH é o fato de que o tempo de reação dos extratos são mais lentos (30 minutos) do que ABTS (6 minutos). Além disso, o ABTS pode ser solubilizado em meios aquosos e em orgânicos, em que a atividade antioxidante pode ser medida devido à natureza hidrofílica e lipofílica destes compostos em amostras. No entanto, o DPPH é rotineiramente aplicado em extratos aquosos-orgânicos (PÉREZ-JIMÉNEZ; SAURA-CALIXTO, 2006).

## 5.6 GRANULOMETRIA

Os valores do tamanho das partículas dos pós de jacaíacá com cará-roxo obtidos a diferentes condições de temperaturas são dados na Figura 12 e Tabela 9.



**Figura 12.** Percentual de pós de jacaíacá com cará-roxo retidos em diferentes telas.

**Tabela 9.** Distribuição do tamanho das partículas dos pós de jacaíacá com cará roxo a diferentes temperaturas.

Mesh (tyler)	Abertura (mm)	Mixes		
		70°C (%)	80°C (%)	90°C (%)
20	850	1,65	2,49	7,94
32	500	4,33	3,96	12,58
42	355	8,46	7,24	11,92
48	300	8,60	8,57	6,73
60	250	10,71	9,13	13,79
Base	—	66,25	68,61	47,04

Pode ser observado para os três diferentes pós, que o tamanho das partículas não foi uniforme, como evidenciado pela retenção de massa considerável nas diferentes telas (Figura 12). Este comportamento pode ser atribuído à crescente acumulação da pasta de jacaíacá com cará-roxo sobre a superfície do material inerte, gerando partículas com

diferentes tamanhos durante a secagem. O maior percentual de massa retida para os pós nas diferentes temperaturas, estava na base do equipamento (47,04 a 68,61%) e na peneira de 60 mesh (250 mm), sendo observado pela Figura 12 e Tabela 9.

A granulometria do pó de jacaíacá com cará-roxo obtida nesse estudo, foi superior em comparação com o tamanho de partícula da farinha de banana verde obtida em leito de jorro por Bezerra et al. (2013), onde o material foi retido na tela (250 mm) a 60 mesh. A faixa encontrada nesse trabalho foi de 9,13 a 13,79% e a autora citada acima encontrou valores de 7,06 a 7,75%, de retenção de farinha na abertura da malha a 60 mesh.

O procedimento de secagem em leito de jorro utilizado para produzir pós, eliminam a necessidade de moagem do material seco, uma vez que de acordo com Rocha et al. (2008), a secagem em leito de jorro permite que se obtenha pós com granulometria fina.

O tamanho das partículas influencia na aparência dos produtos sendo que sua medida é um dos vários métodos usados na indústria para controlar a qualidade do produto final. Além disto, influencia também a densidade aparente, compreensibilidade, escoamento e dispersibilidade em água (TEUNOU et al., 1999; YAN; BARBOSA-CÁNOVAS, 1997).

## 5.7 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DO PRODUTO EM PÓ

### 5.7.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e Índice de Absorção em água (IAA)

A Tabela 10 apresenta os valores médios das porcentagens do índice de solubilidade em água e índice de absorção dos pós.

**Tabela 10.** Índice de solubilidade em água (ISA) e Índice de Absorção em água (IAA) dos pós.

Temperatura de processo	Mix	ISA %	IAA (g.g)
25°C	70°C	20,74 ± 0,36 <sup>b</sup>	4,42 ± 0,18 <sup>a</sup>
	80°C	23,64 ± 0,69 <sup>a</sup>	4,30 ± 0,24 <sup>a</sup>
	90°C	21,34 ± 0,19 <sup>b</sup>	4,08 ± 0,16 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup> Os valores apresentados são as médias ± desvio padrão. Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatisticamente significativa entre diferentes temperaturas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os valores do índice de solubilidade em água variaram de 20,74 a 23,64%. Somente o *mix* a 80°C foi diferente estatisticamente dos demais (70°C e 90°C). O maior valor de solubilidade foi encontrado para o *mix* de 80°C. Segundo Chenegi e Ghobadian (2005), em altas temperaturas de secagem pode se formar uma crosta sobre a superfície das partículas impedindo a difusividade das moléculas de água através destas, diminuindo a molhabilidade e reduzindo a dissolução do pó.

Todos os produtos obtidos apresentaram baixa solubilidade à temperatura ambiente (Tabela 10) e esta característica pode limitar significativamente a sua utilização em alimentos instantâneos (BEZERRA et al., 2013). Isso pode ser explicado devido à alta concentração de amido presente no cará-roxo. Silva (2014) obteve também baixos valores de solubilidade (32,59 a 39,52%) para os produtos em pó obtidos pela secagem em leite de jorro de uma mistura de açaí e banana verde, a qual é rica em amido.

Os resultados encontrados para o IAA dos pós podem ser considerados elevados se considerando que sua solubilidade depende da interação com outros nutrientes e suas modificações estruturais pós gelatinização. Fernandes et al., (2003) ressaltaram que, como se trata de uma mistura, quanto maior a solubilidade, melhor é sua indicação do potencial de seu uso em sistemas alimentares.

Não houve diferença estatisticamente significativa dos pós (70°C, 80°C e 90°C) em relação ao índice de absorção de água. O índice de absorção de água está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido. Somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham (CARVALHO, 2000).

O IAA dos pós de jacaíacá com cará-roxo variaram de 4,08 a 4,42 g/g gel. Observa-se que em temperatura ambiente, o amido presente nos pós, proveniente do cará-roxo, não gelatinizou.

Clerici e El-Dash (2008) ao avaliar as características tecnológicas de farinhas de arroz pré- gelatinizadas, encontraram valores de ISA (17,12 a 21,53%) estando próximos aos encontrados para o *mix* de jacaíacá com cará-roxo e valores superiores para o IAA (6,97 a 9,02 g/g gel).

## 5.8 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO PRODUTO EM PÓ

Através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram verificadas as características morfológicas e estruturais dos pós produzidos.

Na Figura 13, estão representadas as micrografias do *mix* de jacaíacá com cará-roxo das diferentes temperaturas de secagem (70, 80 e 90°), com a magnitude de ampliação de 500 (A, C, E) e 1500 vezes (B, D, F). É possível observar que o *mix* apresentou altos teores de carboidratos, principalmente amido, o qual é constituído por estruturas com formatos de diferentes formas e tamanhos, circulares, e alguns grânulos esféricos, côncavo-convexos ou com achatamentos característicos.

Segundo Orea et al., (2002), a microscopia pode ser utilizada para analisar, morfológicamente, grânulos que são influenciados por um processo, neste caso, verificar a influência no processo de secagem sobre a morfologia dos pós obtidos em leite de jorro.

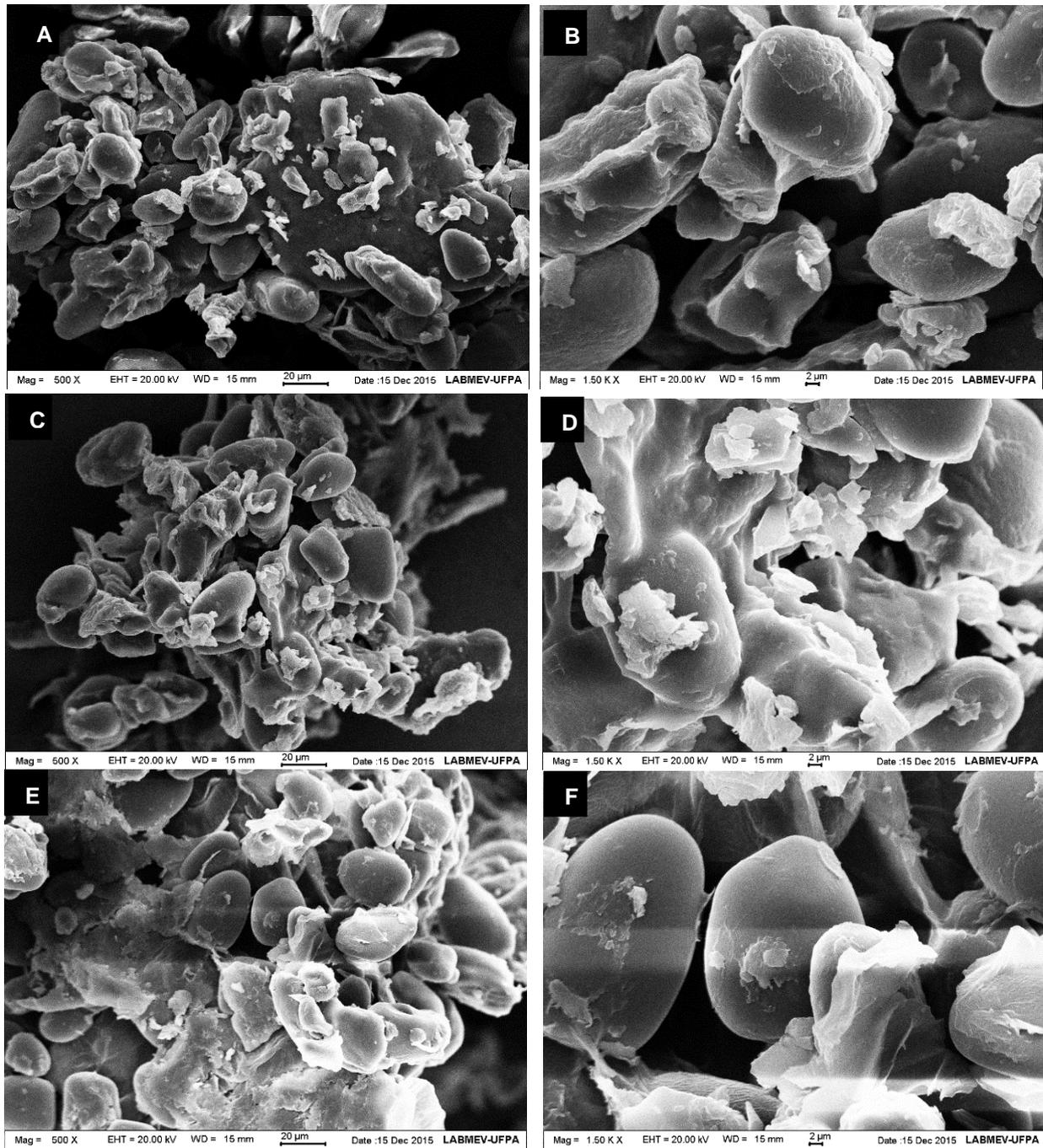
O produto obtido a 70 °C apresentou uma microestrutura onde é possível distinguir alguns grânulos do cará-roxo com diferentes formas e tamanhos (Figura 13 A-B). Rocha (2012) observou no estudo da morfologia do *mix* de banana verde e açai (2:1) obtido por secagem em leite de jorro a 70 °C, que a estrutura dos grânulos de amido não sofrem grandes alterações nestas condições de secagem.

Uma microestrutura similar ao *mix* obtido a 70°C foi observada para o produto a 80°C (Figura 13 C-D). A temperatura a 80°C não influenciou com grandes alterações na morfologia dos grânulos de amido presentes no *mix* de jacaíacá com cará-roxo.

Na Figura 13-E é observado uma microestrutura com matriz irregular e redução dos grânulos de amido dispersos. Uma parte do amido presente no *mix* pode ter sido gelatinizado na temperatura de secagem a 90°C, pois de acordo com Silva et al. (2007) o amido do cará apresenta aumentos no inchamento à temperatura de 85°C chegando à sua completa gelatinização a 95°C.

A Figura 13 indica que pode ter ocorrido uma boa solubilização da polpa de cará-roxo com a polpa jacaíacá. Em contrapartida, a observação de grânulos de amido intactos, principalmente nos pós obtidos a 70 e 80°C, sugere que a polpa de cará-roxo como agente carreador agiu como um veículo para facilitar o processo de secagem, mas

não necessariamente na proteção dos compostos bioativos e antioxidantes sobre o efeito do calor.



**Figura 13.** Micrografias do *mix* de jacaiaçá com cará-roxo (pós) com um aumento de 500 (A/C/E) e 1500 vezes (B/D/F).

## 5.9 ISOTERMAS DE SORÇÃO

Os dados de adsorção e dessorção de umidade para o *mix* de jacaíacá com cará-roxo, obtidos a 25°C, são apresentados na Tabela 11. As isotermas de adsorção e dessorção de umidade do produto são mostradas na Figura 14, evidenciando o efeito de histerese. O efeito de histerese pode ser utilizado como um índice de qualidade para alimentos, onde uma histerese pronunciada é indicativo de baixa estabilidade e a uma pequena histerese ou ausência da mesma é indicativo de uma maior estabilidade do produto durante o armazenamento (CAURIE, 2007).

As isotermas de adsorção e dessorção do *mix* de jacaíacá com cará-roxo obtido em leite de jorro com a temperatura de secagem de 70°C, apresentaram forma característica do comportamento tipo III de acordo com a classificação proposta por Blahovec e Yanniotis (2009). O comportamento observado é atribuído a isotermas tipo III ao fato do produto apresentar em sua composição teor considerável de sólidos solúveis (SALWIN, 1963).

Segundo a IUPAC (1985) as isotermas do tipo III são características de sistemas onde são menos comuns comportamentos que indicam que os principais constituintes do produto (solutos) apresentam pouca afinidade pelas moléculas de água. São caracterizadas pelo aumento gradativo da umidade com a  $a_w$ . As isotermas que apresentam uma zona mais plana na sua primeira parte, ou seja, em formato de “J”, são típicas de alimentos ricos em componentes solúveis, como açúcares, como o *mix* de jacaíacá com cará-roxo (RAO; RIZVI, 1995; AL-MUHTASEB et al., 2004).

O mesmo comportamento foi observado por Gabas et al. (2007) no estudo das isotermas do pó de polpa de abacaxi, através de Pedro et al. (2010) em polpa de maracujá e por Silva et al. (2008) no estudo do comportamento higroscópico do açai e cupuaçu em pó justificando que este comportamento é característico de materiais ricos em carboidratos.

Com base na isoterma de adsorção é possível afirmar que o *mix* de jacaíacá com cará-roxo terá estabilidade microbiológica ( $a_w$  0,6) (SALWIN, 1963; ROCKLAND; NISHI, 1980), quando armazenado à temperatura ambiente, se apresentar umidade inferior a

12,64 g H<sub>2</sub>O g b.s. De acordo com Scott (1957), 0,6 é o limite de  $a_w$  abaixo do qual um alimento tem assegurada sua estabilidade microbiológica.

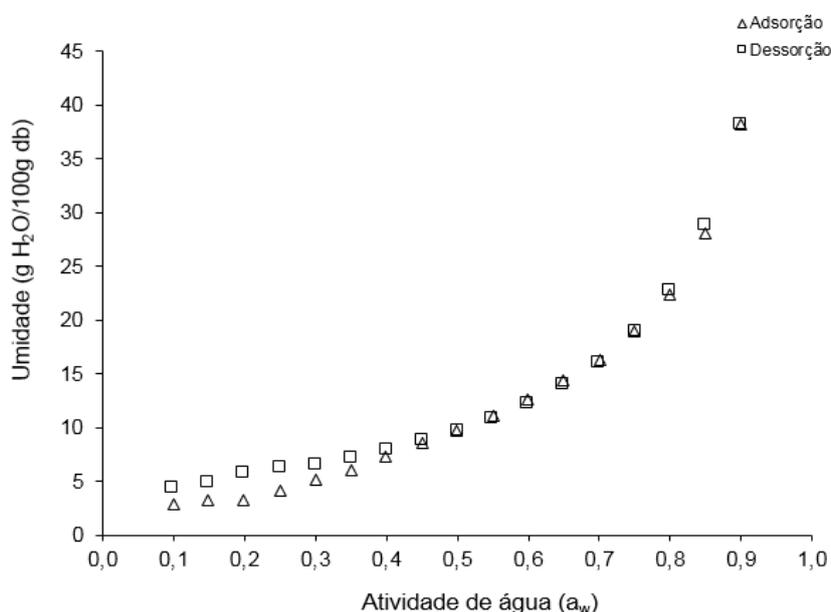
**Tabela 11.** Dados de sorção para o *mix* de jacaíacá com cará-roxo desidratado em leito de jorro a 70°C.

Adsorção		Dessorção	
25°C		25°C	
$A_w$	$m^*$	$A_w$	$m^*$
0,10	2,82	0,90	38,22
0,14	3,27	0,84	28,85
0,19	3,17	0,80	22,77
0,25	4,08	0,75	18,94
0,30	5,18	0,70	15,99
0,35	6,00	0,65	13,98
0,40	7,24	0,60	12,24
0,45	8,50	0,55	10,87
0,50	9,74	0,50	9,74
0,55	11,07	0,45	8,79
0,60	12,64	0,40	7,89
0,65	14,34	0,35	7,16
0,70	16,25	0,30	6,52
0,75	18,88	0,25	6,25
0,79	22,35	0,19	5,81
0,85	27,99	0,14	4,84
0,90	38,22	0,09	4,34

$m$  = umidade (Umidade (g H<sub>2</sub>O.100<sup>-1</sup> g b.s.)

Segundo Gabas et al. (2009) o valor da monocamada ( $m_0$ ) é de grande interesse visto que indica a quantidade de água que é fortemente adsorvida em locais específicos

do alimento, considerado o melhor valor para garantir sua estabilidade aos processos degradativos.



**Figura 14** – Isotherma de sorção de umidade do *mix* de jacaíacá com cará-roxo desidratado em leito de jorro a 70°C.

O valor da monocamada ( $m_0$ ) para a adsorção foi de 4,001 H<sub>2</sub>O/100 g b.s. ( $R^2 = 0,996$ ) (ROCKLAND, 1969) indicando que este é o maior nível de estabilidade do produto ( $a_w < 0,6$ ), na qual além da estabilidade microbiológica é possível evitar o escurecimento enzimático e não-enzimático do produto, e outras reações degradativas (ROCKLAND, 1969). O valor da monocamada para a dessorção indica que a secagem do produto não deve se estender a umidades inferiores a 4,98 H<sub>2</sub>O/100 g b.s. ( $R^2 0,999$ ) para evitar gastos desnecessários, visto que abaixo de  $m_0$  há um aumento exponencial na quantidade de energia envolvida no processo de secagem (ROCKLAND, 1969; MISHRA; RAI, 1996).

Os valores da umidade equivalente à monocamada ( $m_0$ ) para adsorção e dessorção, calculados pela equação de BET linearizada, são apresentadas na Tabela 12 juntamente com os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Tabela 12.** Parâmetros BET para os dados de sorção do *mix* de jacaíacá com cará-roxo desidratado em leite de jorro a 70°C.

Isotermas	25°C		
	C	m <sub>o</sub>	R <sup>2</sup>
Adsorção (BET linearizada)	11,62	4,001	0,9966
Dessorção (BET linearizada)	35,21	4,98	0,9994

Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais de sorção de umidade do *mix* de jacaíacá com cará-roxo em pó são apresentados na Tabela 13. Todos os modelos matemáticos ajustados e testados obtiveram altos coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,98$ ) e variados desvios médios relativos ( $P < 21,46$ ), porém verificou-se que o modelo de GAB foi o que melhor se ajustou aos dados de sorção de umidade do *mix* de jacaíacá com cará-roxo em pó, com boa precisão e pode ser utilizado na predição das isotermas de adsorção ( $R^2 = 0,998$ ;  $P = 6,307$ ) e dessorção ( $R^2 = 0,999$ ;  $P = 1,854$ ) de umidade do produto.

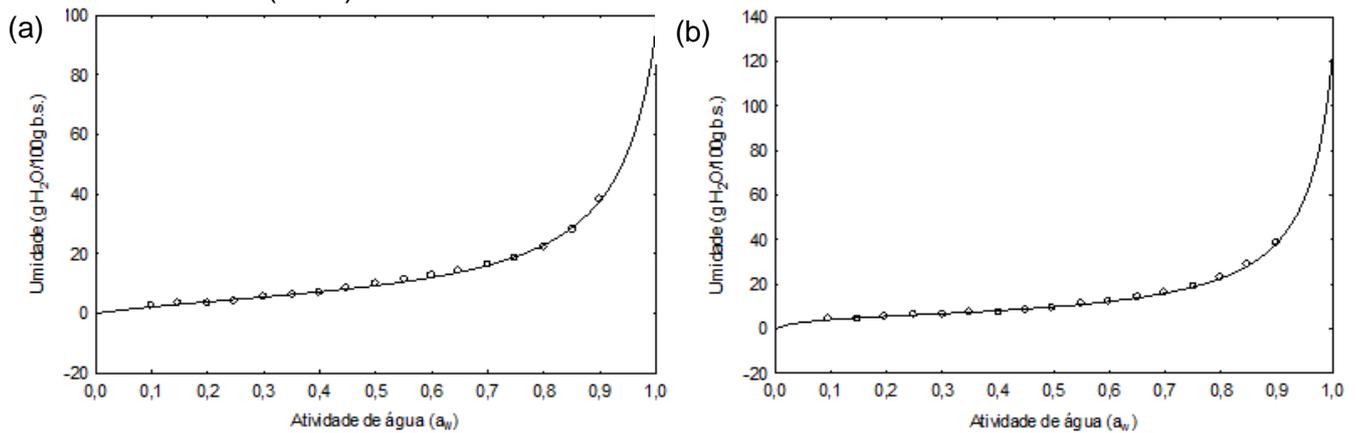
**Tabela 13.** Modelos matemáticos utilizados para ajustar a isoterma de sorção do *mix* de jacaíacá com cará desidratado em leite de jorro a 70°C.

Modelos	Adsorção		Dessorção	
	R <sup>2</sup>	P (%)	R <sup>2</sup>	P (%)
Halsey	0,9958	13,1451	0,9995	2,2074
Kuhn	0,9851	21,4680	0,9931	8,4774
Mizrahi	0,9905	6,6779	0,9948	7,6617
Oswin	0,9992	5,4162	0,9961	8,7032
BET	0,9966	7,6903	0,9994	2,4672
GAB	0,9987	6,3079	0,9997	1,8540

R<sup>2</sup> = Coeficientes de determinação; P = desvio médio relativo.

Os ajustes do modelo de GAB aos dados experimentais de adsorção e dessorção de umidade do produto podem ser observados na Figura 15.

**Figura 15** – Isotermas de (a) adsorção e (b) dessorção de umidade, do *mix* de jacaíacá com cará-roxo seco em leito de jorro a 70°C, experimentais (marcadores) e preditas pelo modelo de GAB (linha).



## 6 CONCLUSÃO

A polpa de jacaíacá apresentou com um grande potencial nutricional e na agroindústria brasileira, com resultados satisfatórios para os compostos bioativos e antioxidantes, fazendo-se necessário mais estudos para explorar o potencial deste fruto.

O cará-roxo apresentou conteúdos notáveis e fonte de compostos bioativos e antioxidantes, como também boa aplicabilidade na formulação de um *mix* com o jacaíacá e substituição de agentes carreadores, agregando valor, tornando-se um produto atrativo.

Todos os pós apresentaram umidade e atividade de água dentro da faixa de segurança do ponto de vista microbiológico estabelecida para alimentos secos.

Os três produtos apresentaram ângulos de repouso menores que 45° e foram classificados como sendo de escoamento livre e baixa densidade aparente e de compactação.

Em relação à cor, os pós apresentaram forte tendência ao vermelho. O componente Chroma (C\*) revelou que o *mix* a 90°C apresentou uma maior intensidade de cor comparada as outras amostras. Os três pós foram classificados como muito distintos para  $\Delta E$ .

O *mix* pode ser considerado uma excelente fonte de compostos fenólicos e com teores satisfatórios de antocianinas e ácido ascórbico. Os pós apresentaram elevada capacidade antioxidante e com conteúdo significativo mesmo após a secagem. Dentre os métodos de determinação de antioxidantes pelos radicais ABTS e DPPH, o que melhor quantificou a capacidade antioxidante foi o de radical ABTS.

Os pós não apresentaram partículas uniformes. O maior percentual de massa retida para os pós nas diferentes temperaturas, estava na base do equipamento (47,04 a 68,61%) e na peneira de 60 mesh (250  $\mu$ m).

Todos os produtos obtidos apresentaram baixa solubilidade à temperatura ambiente. Para o IAA observou-se que em temperatura ambiente o amido presente na composição dos pós, não gelatinizou.

Através da morfologia das partículas foi possível distinguir alguns grânulos de amido com diferentes formas e tamanhos.

As isotermas de sorção de umidade apresentaram comportamento tipo III e indicaram que o *mix* de jacaíacá com cará-roxo em pó não deve ser seco em níveis de umidade inferiores a 4,98 g H<sub>2</sub>O/100 g e que o produto seco já terá estabilidade microbiológica garantida quando apresentar 12,64 g H<sub>2</sub>O g b.s. de umidade. O modelo de GAB foi o que melhor se ajustou, tendo boa precisão para as isotermas de sorção de umidade do produto.

O secador de leite de jorro apresentou uma boa viabilidade para secagem do *mix* de jacaíacá com cará-roxo, pois empregou altas taxas de transferência de calor e massa, permitindo pós com menor tempo de contato, o que contribuiu para a qualidade do produto desidratado.

O produto desidratado a 70°C foi o que melhor preservou suas características nutricionais e funcionais e apresenta assim, grande potencial. A mistura do jacaíacá com cará-roxo (*mix*) favorece uma composição de caráter funcional, podendo ser incorporada em produtos industrializados como sorvetes, refrescos e gelatinas em pó, bebidas lácteas, misturas para bolos, alimentos infantis em geral, em substituição aos aditivos e ingredientes artificiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMO, M.A. Taioba. In: ABRAMO, M.A. **Taioba, cará, inhame: o grande potencial inexplorado**. Campinas: Ícone Editora, 1990. Série II, p.57-63.
- AGBOR-EGBE, T., RICKARD, J.E. Evaluation of the chemical composition of fresh and stored edible aroids. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.53, p. 487-495, 1990.
- AJAIKUMAR, K. B. et al. The inhibition of gastric mucosal injury by *Punica granatum* L. (pomegranate) methanolic extract. **Limerick**, v. 96, n.1/2, p.171-176, 2005.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A.J. DE M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, p.11-20, 2007.
- ALLEN, JR, L. V, POPOVICH N.G.; ANSEL H. C. Formas farmacêuticas e sistemas de liberação de fármacos. 8. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2007, p.207–224.
- ALMEIDA, F. B. **Os Novos Desafios da Fruticultura Brasileira**. In: 17º Congresso Brasileiro de Fruticultura. Belém, PA, 2002.
- ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M. de; ARRIAGA, Â. M. C.; PRADO, G. M. do; MAGALHÃES, C. E. de C.; MAIA, G. A.; LEMOS, T. L. G. de. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Research International** n.44, p.2155–2159. 2011.
- 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, p.297-307, 2004.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, L. Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, St. Paul, v.14, n.1, p. 4-12, 1969.
- ANDRADE-WARTHA, E. R. S. Propriedade antioxidante de clones do pedúnculo de caju (*Anacardium occidentale* L.): efeito sobre a lipoperoxidação e enzimas participantes do sistema antioxidante de defesa do organismo animal. 2007. 111p. **Tese (Doutorado)** – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.
- ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P. C.; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65. 2006.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**: 16.ed. Washington, 1997. v.2, 850 p.

ARAI, S. Physiological functions of foods. Proceedings of the 6<sup>th</sup> **International Congress on Engineering and Food**, p.48-53, Chiba, Japan, 1993.

ARAÚJO, A. L. M. Polpa de jambolão (*Syzygium cumini*) desidratada por liofilização e secagem em leito de jorro: caracterização físico-química e funcional e impacto da secagem. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2014.

ARNAO, M. B. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: A practical case. **Trends in Food Science and Technology**, v.11, c.11, p.419–421. 2000.

ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico de resíduo seco de camarão rosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 786-793, 2007.

AZMIR, J.; ZAIDUL, I. S. M.; RAHMAN, M. M.; SHARIF, K. M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F.; JAHURUL, M. H. A.; GHAFOOR, K.; NORULAINI, N. A. N.; OMAR, A. K. M. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. **Journal of Food Engineering**. v. 117, n. 4. p.426-436, 2013.

BACELOS, M.S.; PASSOS, M.L.; FREIRE, J.T. Characteristics of flow in wet conical spouted beds of unequal-sized spherical particles. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. n.25, p.27–38. 2008.

BACELOS, M. S.; SPITZER NETO, P. L.; SILVEIRA, A. M.; FREIRE, J. T. Analysis of fluid dynamics behavior of conical spouted bed in presence of pastes. **Drying Technology**, New York, v. 23, n. 3, p. 427-453, 2005.

BENNETT, L. E., JEGASOTHY, H., KONCZAK, I., FRANK, D., SUDHARMARAJAN, S., CLINGELEFFER, P. R. Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. **Journal of Functional Foods**, v.3, c.2, p.115–124. 2011.

BEZERRA, C.V., AMANTE, E.R., de OLIVEIRA, D.C., RODRIGUES, A.M.C., da SILVA, L.H.M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 241–249, 2013.

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

BIRCHAL, V. S. **Modelagem e simulação da secagem de leite em secadores spray**. 209f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2003.

BLAHOVEC, J.; YANNIOTIS, S. Modified classification of sorption isotherms. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 72-77. 2009

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos: pigmentos**. 2ª ed., Campinas: Varela, 1995, p 105-120.

BONDET, V.; BRAND-WILLIAMS, W.; BERSET, C. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH• free radical method. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 30, c.6, p.609–615. 1997.

BORA, P.S.; NARAIN, N.;HOLSCHUH,H.J.;VASCONCELOS, M.A.S. Changes in Physical and Chemical Composition during Maturation of Yellow Mombin (*Spondias mombin*) Fruits. **Food Chemistry**. v.41, p.341-348, 1991.

BORGES, K. C. Estudo das características físico-químicas e funcionalidade de bagaços de frutas tropicais desidratados em leito de jorro. 138f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M. E., BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity using the DPPH free radical method. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie Food Science and Technology**, v. 28, p. 25–30, 1995.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº263 de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília 22 ago. 2005.

BRASIL. ANVISA. Resolução RDC nº 270 de 22 de setembro de 2005. Aprova o "Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal". **D.O.U.** - Diário Oficial da União; Poder Executivo, Brasília, DF, de 23 de set. de 2005.

BRASIL, Ministério da saúde, Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), **Diário Oficial da União** Resolução RDC nº 360. Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados Brasília, DF. Dezembro de 2003.

BRITO, T.T. et al. Composição centesimal de inhame (*Dioscorea sp.*) in natura e minimamente processado. **Scientia plena**, 2011.

BROD, F. P. R. Avaliação de um secador vibro fluidizado. 2003. 336p. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)** - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BUENO, J. M.; SAEZ-PLAZA, P.; RAMOS-ESCUADERO, F.; JIMENEZ, A. M.; FETT, R.; ASUERO, A. G. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: Chemical structure, color, and intake of anthocyanins. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 42, n. 2, p. 126–151, 2012.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of spray-dried *Amaranthus* Betacyanin. **Pigments Journal of Food Science: Sensory and Nutritive Qualities of Food**. v.65, n.6, p.1-5.2000

CAL, K.; SOLLOHUB, K. Spray drying technique: Hardware and Process Parameters. **Journal of pharmaceutical sciences**. v. 99, c. 2, p. 575-586. Fevereiro de 2010.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. Alimentos funcionais. Uma revisão. **Boletim da SBCTA**. v. 29, n. 2, p. 193-203, 2005.

CARMO, C. A. S. **Inhame e taro**: sistema de produção familiar. Vitória: Instituto Capixaba de pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2002. p. 23-32.

CARRATU, E; SANZINI, E. "Sostanze biologicamente attive presenti negli alimenti di origine vegetable". **Ann. Ist. Super Sanità**, n.41 c.1, p.7-16, 2005.

CARVALHO, J. E. U; MULLER, C. H; NASCIMENTO, W. M. O. Classificação de sementes de espécies frutíferas nativas da Amazônia de acordo com o comportamento no armazenamento. Comunicado Técnico. **Ministério da Agricultura e Abastecimento**, nº 60, p.1-4, jul. 2001.

CARVALHO, P.C.L.; TEIXEIRA, C.A. BORGES, A.J. Diversidade genética em *Dioscorea* spp. no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n. 2, p. 515-519. 2009.

CARVALHO, R.V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão: caracterização textuométrica e microestrutural**. Lavras (MG), 89 p., 2000. Dissertação (mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras.

CARVALHO, R.V.; ASCHERI, J.L.R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**. 2002; v. 26, n. 5, p.1006-1018.

CATANEO, C. B.; CALIARI, V.; GONZAGA, L. V.; KUSKOSKI, E. M.; FETT, R. Antioxidant activity and phenolic content of agricultural by-products from wine production. **Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 93-102, 2008.

CAURIE, M. Hysteresis phenomenon in foods. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 42, p. 45-49, 2007.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas Comestíveis da Amazônia**. 6º ed. Belém, PA; Museu Paraense Emilio Goeldi: CNPQ, 2010. 279 p.

CHEGINI, G. R.; GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. **Drying Technology**. v.23, n.3, p.657-668, 2005.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de Frutos e Hortaliças: Fisiologia manuseio**. 2º ed. **Rev. e ampl. Lavras**: UFLA, 2005. 785p.

CHOU, S.T.; CHIANG, B.H.; CHUNG, Y.C.; CHEN, P.C.; HSU, CHENG-KUANG. Effects of storage temperatures on the antioxidative activity and composition of yam. **Food Chemistry**, v.98 p.618–623, 2006.

CIPRIANO, P. DE A. **Antocianinas de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) e casca de jabuticaba (*Myrciaria jabuticaba*) na formulação de bebidas isotônicas**. Dissertação (mestrado) – UFV, MG, 2011.

CIURZYNSKA, A.; LENART, A. Freeze-drying – Application in food processing and biotechnology – A review. **Polish Journal of Food Nutrition and Science**. v.61, n. 3, p. 165-171, 2011.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Technological properties of pre-gelatinized rice flour obtained by thermoplastic extrusion. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, set./out., 2008.

COLONNA, P.; DOUBLIER, J. L.; MELCION, J. P.; MONREDON, F. de; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, 1984; v. 61, n. 6, p. 538-543.

CORREIA, S.E. Secagem de pasta residual de soja em leite de jorro. **Tese (Doutorado em Engenharia Química)** – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1996.

CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro. Ministério da agricultura. volume II. 1931.

CUI, H.; GRACE, J. R. Spouting of biomass particles: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4008 – 4020. 2008.

DAVIES, B.H. Carotenoids. In: GOODWIN, T.W. **Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments**. 2. ed. London: Academic Press, 1976. v.2, p.38-165.

DECAGON DEVICES. **Vapor Sorption Analyzer: Operator's Manual**. Washington: Decagon Devices, 2015. 95 p.

DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F.; LIMA, L. C. O. Metodologia para elaboração de fermentado de cajá (*Spondias mombin* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n.23, c.3, p.342–350. 2003.

DUARTE, C. R. Estudo experimental e de simulação da fluidodinâmica e recobrimento em leite de jorro. **Tese (Doutorado em Engenharia Química)** – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2006.

FAO. **Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Termedi Caracalla: Roma, 1987.

FAO Faostat: **Food and agricultural commodities production**. Disponível em:[http://www.ibb.unesp.br/servicos/publicacoes/rbpm/pdf\\_v7\\_n1\\_2005/artigo\\_11\\_v7\\_n1.pdf](http://www.ibb.unesp.br/servicos/publicacoes/rbpm/pdf_v7_n1_2005/artigo_11_v7_n1.pdf). Acesso em: 04/12/2014.

FELIPPE, G. **Frutas: sabor à primeira dentada**. Editora, SENAC, SÃO PAULO, p. 205 2004.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FENNEMA, OWEN; DAMODARAN, SRINIVASAN; PARKIN, KIRK. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

FERNANDES, M.S.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, S.A.J. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré-cozida de milho e soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p. 234-239, 2003.

FERRARI, C. C., RIBEIRO, C. P., AGUIRRE, J. M. (2012) Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**. v.15, p.157-165.

FONSECA, E. W. N. da. **Utilização da mucilagem de inhame (*Dioscorea spp.*) como melhorador na produção de pão de forma**. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. 2006.

FOOD INGREDIENTS BRASIL – FIB. **Dossiê alimentos desidratados: alimentos desidratados**. n.26. 2013.

FREITAS, L. A. P.; ANDRADE, T. C.; TEIXEIRA, C. C. C.; TACON, L. A.; TSUKADA, M. Innovative applications of spray drying. In: JOSÉ, M. J. S. (Ed.). **Advances in Chemical Engineering**, cap. 1, p.1-13, 2010.

FUJITA, A., BORGES, K., CORREIA, R., FRANCO, B.D.G.M., GENOVESE, M.I. Impact of spouted bed drying on bioactive compounds, antimicrobial and antioxidant activities of commercial frozen pulp of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh). **Food Research International** v. 54, p. 495–500, 2013.

FULEKI, T.; FRANCIS, F.J. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 33, n. 1, p. 72-77, 1968.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v.82, p.246–252, 2007

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. **Nobel**, p. 26-93, 2007.

GENOVESE, M. I.; PINTO, M. DA SILVA.; GONÇALVES, A.E. DE SOUZA SCHMIDT.; LAJOLO, F.M. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology International**, v. 14, p.207-214, 2008.

GEORGÉ, S., BRAT, P., ALTER, P., AMIOT, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2005, v. 53, p. 1370-1373

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v.40, n.9, p.1107-1121, 2007.

GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Occurrence of *cis*-isomers of provitamin A in Brazilian fruits. **Journal Agriculture Food Chemical**. v. 42, n. 6, p. 1306-1313, 1994.

GOMES, P.M. de A.; FIGUEIRÊDO, R.M. F.; QUEIROZ, A.J.M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 384-389, 2004.

GOMES, P. M. A., FIGUEIRÊDO, R. M. F., QUEIROZ, A.J. de M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.157-165, 2002.

GORDON, A.; JUNGFER, E.; SILVA, B. A.; MAIA, J. G. S.; MARX, A. Phenolic constituents and antioxidant capacity of four underutilized fruits from the amazon region. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, p. 7688-7699, 2011.

GORINSTEIN, S. The effects of diets, supplemented with either whole persimmon or phenol-free persimmon, on rats fed cholesterol. **Food Chemistry**, Barking. v. 70, p. 303-308, 2000.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**.v.22, c.10, p.2309- 2330.2004.

GRANATO, D.; BRANCO, G. F.; NAZZARO, F.; CRUZ, A. G.; FARIA, J. A. F. functional foods and nondairy probiotic food development: trends, concepts and products. **Comprehensive Reviews in food Science and Food Safety**, v. 9, n. 3, p. 291-302, 2010.

GUBULIN, J.C.; FREIRE, J.T. Secagem de pasta e similares em leite de jorro: Teste de secagem e estudos hidrodinâmicos globais em escala piloto. In: ENCONTRO SOBRE ESCOAMEN- TO EM MEIOS POROSOS, 17, 1989 São Carlos, **Anais...** São Carlos: UFSCar, 1989. v.1, p.203-213.

GUTKOSKY, L. C. Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade. 1997. 241p. **Tese (Doutorado**

**em Tecnologia de Alimentos)** – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

GUILLON, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, v.33, p.233-245, 2000.

HALLIWELL, B. Antioxidants in human health and disease. **Annual Review of Nutrition**, v.16, p.33-50, 1996.

HOSSAIN, M. D.; BALA, B. K.; HOSSAIN, M. A.; MONDOL, M. R. A., Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. **Journal of Food Engineering**, v. 48, n. 2, p. 103-107, 2001.

HOU, W. C.; HSU, F. L.; LEE, M. H. Yam (*Dioscorea batatas*) tuber mucilage exhibited antioxidant activities in vitro. **Planta Medica**, Stuttgart, v. 68, n. 12, p. 1072- 1076, Dec. 2002.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R.L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p.1841-1856, 2005.

HUFENÜSSLER, L.; KACHAN, G.C. Secagem de purê de banana em um secador de leite de jorro In: Encontro sobre escoamento em meios porosos, 12, 1985, Maringá, **Anais...** Maringá: UEM, 1985. v.2, p.340-354.

IBRAF. INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS. Disponível em: <[www.lbraf.org.br](http://www.lbraf.org.br)>. Acesso em 05/12/14

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA DA AMAZÔNIA. Cultivo de camu-camu. Disponível em; <http://www.inpa.gov.br/cpca/areas/camu-camu.html>. Acesso em 04/12/2014.

IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas / solid systems. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

KEYY, R. B. **Drying: Principles and Practice**. Oxford: Pergamon Press, 1975. p. 358.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; MORALES, M. T.; FETT, R. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Revista Ciência Rural, Santa Maria**, v. 36, n. 4, p. 1283-1287, 2006.

LAITINEN, O. H.; HYTOPNEN, V. P.; AHLROTH, M. K.; PENTIKAINEN, O. T.; GALLACHER, C.; NORLUND, H. R.; OVD, V.; MARTILLA, A. T.; PORKKA, E.; HEINO, S.; JOHNSON, M. S.; AIRENNE, K. J.; KULOMAA, M. S. Chicken avidin-related proteins show altered biotin-binding and physico-chemical properties as compared with avidin. **Biochem Journal**, v. 363, p. 609–617, 2002.

LAJOLO, F.M. Alimentos funcionais: uma visão geral. In: DE ANGELIS, R.C. **A importância dos alimentos vegetais na proteção da saúde: fisiologia da nutrição protetora e preventiva de enfermidade degenerativas**. São Paulo: Atheneu, p.175-181, 2005.

LANE, J. H.; EYNON, L. Determination of reducing sugars by Fehling's solution with methylene blue indicator, **Norman Rodge, London**, 8p., 1934.

LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural Food Chemistry**. v. 45, p.1390-1393, 1997.

LEBOT, V. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids. **Crop Production Science in Horticulture Series: 17**. Wallingford: CABI, 2009.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.1, p.65-69, jan./abr. 2002.

LEONEL, M.; OLIVEIRA, M. A. de.; FILHO, D. J. Tropical tubers as starchy raw materials. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**. Botucatu, 2005.

LOHANI, S.; TRIVEDI, P.K.; NATH, P. Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA, **Postharvest Biology Technology**, [S.l.]: v. 1, p.1-8, 2004.

LORENZI, H. Árvores Brasileiras. **Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. v. 03, Nova Odessa: Ed. Plantarum, 384 p. 2009.

LOVATTO, M. T.; BISOGNIN, D. A.; TREPTOW, R. de O.; STORCK, L.I; GNOCATO, F. S.; JUNIOR, G. M. Processamento mínimo de tubérculos de batata de baixo valor comercial. **Horticultura Brasileira**, v.30, n.2.

MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; LIMA, A. S. **Processamento de sucos tropicais**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2007. 320p.

MAIA, L.H. Características químicas e propriedades funcionais do mingau desidratado de arroz e soja e, propriedades reológicas e sensoriais deste mingau reconstituído. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Tecnologia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 110 p., 2000.

MARRETO, R.N. Estudo da técnica de leite de jorro convencional para secagem de microcápsulas de caseína e pectina. **Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas)**. Universidade de São Paulo (USP). 2006.

MATTIETTO, R. A. Estudo tecnológico de um néctar misto de cajá (*Spondias lutea* L.) e Umu (*Spondias tuberosa*), 299f. **Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)**.

Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP. 2005

MATTIETTO, R. A.; LOPES, A. S.; MENEZES, H. C. Caracterização física e físico-química dos frutos da cajazeira (*Spondias mombin* L.) e de suas polpas obtidas por dois tipos de extrator. **Brazilian Journal of Food Technology**., v. 13, n. 3, p. 156-164, 2010.

MEDEIROS, D.F.M. Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro. **Tese (Doutorado em Engenharia de Processos)** – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

MEDEIROS, M.F. D.; MATA, A. L. M. L.; JERÔNIMO, C. E. M.; ALSINA, O. L. S.; MEDEIROS, U. K. L.; ROCHA, S. C. S.; FURTUNATO, A. A. Escoabilidade de Leitões de partículas inertes com polpas de frutas tropicais. Efeitos na Secagem em Leito de Jorro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p. 475-480, 2001.

MELO, E.; MACIEL, M.; LIMA, V.; NASCIMENTO, R. Capacidade antioxidante de frutas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, 44, p. 193-201, 2008.

MELO, E. DE A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; LEAL, F. L. L.; CAETANO, A. C. da S.; NASCIMENTO, R. J. Capacidade antioxidante de hortaliças usualmente consumidas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.26 n.3. Campinas. 2006.

MENG, J.F.; FANG, Y.L.; QIN, M. Y.; ZHUANG, X. F.; ZHANG, Z.W. Varietal differences among the phenolic profiles and antioxidant properties of four cultivars of spine grape (*Vitis davidii* Foex) in Chongyi County (China). **Food Chemistry**, v. 134, p. 2049-2056, 2012.

MESSENGER, B. Going native. **Food processing**, january, p. 58-59, 1997.

MIKLI, V.; KAERDI, H.; KULU, P.; BESTERCI, M. Characterization of powder particle morphology. **Estonian Academy Scienc Engineering**, v. 7, p. 22-34, 2001.

MISHRA, S.; RAI, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 5, p. 557-566, 2006.

MONTEIRO, D. A.; PERESSIN, V. A. Cultura do inhame. In: CEREDA, M. P. (Ed.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargil, 2002. p. 511-522.

MUJUMDAR, A. S.; MENON, A. Drying of Solids: Principles, Classification and Selection of Dryers. In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 2ª edição. New York. Marcel Dekker, p. 1-39. 1995.

MUSSI, L. P.; GUIMARÃES, A. O.; FERREIRA, K. S.; PEREIRA, N. R. Spouted bed drying of Jambolão (*Syzygium cumini*) residue: drying kinetics and effect on the

antioxidant activity, anthocyanins and nutrients contents. **LWT – Food Science and Technology**, v.61, p.8- 88, 2015.

NAGATANI, T.; SAITO S.; SATO, M.; YAMADA, M. Development of an ultra high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. **Scanning Microscopy**. v.11, p. 901-909, 1987.

NERES, L. S.; SOUSA, S. H. B.; PACHECO, E. A.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B.; GARCIA, A. R.; NAHÚM, B. S.; GOMES, K. S. S. Elaboração e avaliação sensorial de iogurte de leite de búfala sabor jacaicá (*Poupartia amazonicum*). In: Congresso internacional do leite, 11., 2012, Goiânia. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa Gado e Leite, 2012.

NETO, H. J. de L. Obtenção de tomate seco através do uso de um sistema solar alternativo de baixo custo. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – RN. 2008

NÓBREGA, E. M.; OLIVEIRA, E.L.; GENOVESE, M.I.; CORREIA, R.T.P. The impact of hot air drying on the Physical-chemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malphigia emarginata*) residue. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, c. 2, p. 131-141. 2014.

NYBG, the New York Botanical Garden. International Plant Science Center. The virtual herbarium of the New York botanical garden. **Antrocaryon amazonicum**. New York. Disponível em: <<http://nybg.org>> Acesso em: 04/12/2014.

OIKONOMOPOULOU, V.P.; KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T. The influence of freeze drying conditions on microstructural changes of food products. **Procedia Food Science**, v.1, p.647-654, 2011.

OLIVEIRA, A.P.; BARBOSA, L.J.N; PEREIRA, W.E.; SILVA, J.E.L.; OLIVEIRA, A.N.P.2007. Produção de túberas comerciais de inhame em função de doses de nitrogênio. Brasília. **Horticultura Brasileira**, n. 25, v.1, p. 73-76. 2007.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (spray-drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 4, p. 641-650, 2010.

OREA, C., PITSI, G., JAMÉE, P., THOEN, J., 2002. Phase transitions in the starch–water system studied by adiabatic scanning calorimetry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50, 1335–1344.

PALLAI, E.; SZENTMARJAY, T.; SZIJJÁRTÓ, E. Effect of partial processes of drying on inert particles on product quality. **Drying Technology**. New York, v. 19, n. 8, p. 2019-2032, 2001.

PAN, Y. K.; LI, J. G.; ZHAO, L. J.; YE, W. H.; MUJUMDAR, A. S.; KUDRA, T. Performance characteristics of the vibrated fluid bed of inert particles for drying of liquid feeds. **Drying Technology**, v.19, n. 8, p. 2003–2018, 2001.

PARK, K.J.; MORENO, M.K.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra Bartlett. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.3, p.288- 292, 2001.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A-J. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods.: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v.6, p.36-60, 2013.

PATIL, B.S.; JAYAPRAKASHA, G. K.; MURTHY, K. N. C.; VIKRAM, A. Bioactive compounds: historical perspectives, opportunities, and challenges. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, n.18, p. 8142-8160, 2009.

PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, p.993-1000, 2010.

PEIGHAMBARDDOUST, S.H.; TAFTI, A.G.; HESARI, J. Application of spray drying for preservation of lactic acid started cultures> a review. **Trends in food science & technology**. v. 22, p.215-224. 2011.

PEIXOTO NETO, P. A. S.; CAETANO, L. C; LOPES FILHO, J. **Inhame: o nordeste fértil**. Maceió: EDUFAL, 2000. 88 p.

PELEG, M. **Physical characteristics of food powders**. In: Peleg, M.; Bagley, E.B. Physical properties of foods. Westport (USA): AVI – Publishing – Co. Inc., 1983. Cap. 10, p 293-323.

PENG, G.; CHEN, X.; WU, W.; JIANG, X. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 2, p. 562-567, 2007.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J. Metodología para la evaluación de ingredientes funcionales antioxidantes: efecto de fibra antioxidante de uva em status antioxidante y parâmetros de riesgo cardiovascular en humanos. 244p. **Tesis (Doctoral)** – Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. 2007.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of solvent and certain food constituents on different antioxidant capacity assays. **Food Research International**, v.39, c.7, p. 791–800. 2006.

PESTANA, C. M. D. Efeitos do processamento sobre a disponibilidade de carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante em quatro cultivares de batata doce (*Ipomoea batatas* L.) biofortificados. **Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2011.

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 & Food Research**, n.56, p.357–387. 2012.

PIETTA, P. G. Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Products**, v. 63, p.1035-1042, 2000.

PRISTA, N. L.; ALVES, C. A. MORGADO, R.; LOBO, S. J. Tecnologia Farmacêutica. Lisboa: **Fundação Calouste Gulbenkian**, v.1. 2003.

RAMOS, C .M. P.; LIMA, M. F. M., MARIA, Z. L. Obtenção de frutas desidratadas em pó mediante a secagem em leito de jorro. **Anais Assoc. Brasileira Química**, vol. 47, n.1, p. 33-36, 1998.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H., **Engineering Properties of Foods** (Marcel Dekker Inc, New York, USA). 1995.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

RÉ, M. I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, Philadelphia, v. 16, n. 6, p. 1195-1236, 1998.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v.26, n. 9/10, p. 1231–1237, 1999.

RESQUE, O. R **Vocabulário de frutas comestíveis da Amazônia**. Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, 2007.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 1º edição. São Paulo. Editora Edgard Blüncher LTDA, 2004, 184f.

RIBEIRO, E. P. ; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2ªEd. São Paulo: Blucher, p. 2-27, 2007.

RINCON, A.; ARAUJO DE VIZCARRONDO, C.; CARRILLO DE PADILLA, F.; MARTÍN, E. Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las Dioscoreas: ñame congo (*Dioscorea bulbifera*) e mapuey (*Dioscorea trifida*). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, n.50, n.3, 2000, p.286-290.

ROCHA, A. P. T.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, V. S.; SILVA, F. L. H. Cinética de produção de levedura seca em leito de jorro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.12, n.1, p. 81-86. 2008.

ROCHA, A. P. T. Estudo do processo de recobrimento contínuo de extratos fitoterápicos secos em leito de jorro. 2006. 149 p. **Tese (Doutorado em Engenharia de Processos)** – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2006.

ROCHA. Secagem em leito de jorro do mix banana verde e açaí: influência da composição da mistura na qualidade do produto. 87p. **Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)** – Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

ROCKLAND, L. B.; NISHI, S. K. Influence of water activity on food product quality and stability. **Food Technology**, v. 34, n. 4, p. 42-59, 1980.

ROSENTHAL, F. R.T., PELEGRINO, S. L., CORREA, A. M. N. Studies on the starches of *Dioscorea*. **Starch/Starke**, v. 24, p. 55-58, 1972.

RUFINO, M. do S. M. Propriedades funcionais de frutas tropicais brasileiras não tradicionais. 263p. **Tese (Doutorado em Agronomia)**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró/RN. 2008.

RUFINO, M do SM; ALVES, RE; BRITO, ES de; MORAIS, SM de; SAMPAIO, C de G; PÉREZ-JIMÉNEZ, J; SAURA-CALIXTO, FD. 2007. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de. ; BRITO, E. S. Free radical scavenging behavior of ten exotic tropical fruits extracts. **Food Research International**, v.44, p.2072-2075, 2011.

RUFINO, M.S.M.; FERNANDES, F.A.N.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S. Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPH system. **Food Chemistry**, Columbus, v.114, n.2, p.693-695, 2009.

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

SALES, A.; WAUGHON, T. G. M. Influence of processing on the bioactive compound content in murici and hog plum fruits. **Revista Agrarian**. v. 6, n. 19, p. 7-15, 2013.

SALWIN, H. Moisture levels required for stability in dehydrated foods. **Food Technology**, v. 17, n. 9, p. 1114-1121, 1963.

SANTOS, E. S.; FILHO, J. C.; LACERDA, J. T. de; CARVALHO, R. A. **Inhame e preservação ambiental**. João Pessoa: EMBRAPA, EMEPA, 2006. 6 p.

SANTOS, E. S.; FILHO, J. C.; LACERDA, J. T. de; CARVALHO, R. A. **Inhame e preservação ambiental**. João Pessoa: EMBRAPA, EMEPA, 2006. 6 p.

SARI, Puspita et al. Colour properties, stability, and free radical scavenging activity of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit anthocyanins in a beverage model system: Natural and copigmented anthocyanins. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1908-1914, 2012.

SCHWARTZ, G.; WATRIN, O. S.; GOMES, J. I. Espécies arbóreas da sede da Embrapa Amazônia Oriental: Conservação *Ex Situ* e um novo Espaço de Educação Ambiental em Belém. **Revista ciências agrárias**, 46, p.181-194, jul./dez. 2006.

SCOTT, W. J. Water relations of food spoilage microorganisms. **Advents in Food Research**, v. 7, n. 9, p. 83-127, 1957.

SCOTT, G.J., ROSEGRANT, M.W., RINGLER, C. Roots and Tubers for the 21st Century Trends, Projections, and Policy Options Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 31, **International Food Policy Research Institute**. 2033 K Street, N.W., Washington, DC 20006-1002 USA. , 2000.

SHAH, N.P. Functional cultures and health benefits. **International Dairy Journal**. v. 17, p. 1262-1277, 2007.

SHANLEY, P.; MEDINA, G **Frutíferas e Plantas Úteis na Vida Amazônica**.CIFOR, Imazon, p. 226. Belém, 2005.

SILVA, P.L.; GOMES, A.M.M.; RICARDO, N.M.P.S.; SILVA, C.E.M. Caracterização físico-química e reológica dos amidos de inhame (*Dioscorea* sp), araruta (*Maranta arundinacea*), cará (*Dioscorea alata*), jalapa (*Operculina macrocarpa* L. Urban ) e feijão verde (*Phaseolus vulgaris* sp.). **ABQ-RN**. Natal. 2007.

SILVA, A. K. N. Efeitos da secagem em leite de jorro sobre a qualidade do mix banana verde e açaí em pó enriquecido com proteína do soro do queijo. **Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)** – Universidade Federal do Pará. Belém, 2014.

SILVA, A. P. V.; MAIA, G. A.; OLIVEIRA, G. S. F.; FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M. Estudo da produção do suco clarificado de cajá (*Spondias lutea* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n.19, c.1, p.33–36. 1999.

SILVA, L. M. R. da; FIGUEIREDO ,E. A. T. de; RICARDO, N. M. P. S.; VIEIRA, I. G. P.; FIGUEIREDO, R. W. de; BRASIL, I. M.; GOMES, C. L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**. v.143 p.398–404. 2014.

SILVA, P.S.L.; SÁ, W.R.; MARIGUELE, K.H.; BARBOSA, A.P.R.; OLIVEIRA, O.F. Distribuição do teor de sólidos solúveis totais em frutos de algumas espécies de clima temperado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 15, n. 1/2, p.19-23, 2002.

SILVA, A. E. da S.; SILVA, L. H. M. da; PENA, R. da S. Comportamento higroscópico do açaí e cupuaçu em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.4, p.895-901, 2008.

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.

SIRÓ, I.; KAPOLNA, E.; KAPOLNA, B.; LUGASI, A. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance – a review. **Appetite**, v. 51, n. 3, p. 56-67, 2008.

SNYDER, S. M., REBER, J. D., FREEMAN, B. L., ORGAD, K., EGGETT, D. L., PARKER, T. L. Controlling for sugar and ascorbic acid, a mixture of flavonoids matching navel oranges significantly increases human postprandial serum antioxidant capacity. **Nutrition Research**, v. 31, p. 519–526, 2011.

SOARES, E.C.; OLIVEIRA, F.G.S.; MAIA, G.A.; MONTEIRO, J.C.S.; SILVA, JR A.; FILHO, M. S. S. Desidratação da polpa de acerola (*malpighia emarginata* d.c.) pelo processo “foam mat”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n.2, 2001.

SOARES, E. B. Avaliação de Genótipos de Cajazeira (*Spondias Mombin* L.): Caracterização Físico-Química dos Frutos e Repetibilidade e Caracteres Morfoagronômicos. **(Master Dissertation, Universidade Federal do Piauí, Teresina)**. 2005.

SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**. v.62, p.564–568. 2015.

SOUSA, M. M. D. de; LAGES, L.; NASCIMENTO, J. do; LIMA, A. **Compostos fenólicos e atividade antioxidante *in vitro* do extrato seco do gengibre (*Zingiber officinale*)**. 65ª Reunião Anual da SBPC. ISSN 2176-1221. 2013

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; LIMA, A. de Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de resíduos de polpas de frutas tropicais. **Brazilian Journal Food Technology, Campinas**, v. 14, n. 3, p. 202-210, jul./set., 2011.

SOUSA, P. H. M.; RAMOS, A. M.; MAIA, G. A.; BRITO, EDY SOUSA de; GARRUTI, D. S.; FONSECA, A. V. V. da; Adição de extratos de *Ginkgo biloba* e *Panax ginseng* em néctares mistos de frutas tropicais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 2010.

SOUZA, A. P. **Comportamento higroscópico, avaliação físico-química e mineral do preparo sólidos para refresco nos sabores manga, laranja maracujá e abacaxi**. Ceará. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.

SOUZA JR. F. E. Secagem do resíduo industrial da acerola em leite de jorro: estudos fluidodinâmicos e análise do desempenho do secador. 126p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)** – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal (RN). 2012.

SOUZA, J. S. Secagem de misturas de polpa de frutas tropicais em leite de jorro. **Tese (Doutorado em Engenharia Química)**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). 2009.

SOUZA, V. R. de.; PEREIRA, P. A. P.; SILVA, T. L. T.da.; LIMA, L. C. O. de.; PIO, R.; QUEIROZ, F. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical

composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. **Food Chemistry**. v.156. p, 362-368. 2014.

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

STATISTICA for Windows 5.5. **Computer program manual**. Tulsa: StatSoft., 2000.

STANIFORTH, J. N. Fluxo de pós. In: AULTON, M. E., (Ed.). **Delineamento de formas farmacêuticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. p.208-221.

TACO. **Tabela Brasileira de composição de alimentos**. Nepa-Unicamp: Campinas (Versão 2). 2006.

TAVARES, S. A.; PEREIRA, J.; GUERREIRO, M. C.; PIMENTA, C. J.; PEREIRA, L.; MISSAGIA, S. V. Caracterização físico-química da mucilagem de inhame liofilizada. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35 n.5. 2011.

TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J. J.; SYNOTT, E.C. Characterization of food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n.1, p.31-37, 1999.

The Readers Bureau. UWI Research Centre Discovers Anti-Cancer Properties In Purple Yam. Disponível em: <<http://thereadersbureau.com/>>. Acessado em: 03/12/2014.

TIBURSKI, J. H. et al. Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. **Food Research International**, Canadian, v.44, n.7, p.2326- 2331, 2011.

TIWARI, A. K. Antioxidants: new-generation therapeutic base for treatment of polygenic disorders. **Current Science**, v. 86, p.1092-1102, 2004.

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

TONON, R. V., BRABET, C., HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açai em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.29, p.444-450. 2009.

TORRES, L. L. G.; EL-DASH, A. A.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.;GERMANI, R.; MIGUEZ, M. **Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, Grupo AAA) por extrusão termoplástica**. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.

UNITED STATES PHARMACOPEIA: USP 29. Rockville: United States **Pharmacopoeial Convention**, 2006.

VIANA, C. A. S.; PAIVA, A. G.; JARDIM, C. V.; RIOS, M. N. S.; PINAGÉ, G. R.; ARIMORO, O. A. S.; SUGANUMA, E.; GUERRA, C. D.; ALVEZ, M. N.; PASTORE, J. **F.Plantas da Amazônia: 450 espécies de uso geral**. Livro digital. Brasília: Universidade de Brasília, Biblioteca Central. Disponível em: <http://leunb.bce.unb.br>. 2011.

VANDEPUTTE, G.E.; DELCOUR, J.A.; VERMEYLEN, R.; GEEROMS, J. Rice starches: structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. **Cereal Science**, v. 38, n.1, p.61–68. 2003.

VEGA-MERCADO, H.; GOONGORA-NIETO, M. M.; BARBOSA-CAANOVAS, G. V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 271–289, 2001. POTTER, N.N. **Food Science**. Westport: AVI, 1968. p. 478-517.

VINSON, J. A.; ZUBIK, L.; BOSE, P.; SAMMAN, N.; PROCH, J. Dried fruits: Excellent in vitro and in vivo antioxidants. **Journal of the American College of Nutrition**, v.24, c.1, p. 44–50. 2005.

WALTON, D. E. The morphology of spray-dried particles a qualitative view. **Drying Technology**, v. 18, n. 9, p. 1943-1986, 2000.

WANASUNDERA, J. P. D.; RAVINDRAN, G. “Nutrition assessment of yam (*Dioscorea alata*) tubers”. **Plant Foods for Human Nutrition**: v. 46, 1994. p. 33-39.

WELLS J. Pré-formulação farmacêutica. In: Aulton ME. Delineamento de formas farmacêuticas. Porto Alegre: **Artmed**, cap. 8, p.124-148, 2005.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. Starch. In: Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. Saint Paul: AACC, **Eagan Press**, p. 117-151. 1997.

WHO Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO, Technical Report Series 916. Geneva. 2003.

WILEY, R. C. **Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas**. Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 1997.

YAN, N.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Size characterization of selected food powders by five particule size distribution functions. **Food Science and Technology International**, Londres, v.3, n.5, p.361-369, 1997.

ZEA, L. P.; YUSOF, Y.; AZIZ, M. G. LING, C. N.; AMIN, N. A. M. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powder. **Powder Technology**, v.247, p.112-119, 2013.